

A UTILIZAÇÃO DE MICRORGANISMOS NO TRATAMENTO DE MINÉRIOS: UMA REVISÃO

A.A.R. Assis¹, G.E.S. Valadao²; P.S. Cisalpino³

1 - Mestranda – Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Espírito Santo, 35 - 8º andar, sala 813 - Centro, CEP 30160-030 - Belo Horizonte-MG

E-mail: alexandra.alves@terra.com.br

2 - Professor, Dr. - Departamento de Engenharia de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Rua Espírito Santo, 35 - 8º andar, sala 805 - Centro, CEP 30160-030 - Belo Horizonte-MG

E-mail: gvaladao@demin.ufmg.br

3 - Professora Dra. - Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biológicas - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, bloco C4, sala 191, Caixa Postal 486, CEP 31270-910 - Belo Horizonte-MG

E-mail: pscisalp@icb.ufmg.br

RESUMO

O emprego de microrganismos no Tratamento de Minérios tem despertado grande interesse se tornando um campo da biotecnologia cada vez mais estudado e explorado. Vários trabalhos têm demonstrado a possibilidade de utilização de microrganismos em diversos sistemas como na flotação e/ou agregação de carvão, hematita e fluorita. A natureza dos microrganismos, e sua interação com as partículas sólidas dos minerais, pode ter influência decisiva em diversas propriedades de um sistema. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão do assunto mostrando o estado da arte e as possíveis aplicações dos microrganismos no Tratamento de Minérios.

PALAVRAS-CHAVE: Biotratamento; biosurfatantes; biomassa.

1. INTRODUÇÃO

A recente bibliografia mostra que os microrganismos e/ou seus metabolitos podem atuar como agentes coletores e floculantes para uma vasta gama de minerais (Dubel *et al.*, 1992; Misra *et al.*, 1993 a,b; Smith, *et al.*, 1993; Raichur *et al.*, 1996; Haas & Schneider, 1998; Deo & Natajaraan, 1998; Zheng *et al.*, 2000; Mesquita, 2001; Somasundaran *et al.*, 2005). Estes podem ainda atuar como agentes modificadores deprimindo ou ativando a superfície mineral antes da flotação tradicional, com coletor (Misra, *et al.* 1996; Zheng *et al.*, 2001; Chandraprabha *et al.*, 2005). Os microrganismos têm sido utilizados na indústria de medicamentos, de suprimentos alimentares, de bebidas alcoólicas e na indústria química para obtenção de enzimas e ácidos orgânicos (Tortora *et al.*, 2000). Na hidrometalurgia, a biomassa é utilizada nos processos de biolixiviação de minérios sulfetados, desde a década de 60 (Bosecker, 1997). Apresenta também utilização amplamente difundida nos processos de biorremediação, sobretudo no tratamento de efluentes líquidos e sólidos de origem sanitária (Tortora *et al.*, 2000).

A utilização de biomassa em substituição a reagentes químicos em processos físicos e químicos de obtenção e purificação de materiais é uma tendência atual. Há, neste caso, uma busca, cada vez maior, por processos industriais mais econômicos e mais harmonizados com o meio ambiente.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Microrganismos.

Os microrganismos têm papel fundamental na cadeia alimentar, sobretudo na degradação de matéria orgânica e na fixação de nitrogênio no solo fornecendo nutrientes para o crescimento das plantas. Na indústria de alimentos e bebidas alcoólicas os microrganismos são utilizados na fabricação de queijos, iogurtes, manteigas, bebidas lácteas fermentadas e bebidas alcoólicas, em geral. O grupo inclui as bactérias, fungos, protozoários, algas e os vírus.

As bactérias são organismos unicelulares, procarióticos, ou seja, cujo material genético não está envolto por uma membrana nuclear. Estão amplamente distribuídas na natureza, podendo ser encontradas nas regiões maior altitude das montanhas, em sedimentos no fundo do mar e até na superfície e interior do corpo de organismos mais desenvolvidos, constituindo-se da microbiota autóctone ou indígena. Podem apresentar vários formatos: bacilos (em forma de bastão), cocos (forma esférica ou ovalada) e espirilos (forma retorcida ou encurvada).

Do ponto de vista nutricional, todos os animais e a maioria dos fungos, protozoários e muitas bactérias são classificados como quimio-heterótrofos, ou seja dependem de reações de oxidação-redução de compostos orgânicos ou inorgânicos para obtenção de energia (quimiotróficos) e utilizam substâncias orgânicas como fonte de carbono (heterótrofos ou organotróficos). *Acidithiobacillus ferrooxidans*, por outro lado, é um microrganismo quimioautotrófico, ou seja, utiliza os elétrons de compostos inorgânicos reduzidos (Fe^{+2} e S^0) como fonte de energia, e CO_2 como fonte de carbono.

As substâncias presentes na parede celular bacteriana bem como seus metabolitos podem ser responsáveis pela possível ação floculante, coletora, ativadora ou depressora de certas bactérias para determinados sistemas minerais. As bactérias realizam a biossíntese de carboidratos, lipídeos, aminoácidos, purinas e piridimas. Os lipídeos são os principais componentes estruturais das membranas biológicas, e a maioria destes lipídeos são fosfolipídeos (figura 1). Os fosfolipídeos são moléculas surfatantes compostas por uma molécula de glicerol ligada covalentemente a dois ácidos graxos de cadeia longa saturada ou insaturada e no lugar de um terceiro ácido graxo apresenta um grupo fosfato o qual é ligado a outro grupo orgânico R (Figura 1-a). A região polar (cabeça) compreende a molécula de glicerol, o grupo fosfato e o grupo orgânico enquanto que o rabo (região apolar) constitui-se dos duas moléculas de ácido graxo (Figura 1-b). Quando imersas em meio aquoso as moléculas de fosfolipídeo se orientam de tal modo que as porções polares (hidrofílicas) ficam voltadas para a água, com as quais formam pontes de hidrogênio, e as porções apolares (hidrofóbicas) fazem contato com outras porções apolares de moléculas vizinhas formando uma duplacamada (Figura 1-c). Os fosfolipídeos, dessa forma permitem que a membrana atue como uma barreira que separa o conteúdo da célula do ambiente aquoso.

A composição da parede celular distingue as bactérias em gram-positivas, gram-negativas (Figura 2) e em ácido-resistentes. Nas bactérias gram-positivas, a parede celular consiste de muitas camadas de peptídeoglicano (ou também denominado de mureína), formando uma estrutura espessa e rígida. Além disso, contém ácidos teicóicos e lipoteicóico, que consistem primariamente de um álcool (como o glicerol e o ribitol) e fosfato.

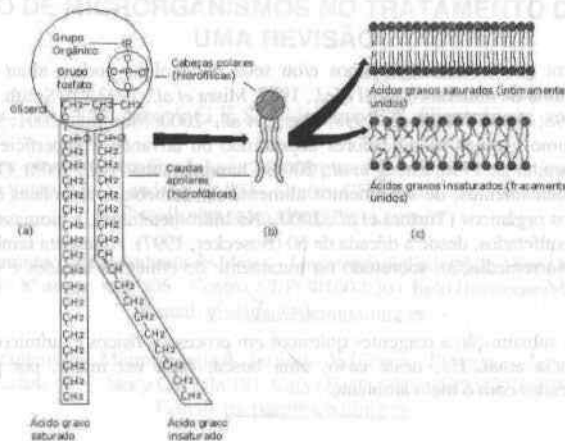


Figura 1 – Estrutura e orientação dos fosfolípidos (Tortora *et al.*, 2000).

A parede celular das bactérias gram-negativas consiste de uma ou algumas camadas de peptidoglicana e uma membrana externa. Nas células gram-negativas, a peptidoglicana está ligada a lipoproteínas (lípidos ligados covalentemente a proteínas) na membrana externa e está no espaço periplástico, uma porção entre a membrana externa e a membrana plasmática. A membrana externa consiste de lipoproteínas, lipopolissacarídeos (LPS) e fosfolípidos. A parede celular das gram-negativas não contém ácidos teicóicos.

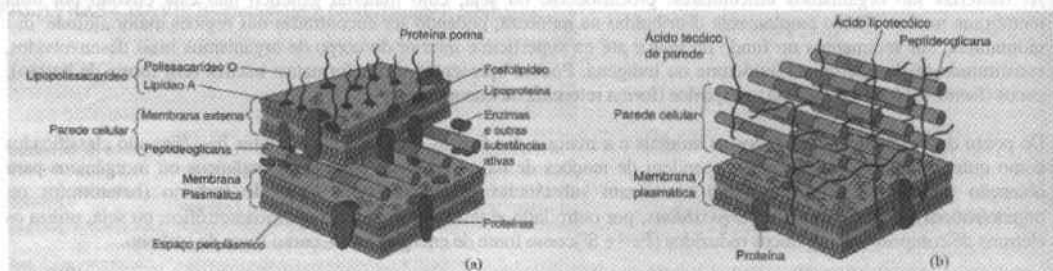
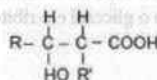


Figura 2 – Parede celular de bactérias gram-negativas (a) e gram-positivas (b) (Tortora *et al.*, 2000).

A ácido-resistência é observada nas bactérias pertencentes aos gêneros *Mycobacterium*, *Nocardia* e *Corynebacterium*. Nas bactérias ácido-resistentes os lipídeos são responsáveis por cerca de 60% do peso seco da parede celular, conferindo a estas bactérias elevado grau de hidrofobicidade, como é o caso da *Mycobacterium phlei* que apresenta ângulo de contato da ordem de 70°. O alto grau de hidrofobicidade da *M. phlei* favorece, em princípio, a sua utilização como agente floculante ou coletor para a hematita (Dubel *et al.*, 1992). Os lipídeos responsáveis pela ácido-resistência são os ácidos micólicos. Os ácidos micólicos (equação 1) são ácidos graxos complexos, β -hidroxilados, isto é, com um grupo hidroxila no segundo carbono e α -substituídos (com um radical orgânico no primeiro carbono). Os ácidos micólicos ocorrem como ésteres, unidos aos polissacarídeos da parede celular. Variam quanto ao número de átomos de carbono; aqueles com 30 carbonos (C30) são encontrados entre as corinebactérias (ácidos corinemicolênicos), os com C50 são encontrados em espécies de *Nocardia* (ácidos nocardomicólicos) e aqueles com C90 ou mais constituem os ácidos micólicos observados nas micobactérias



(1)

Onde R'=C₂₂H₄₅ e R=C₆₀O_{1 a 2}

As bactérias, normalmente, se reproduzem rapidamente. Algumas espécies bacterianas com tempo de geração de 20 min, como a *E. coli*, após 20 gerações (~7h) apresenta população com cerca de 1 bilhão de indivíduos. Uma curva de crescimento bacteriana típica é apresentada na figura 3. As fases de crescimento são: fase lag, fase log ou exponencial, fase estacionária e fase de declínio ou morte celular. A fase lag corresponde ao período de tempo em que o número de células sofre pequenas variações, devido ao fato que as bactérias não se reproduzem imediatamente após a inoculação. A fase log corresponde ao período em que as células iniciam seu processo de divisão atingindo um tempo de geração constante. É o período de maior atividade metabólica da célula e, portanto, o estágio preferido para fins industriais. Na fase estacionária, o nº de mortes celulares é equivalente ao nº de células novas, e a população se torna estável. A fase de morte celular ou de declínio corresponde ao período em que o nº de mortes excede o nº de células novas, até que reste uma pequena fração do original, ocorrendo o desaparecimento da população. Algumas espécies fazem este ciclo em poucos dias, outras, no entanto, podem permanecer com poucas células viáveis indefinidamente (Tortora *et al.*, 2000).

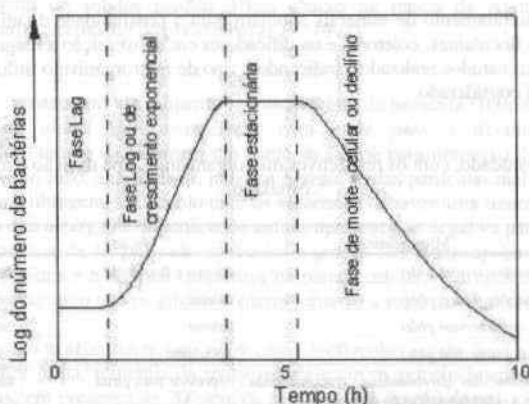


Figura 3 – Curva de crescimento bacteriano mostrando as 4 fases típicas de crescimento. (Tortora *et al.*, 2000)

2.2. Utilização de Biomassa em Processos de Biorremediação e Biolixiviação

O uso de microrganismos para detoxificar ou degradar poluentes é denominado biorremediação. A biorremediação tem sua utilização amplamente difundida no tratamento de resíduos líquidos e sólidos de origem sanitária (Tortora *et al.*, 2000).

No que tange o tratamento de efluentes líquidos industriais há estudos sobre a utilização de biomassa na remoção de metais pesados. Hatzikioseyan *et al.* (2001) utilizaram diferentes espécies de bactérias na bioredução de Cr(VI) a Cr(III) em águas de rejeito de plantas eletroquímicas presentes em uma área do México. As bactérias utilizadas foram *Bacillus sp.*, isolada no próprio local da contaminação e outra *Paenibacillus longisporus*. Ao contrário do Cr(III), o Cr(VI) é considerado tóxico em ambientes marinhos, com potenciais efeitos cancerígenos no homem. *Bacillus sp* reduziu 42,20% do Cr(VI) presente a Cr(III) depois de 24h em pH 2,0.

Hayashi *et al.* (2001) também utilizaram 03 espécies de algas isoladas na costa brasileira para biosorção de Cr(VI) de soluções contendo Cr(III) e Cr(VI). Dentre as espécies testadas, *Sargassum sp.* sorveu 45,0mg/g de Cr(VI), a *Ulva lactuca* sorveu 2,5mg/g, enquanto que *Galaxaura sp.* não apresentou resultado positivo para a sorção de Cr(VI).

Mulligan, *et al.* (2001) utilizaram biosurfatantes produzidos por três espécies de bactérias – *Bacillus subtilis*, *Pseudomas aeruginosa* e *Torulopsis bombicola* - para remoção de Cu e Zn de sedimentos de um canal onde eram descartados rejeitos industriais. O surfatante produzido por *Pseudomas aeruginosa* removeu 65% do Cu ali contido enquanto que aquele produzido pela *Torulopsis bombicola* removeu 60% do zinco. O mecanismo de remoção do metal pelo biosurfatante, segundo os autores, ocorre através de sorção do surfatante na superfície do solo e a complexação com o metal.

A biolixiviação de minérios sulfetados tem aplicação industrial desde a década de 60, como exemplo, pode ser citada a biolixiviação de minérios de urânio de baixo teor (Bosecker, 1997). *Acidithiobacillus ferrooxidans* é o microorganismo mais estudado na solubilização de minérios sulfetados contendo cobre, zinco e ouro. Caracteriza-se por: ser móvel, ser mesófilo, gram-negativo, não formador de esporos, bastonetes entre 0,5 e 1,5µm, tempo de geração de 8h, crescimento em temperaturas de 25 a 30°C em valores de pH entre 1 e 5, potencial redox em condições ótimas de 750- 850mV, estar presente em locais ricos em Fe²⁺ e S⁰ como depósitos de sulfetos associados a pirita, calcopirita, arsenopirita e outros sulfetos ferrosos (Bosecker, 1997). Encontra-se naturalmente associada a outras bactérias como a *A. Thiooxidans* e *Leptospirillum ferrooxidans*.

O mecanismo de biolixiviação pode ser direto ou indireto. No primeiro caso haverá oxidação dos minerais e solubilização dos metais. No segundo caso os íons Fe³⁺ são o agente oxidante para os minerais e o papel dos microorganismos é simplesmente regenerar os íons Fe³⁺ a partir de íons Fe²⁺ (Suzuki, 2001).

2.2. Utilização de Biomassa em Biotratamento de Minerais:

Vários estudos recentes em biotratamento de minerais apontam para a possibilidade da utilização diferentes espécies de microorganismos como agentes floculantes, coletores e modificadores em substituição a reagentes químicos industriais. Na tabela I são apresentados alguns estudos realizados, indicando o tipo de microorganismo utilizado, o tipo de ação desejada, e o mineral ou sistema mineral considerado.

Tabela I – Biotratamento estudado, com os respectivos microorganismos, tipo de ação e mineral ou sistema mineral estudado.

Autor(es), ano	Microorganismo	Ação	Mineral/sistema mineral
Dubel <i>et al.</i> , 1992	<i>Mycobacterium phlei</i>	coletor e floculante	hematita
Misra <i>et al.</i> , 1993a	<i>Mycobacterium phlei</i>	coletor	hematita
Smith <i>et al.</i> , 1993	<i>Mycobacterium phlei</i>	coletor	hematita
Misra <i>et al.</i> , 1993b	<i>Mycobacterium phlei</i>	floculante	carvão
Misra <i>et al.</i> , 1996	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> (reclassificada em <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>)	depressor para pirita	sistema carvão/pirita
Raichur <i>et al.</i> , 1996	<i>Mycobacterium phlei</i>	floculante	carvão
Haas & Schneider, 1998.	<i>Corynebacterium xerosis</i>	floculante	fluorita
Deo & Natajaran, 1998	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	depressor, floculante	sistema hematita, quartzo, coríndon e caolinita
Zheng <i>et al.</i> , 2001	<i>Mycobacterium phlei</i> e <i>Bacillus subtilis</i>	depressor para dolomita	sistema dolomita/apatita
Mesquita <i>et al.</i> , 2001	RRO 1879	coletor	sistema hematita/quartzo
Somasundaran <i>et al.</i> , 2005.	<i>Paenibacillus polymyxa</i> NCIM 2539	floculante	sistema calcita/quartzo

A tabela I mostra a *Mycobacterium phlei* como agente floculante e coletor em potencial para hematita e carvão. Trata-se de uma bactéria gram-positiva, com carga de superfície altamente negativa e hidrofóbica (ângulo de contato 70°). Possui em sua parede celular, ácidos teicóicos, açúcares, álcoois, fosfatos e cerca de 30 a 60% de lipídeos, o que lhe confere a ácido-resistência. O tipo de ácidos graxos presentes na parede é função do meio e da temperatura de crescimento, sendo que para um meio rico em açúcar e à temperatura de 35°C, os principais ácidos graxos presentes são o ácido oléico, palmítico e hexadecanóico (Raichur *et al.*, 1996).

Dubel *et al* (1992) estudaram a *M. phlei* como agente floculante e coletor para a hematita obtendo bons resultados. No ensaio de sedimentação em pipeta de Andreasen, uma polpa de hematita (-20µm) contendo 2% de sólidos foi testada na ausência e na presença da bactéria (10,2mg de *M. phlei* por kg de hematita). Como pode ser verificado na figura 4a, a porcentagem de sólidos no sobrenadante reduziu significativamente a partir de cerca de 4min na presença da *M. phlei*. Esta queda, em valores semelhantes de porcentagem de sólidos, se verificou, na ausência da bactéria, em tempos de sedimentação bem mais elevados.

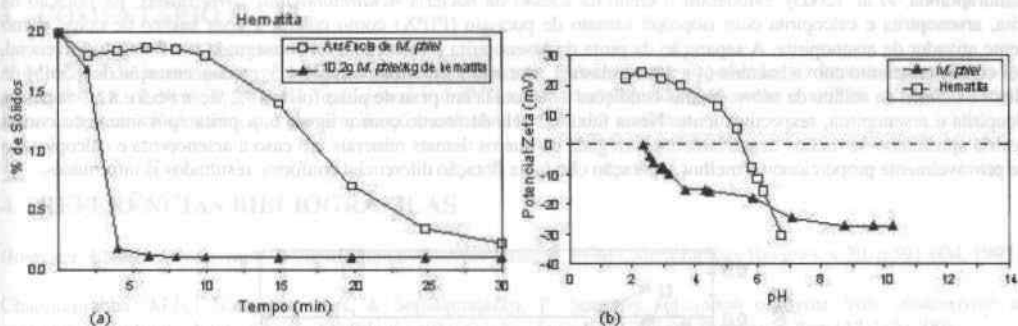


Figura 4 – (a) Sedimentação de suspensão de hematita 2% na presença e ausência de 10,2mg de *Mycobacterium phlei*/Kg sólidos. Sendo a porcentagem de sólidos medida 10cm abaixo na pipeta de Andreassen; (b) Potencial zeta da *Mycobacterium phlei* e hematita em função do pH (Dubel *et al.*, 1992).

Dubel *et al.* (1992), também constataram um aumento na filtrabilidade da hematita (100ml de uma polpa contendo 18% de sólidos) na presença da *M. phlei*. Após a interação com a *M. phlei* a filtrabilidade da hematita aumentou significativamente, reduzindo o tempo de filtragem em cerca de 62,5% para obtenção do mesmo volume de filtrado. O provável mecanismo seria, neste caso, a ação da *M. phlei* na agregação das partículas mais finas de hematita, melhorando tanto a sedimentação quanto a filtragem. De acordo com os autores deve haver uma interação hidrofóbica entre a bactéria e a partícula de hematita, já que a carga de superfície de ambas apresenta-se negativa para a faixa de pH ensaiado (~ pH 7). As características de superfície da *M. phlei* são atribuídas a grupos funcionais apolares (cadeias hidrocarbônicas) e a grupos polares (carboxilas, fosfatos e hidroxilas) presentes na parede celular. A presença dos grupos polares vai conferir caráter negativo à superfície, enquanto que os grupos apolares tornarão a superfície hidrofóbica.

Raichur *et al.* (1996), estudaram a *Mycobacterium phlei* como biofloculante para duas amostras de carvão (-325 mesh) contendo como contaminantes pirita, minerais da rocha matriz e cinzas principalmente. Os resultados da eficiência da floculação das duas amostras, em presença de 200ppm de *M. phlei*, em função do pH, são apresentados, na figura 5a. A maior eficiência de floculação para ambas as amostras, ocorre em pH 4. Os autores atribuem tal resultado a uma soma de interações hidrofóbicas e de interações de natureza eletrostática entre a bactéria e as partículas de carvão. Observando a figura 5b, no pH 4 a bactéria, segundo teoria dos autores, teria suficiente carga negativa para interagir de forma eletrostática com as partículas de carvão, que nesta faixa de pH, ainda estão carregadas positivamente. Os autores ainda atribuem a maior eficiência de floculação obtida com a amostra de mais baixo teor de cinzas (IL No. 6 Coal), a menor quantidade de oxigênio presente na superfície, tornando-a mais hidrofóbica.

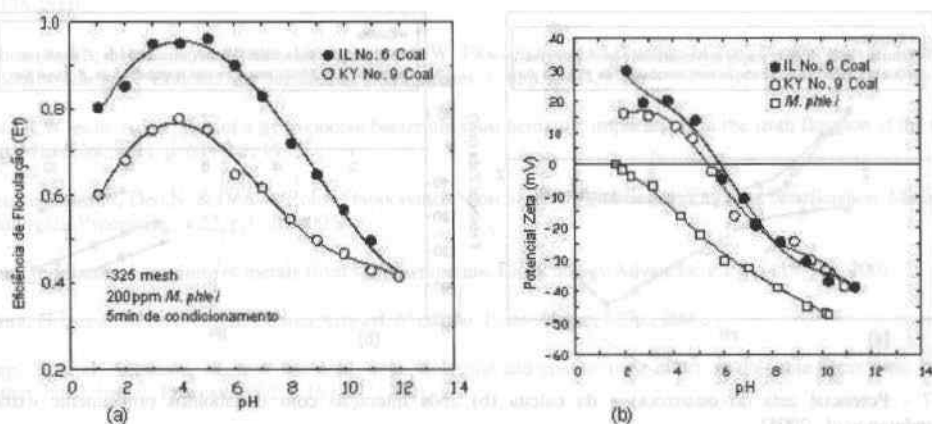


Figura 5 – (a) Eficiência de floculação de amostras de carvão em função do pH na presença de *M. phlei*. (b) Potencial zeta para amostras de carvão e *M. phlei*, em função do pH (Raichur *et al.*, 1996).

Chandraprabha, *et al.* (2005), estudaram o efeito da adesão da bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans*, na flotação da pirita, arsenopirita e calcopirita com isopropil xantato de potássio (PIPX) como coletor e com sulfato de cobre como agente ativador da arsenopirita. A separação da pirita da arsenopirita e calcopirita foi conseguida por flotação diferencial, após condicionamento com a bactéria (4×10^8 células/mL, durante 5 minutos), em pH 4,5, na concentração de 0,5mM de coletor e 0,5mM de sulfato de cobre. Nestas condições a % flotada em peso de pirita foi de 19,2 %, e 86,3 e 82,1 % para a calcopirita e arsenopirita, respectivamente. Nesta faixa de pH, de acordo com a figura 6, a pirita após interação com a bactéria apresentou-se menos negativamente carregada do que os demais minerais, no caso a arsenopirita e calcopirita, o que provavelmente proporcionou a melhor separação obtida na flotação diferencial conforme resultados já informados.

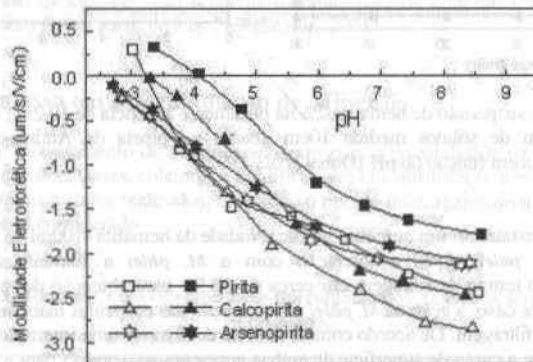


Figura 6 – Mobilidade eletroforética da pirita, calcopirita e arsenopirita antes da interação (símbolos abertos) e após interação (símbolos fechados) com a *A. ferrooxidans* (Chandraprabha *et al.*, 2005).

Somasundaran *et al.* (2005), também observam a modificação da superfície do quartzo e da calcita após condicionamento com a bactéria *Paenibacillus polymyxa*. Após o condicionamento a superfície do quartzo tornou-se mais hidrofóbica, enquanto que a superfície da calcita tornou-se hidrofílica. A interação dos metabolitos (polissacarídeos e proteínas), previamente extraídos das células, também promoveu a alteração no potencial zeta dos minerais. No caso do quartzo a interação por 1h com metabolitos, resultou na diminuição da carga negativa, na faixa de pH 5-11, e reversão de carga em faixas mais ácidas, com PIE em torno do pH 3,7 (figura 7a). No caso da calcita a interação também por 1h com metabolitos, tornou a superfície ainda mais carregada negativamente (figura 7b).

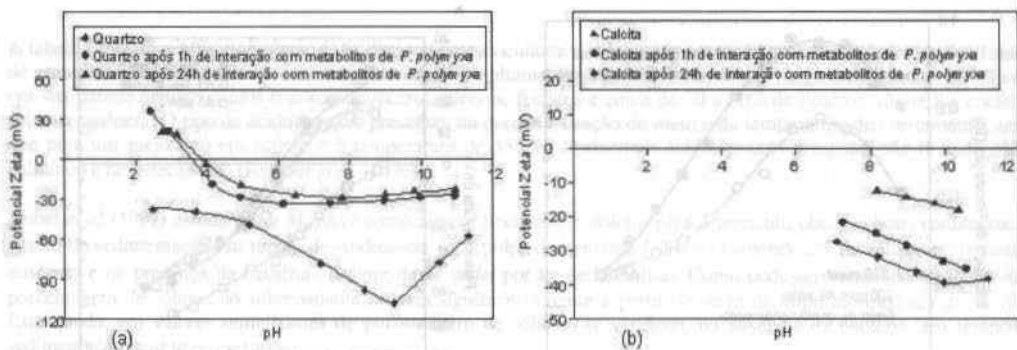


Figura 7 - Potencial zeta do quartzo(a) e da calcita (b) após interação com metabolitos previamente extraídos (Somasundaran *et al.*, 2005).

3. COMENTÁRIO FINAL

A utilização de biomassa no processamento de minerais tem grande potencial podendo ser bem mais ampla do que atualmente. É necessário, contudo, que novos trabalhos sejam desenvolvidos buscando o melhor conhecimento dos mecanismos envolvidos para que novas aplicações industriais se tornem realidade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosecker, K. Bioleaching: metal solubilization by microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, v.20, p.591-604, 1997.
- Chandraprabha, M.N.; Natajaran, K.A. & Somasundaran, P. Selective separation of pyrite from chalcopyrite and arsenopyrite by biomodulation using *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Int. J. Miner. Process.* v. 5, p.113-122, 2005.
- Deo, N. & Natajaran, K.A. Studies on interaction of *Paenibacillus polymyxa* with iron ore minerals in relation to beneficiation. *Int. J. Miner. Process.* v.55, p.41-60, 1998.
- Dubel, J. et al. Microorganisms as chemical reagents: the hematite system. *Minerals Engineering*, v.5, p.547-556, 1992.
- Haas, S.H. & Schneider, I.A. Seleção de bactérias para floculação de finos de fluorita. *Anais da II Reunião Nacional de Microbiologia Aplicada ao Meio Ambiente*, 1998.
- Hayashi, A.M.; Amorim, W.B.; Pereira, D.M.; Pimentel, P.F. & Silva, M.G.C. da Biosorption of Cr(VI) in algae biomass kinetic study. *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development. Part B*. p.199-206, 2001.
- Hatzikioseyan, A. et al. Biosorption and biological reduction of chromium by microbial biomass in batch and pilot scale rotating biological contactor (RBC). *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development, Part B*. p.265-277, 2001.
- Misra, M. et al. Selective flocculation of fine coal with hydrophobic *Mycobacterium phlei*. *Minerals Metall. Processing*, v.10, p.20-23, 1993.
- Misra, M.; Chen, S.; Smith, R.W. & Raichur, A.M. *Mycobacterium phlei* as a flotation collector for hematite. *Minerals Metall. Processing*, v.10, p.170-175, 1993.
- Misra, M.; Bukka, K. & Chen, S. The effect of growth medium of *Thiobacillus ferrooxidans* on pyrite flotation. *Minerals Engineering*, v.9, p. 157-168, 1996.
- Mulligan, C.N. et al. Heavy metal removal from sediments by biosurfactants. *Journal of Hazardous Materials*, v.85, p. 111-125, 2001.
- Raichur, A. M.; Misra, AM.; Bukka, K. & Smith, R.W. Flocculation and flotation of coal by adhesion of hydrophobic *Mycobacterium phlei*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 8, p.13-24, 1996.
- Smith, R.W. et al. Adsorption of a hydrophobic bacterium onto hematite: implications in the froth flotation of the mineral. *J. Ind. Microbiol.*, v.11, p. 63 – 67, 1993.
- Somasundaran, P., Deo, N. & Deo, P. Role of biopolymers on bacterial adhesion and mineral beneficiation. *Minerals and Metallurgical Processing*, v.22, p.1-11, 2005.
- Suzuki, I. Microbial leaching of metals from sulfide minerals. *Biotechnology Advances*, v.19, p.119-132, 2001.
- Tortora, G.J. et al. *Microbiologia*. Editora Artmed, 6ª edição, Porto Alegre, 827p., 2000.
- Zheng, X. et al. Adhesion of two bacterial onto dolomite and apatite: their effect on dolomite depression in anionic flotation. *Int. J. Miner. Process.* v. 62, p.159-172, 2001.