



Processos Biotecnológicos aplicados à indústria mineral

Versiane Albis Leão

*Laboratório de Bio&Hidrometalurgia
Dep. de Eng. Metalúrgica e de Materiais, UFOP.*

Universidade Federal de Ouro Preto

Campus Morro do Cruzeiro, s.n.

Ouro Preto, MG, Brasil.

versiane@demet.em.ufop.br

Biotecnologia: Biometalurgia e Biorremediação. CETEM, Rio de Janeiro, 21 de março de 2014

ASPECTOS AMBIENTAIS

- ✓ Sulfato como agente corrosivo – Ataque ao material metálico.
- ✓ Nas zonas anaeróbias, dos corpos receptores, o íon sulfato é reduzido a sulfeto de hidrogênio, aumentando a demanda química de oxigênio.
- ✓ Em concentrações altas o sulfato pode trazer um efeito inibidor à biomassa responsável pela degradação da matéria orgânica.
- ✓ Ocorrência de acidez do solo e da água.
- ✓ Efeitos ao homem: doses de sulfato acima de 600mg/L podem causar diarreia (WHO,2004).

LEGISLAÇÃO

- ✓ WHO – World Health Organization (2006): estabelece um limite de sulfato de 500mg/L para águas de abastecimento.
- ✓ USEPA: adota um padrão de 250mg/L do íon sulfato em água para abastecimento.
- ✓ Resolução 357/05 CONAMA: estabelece um padrão para o sulfato de 250 mg/L no corpo receptor classes 1 e 2.
- ✓ Legislação de SÃO PAULO: estabelece uma concentração de 1,0g/L no efluente a ser lançado no corpo receptor.

MINERAÇÃO - DRENAGEM ÁCIDA DE MINA (DAM)

Propriedades	Espécies Químicas Típicas Associadas	Faixa de concentração	IMPACTO
Acidez	Ácido Sulfúrico	2,0 – 4,0 (pH)	Mobilização de íons metálicos
Ferro	Íons Ferroso e férrico, Óxido férrico, Hidróxidos	100 – 3000 (mg/L)	Descoloração e turbidez nas águas, incremento do pH, precipitação do Fe III
Metais Pesados	Cu, Mg, Zn, Cd, Hg, Pb, As	1 – 200 (mg/L)	Redução da flora e fauna aquática, bio-acumulação e redução da qualidade de abastecimento da água potável
Sólidos Totais	Ca, Mn, Al, SO ₄ ²⁻	100 – 30000 (mg/L)	Redução da qualidade da água no abastecimento

Rio Sangão
Santa
Catarina



AMD impact in northern WV

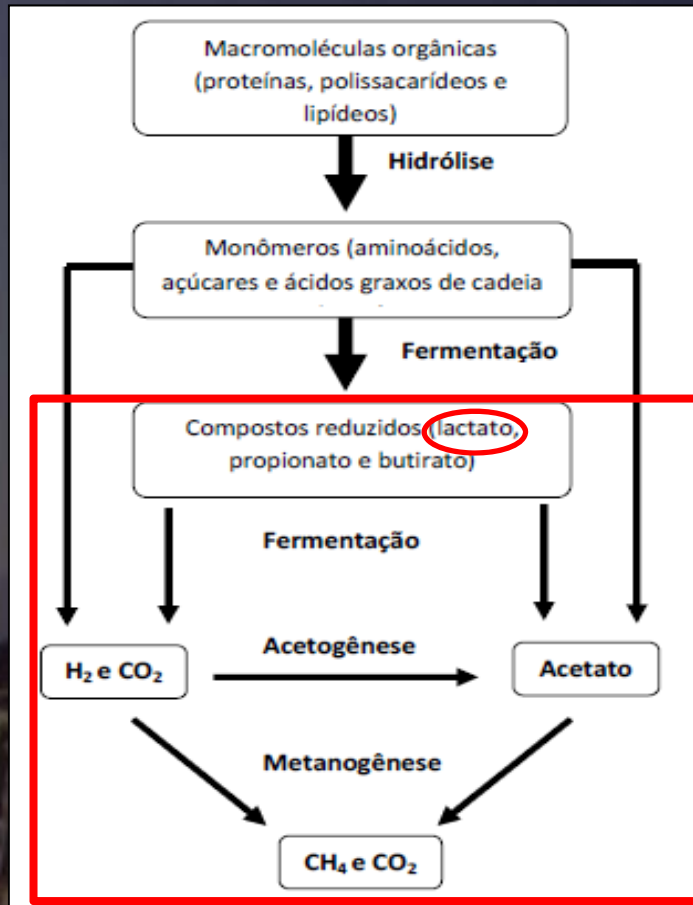
Parâmetro	Rio sem influência da mineração de carvão	Rio com influência da mineração de carvão	Padrão Resolução 357/05 do CONAMA
pH	6,5 a 7,4	2,0 a 4,0	6,0 a 9,0
Ferro Total	Menor 4,0 (mg/L)	10 – 100 (mg/L) 190 (mg/L)	0,3 (mg/L) ¹ 5,0 (mg/L) ²
Sulfatos	8 a 25 (mg/L)	100 - 10000(mg/L) 2000 (mg/L)	250 (mg/L) ¹ 250 (mg/L) ²
Alumínio	0,2 a 0,5 (mg/L)	10 – 100 (mg/L) 1000 (mg/L)	0,1 (mg/L) ¹ 0,1 (mg/L) ²
Metais Pesados Chumbo	Nd	0,02 0,2 (mg/L) 2 (mg/L)	0,03 (mg/L) ¹ 0,05 (mg/L) ²
Zinco	Nd	1 – 5 (mg/L) 10 (mg/L)	0,18 (mg/L) ¹ 0,5 (mg/L) ²
Manganês	Nd	0,5 – 10 (mg/L) 15 (mg/L)	0,1 (mg/L) ¹ 0,5 (mg/L) ²

Fonte: Cetem; Resolução CONAMA – Brasil. ¹: Padrões para águas de classe 1 e 2. ²: Padrões para águas de classe 3.

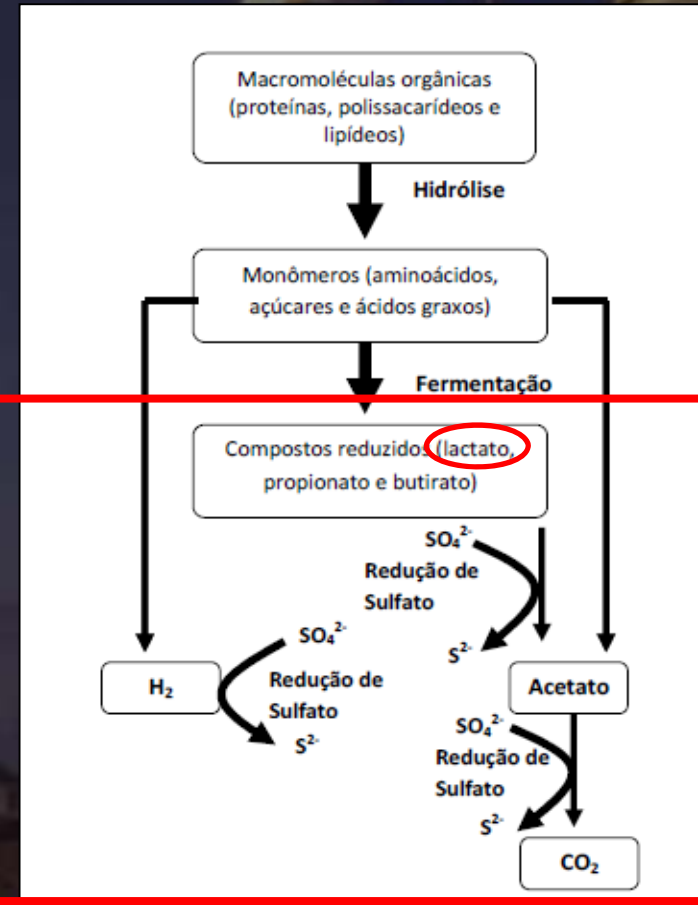
Biotecnologia: Biometalurgia e Biorremediação. CETEM, Rio de Janeiro, 21 de março de 2014

TRATAMENTO BIOLÓGICO

PRINCÍPIO DO TRATAMENTO: DIGESTÃO ANAERÓBIA



- Ausência de sulfato



- Presença de sulfato

Myres e Stans (2008) adaptado por Barbosa, 2009.

BACTÉRIAS REDUTORAS DE SULFATO



Figura : *Desselfovibrios* e *Desselvococos*.

- ✓ Estritamente anaeróbios.
- ✓ Mesofílicos, com uma temperatura ótima de crescimento entre 28 e 35°C.
- ✓ Faixa de pH para crescimento entre **7,0 e 7,8**.
- ✓ O metabolismo é conduzido em ambientes cujo valor de Eh se encontra entre -150 a -200mV.

Redução de Sulfato

Principais reações

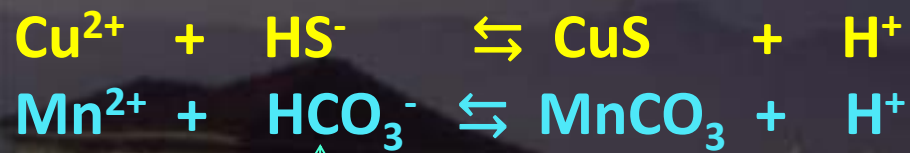
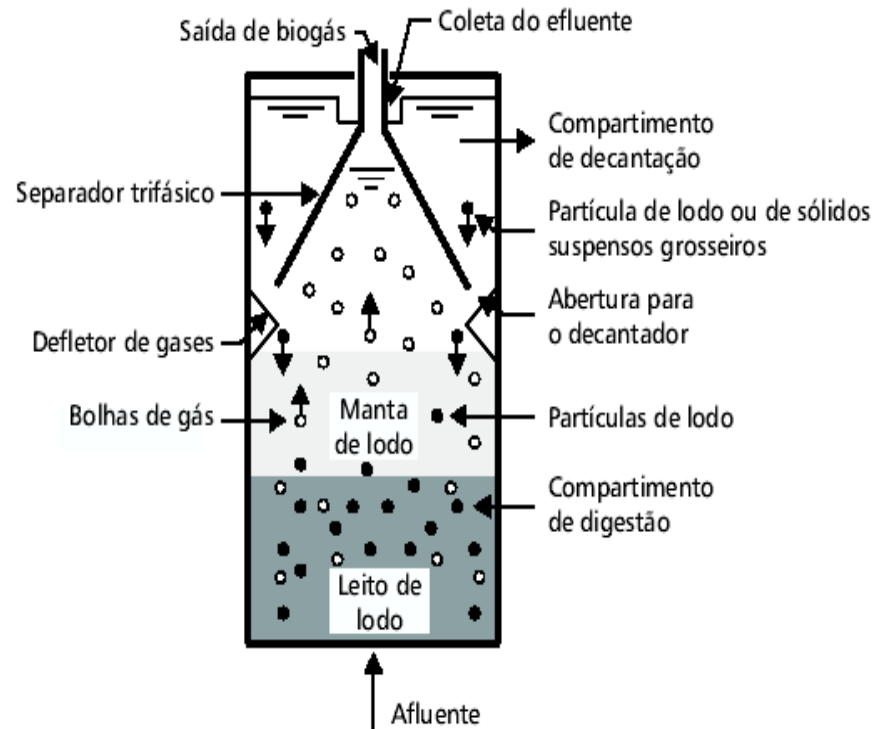


Figura : *Desulfovibrios* e *Desulfococos*.

REATOR UASB e de Leito Fluidizado



Desenho esquemático de um reator UASB.

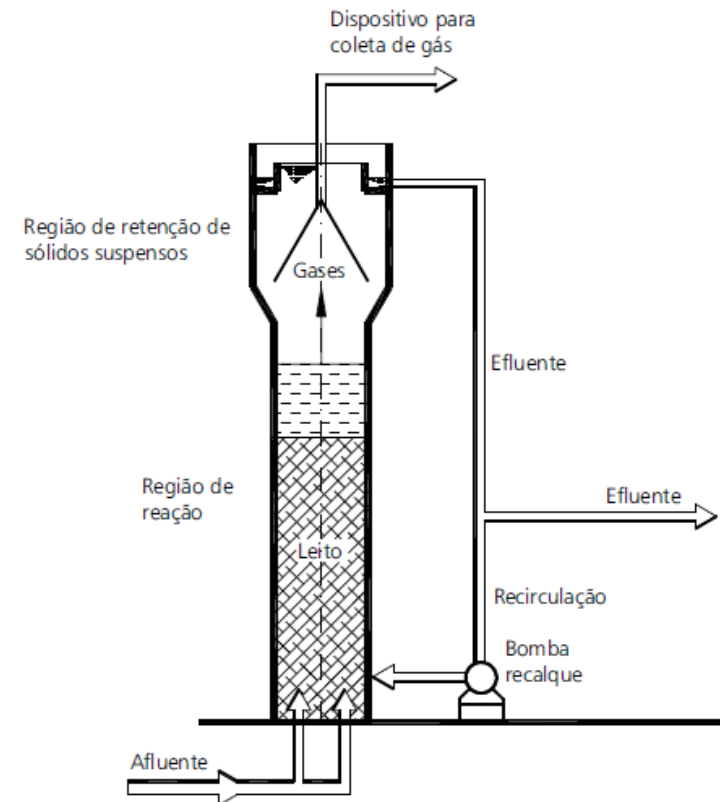


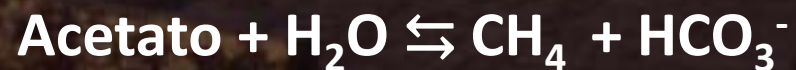
Figura Esquema do reator de leito fluidificado/expandido.

Diversidade microbiana

#	Microorganism	Start-up inoculum	Phase I and IV	Substrate Oxidation
1	<i>Desulfomonas pigra</i> (SF192152)	+	+	incomplete
2	<i>Desulfovibrio desulfuricans subsp. Desulfuricans str. ATCC 27774</i>	+	+	incomplete
3	<i>Desulfolobus sp.</i>	+	+	Incomplete
4	<i>Desulfovibrio vulgaris</i>	+	+	incomplete
5	Uncultured <i>Desulfovibrio sp.</i> Clone A37bac 16S ribosomal	+	+	incomplete
6	<i>Desulfobulbus sp.</i> (EF442937) (PO)	+	+	propionate oxidizer
7	<i>Desulfobacter halotolerans</i> DSM 11383 (NR026439) (AO)	+	+	Acetate oxidizer
8	Uncultured <i>Desulfotomaculum sp.</i> Clone BNB-488 (FJ898345)	+	+	incomplete
9	Methanogens	-	+	Methane producer
10	<i>Clostridium sp.</i>	n. d.	+	Fermentation

Fermentação $3\text{Lactato} \rightleftharpoons \text{acetato} + 2\text{ propionato} + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

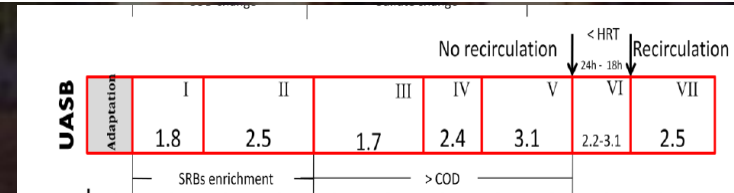
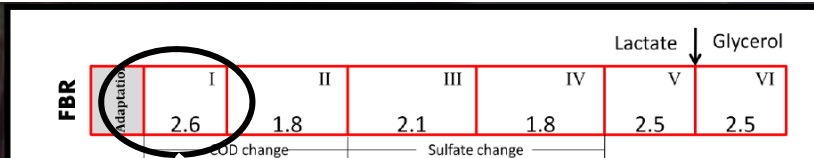
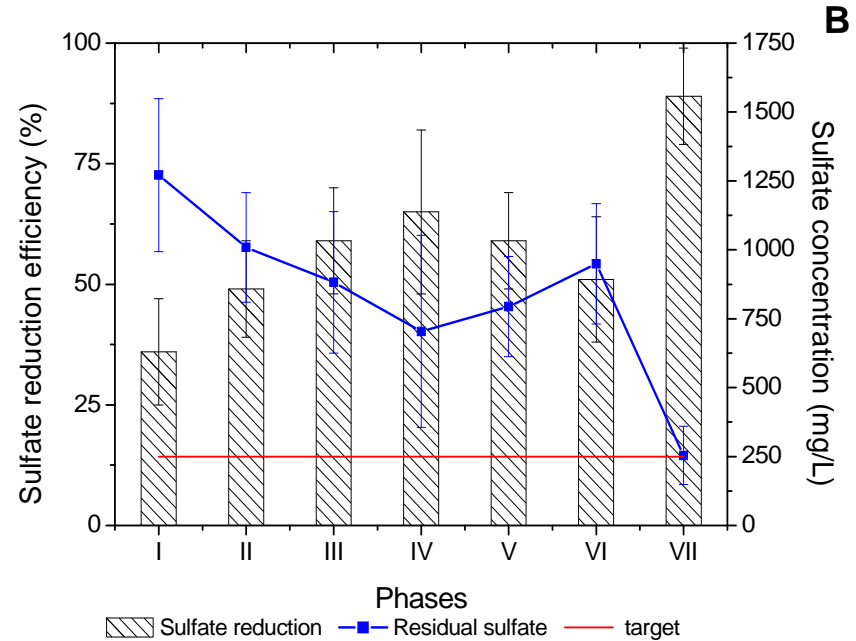
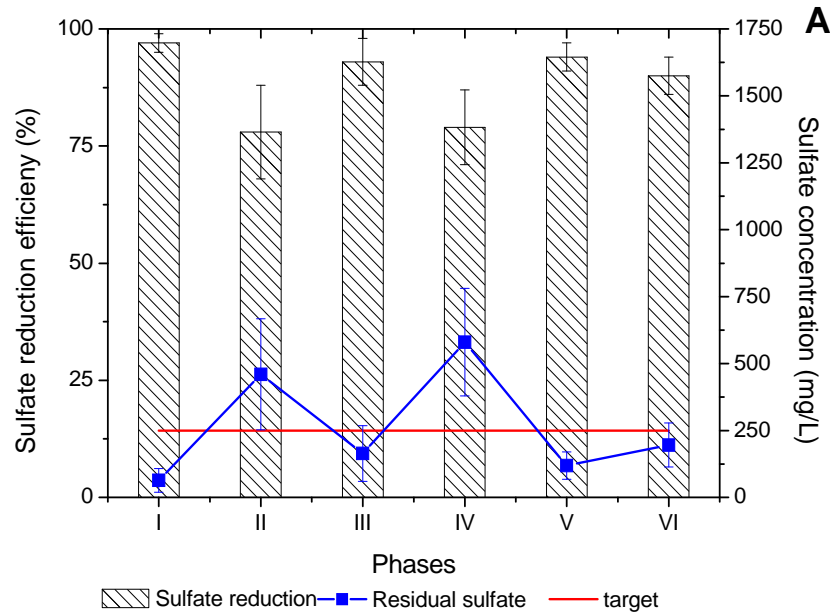
Methanogenesis



Redução de sulfato e concentrações residuais

LEITO FLUIDIZADO

UASB



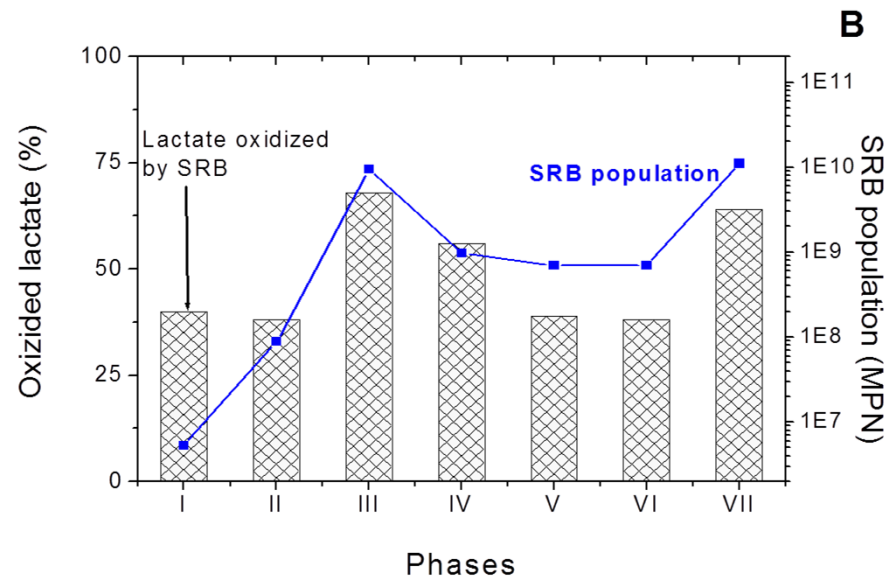
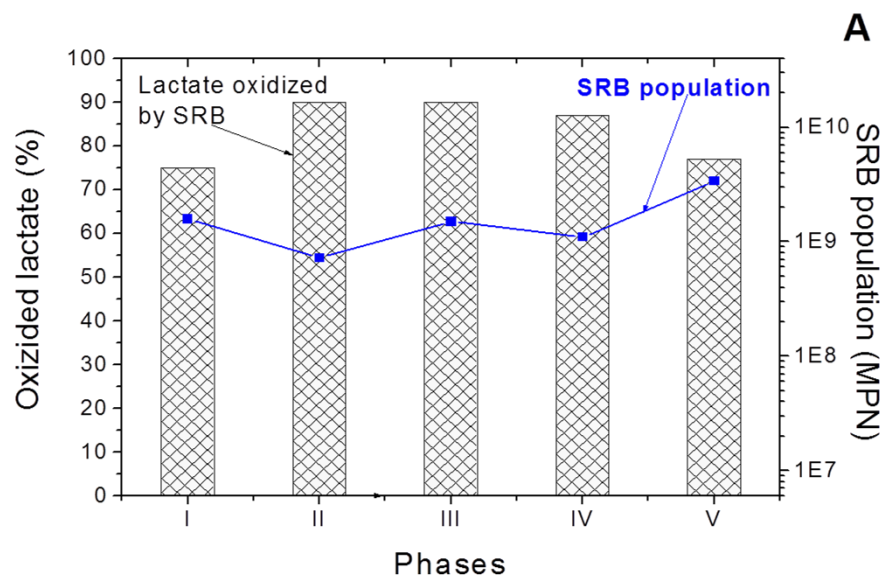
Relação DQO/sulfato

Biotecnologia: Biometalurgia e Biorremediação. CETEM, Rio de Janeiro, 21 de março de 2014

População de BRS e oxidação de lactato

LEITO FLUIDIZADO

UASB



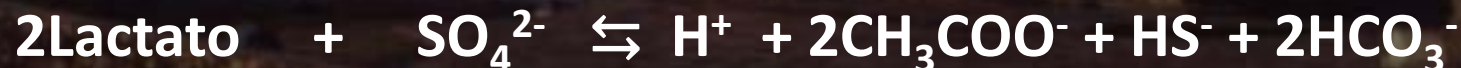
FBR

Phase	I	II	III	IV	V	VI
Adaptation	2.6	1.8	2.1	1.8	2.5	2.5
Substrate	Lactate	Lactate	Lactate	Lactate	Lactate	Glycerol
Change	COD change		Sulfate change			

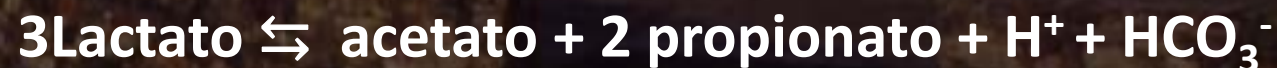
UASB

Phase	I	II	III	IV	V	VI	VII
Adaptation	1.8	2.5	1.7	2.4	3.1	2.2-3.1	2.5
Substrate	Lactate	Lactate	Lactate	Lactate	Lactate	Lactate	Lactate
Change	SRBs enrichment			> COD			
Operational	No recirculation					Recirculation	
HRT						< HRT	
Time						24h - 18h	

L. Fluidizado



UASB

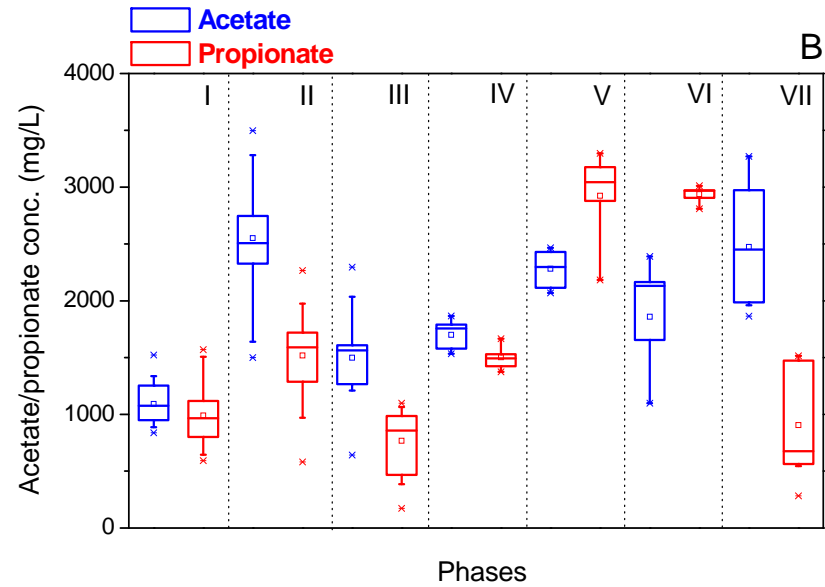
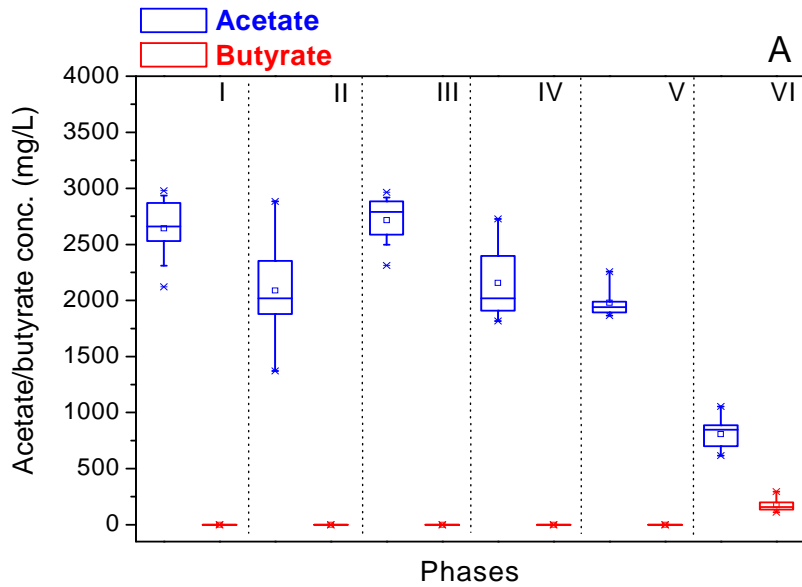


Biotechnology: Biometalurgia e Biorremediação. CETEM, Rio de Janeiro, 21 de março de 2014

Ácidos Graxos voláteis

LEITO FLUIDIZADO

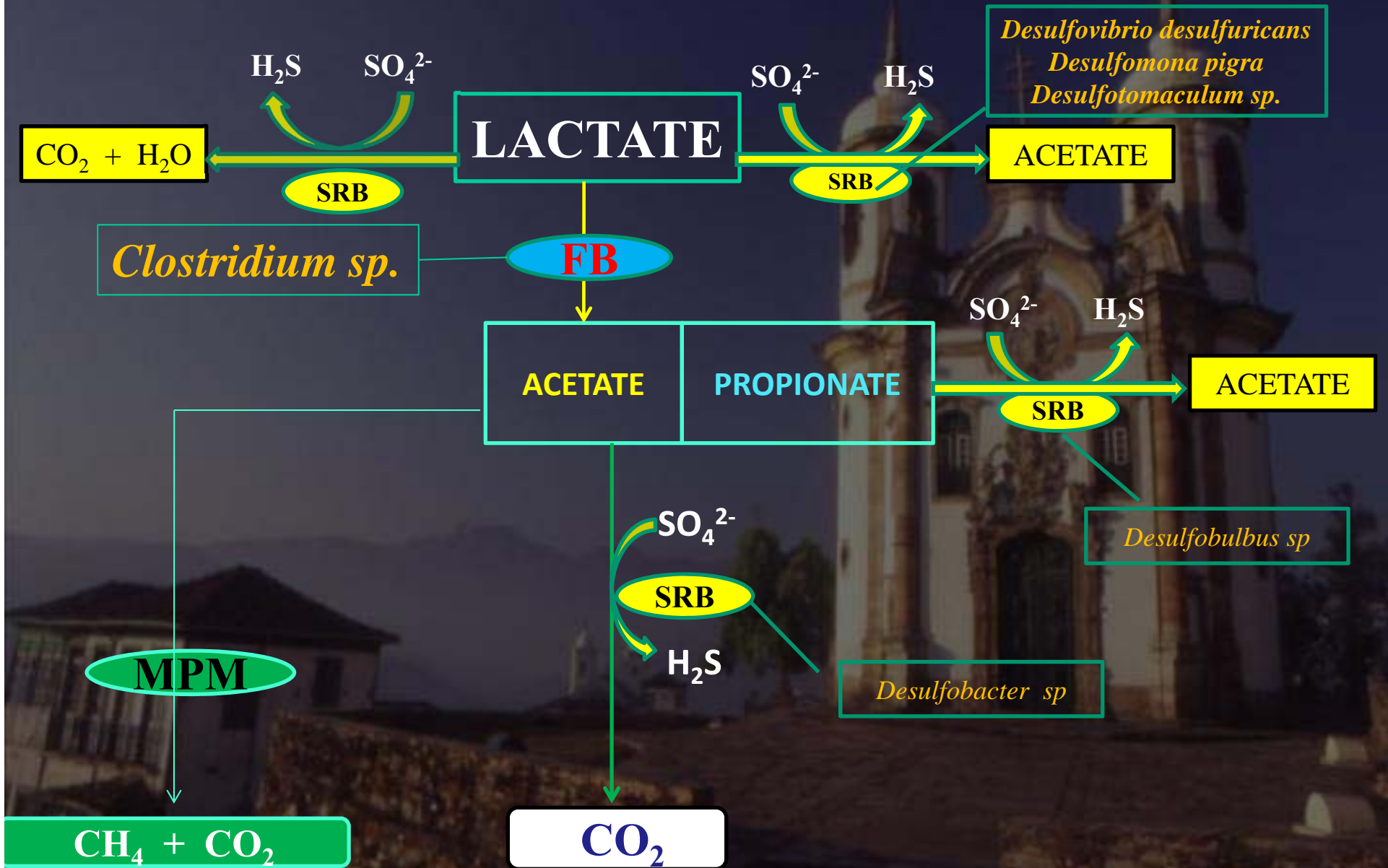
UASB



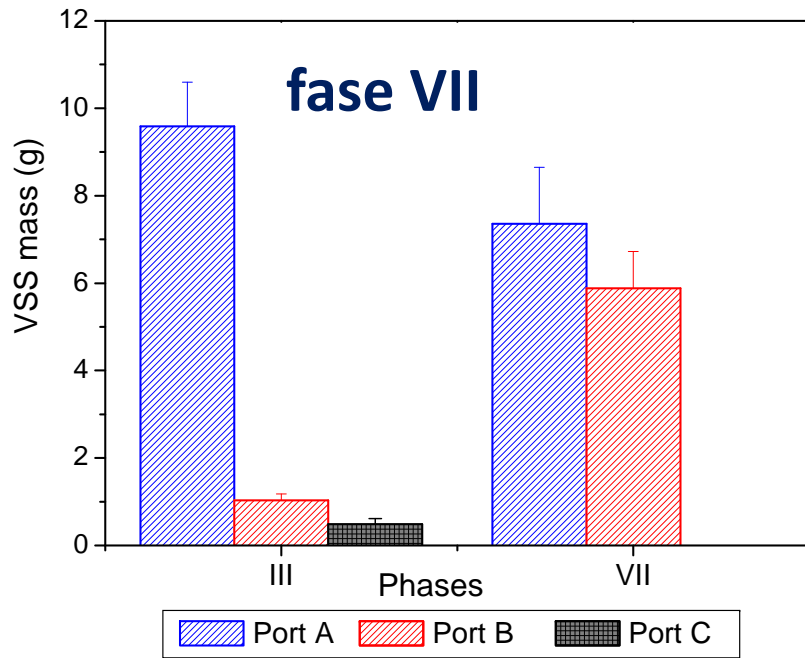
FBR	Lactate ↓ Glycerol						
	Adaptation	I	II	III	IV	V	VI
		2.6	1.8	2.1	1.8	2.5	2.5
		COD change		Sulfate change			

UASB	No recirculation ↓ <HRT Recirculation							
	Adaptation	I	II	III	IV	V	VI	VII
		1.8	2.5	1.7	2.4	3.1	2.2-3.1	2.5
		SRBs enrichment		> COD				

METABOLIC PATHWAYS

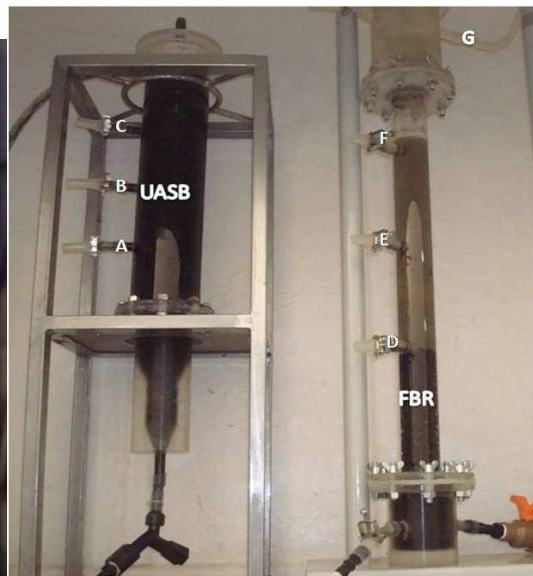
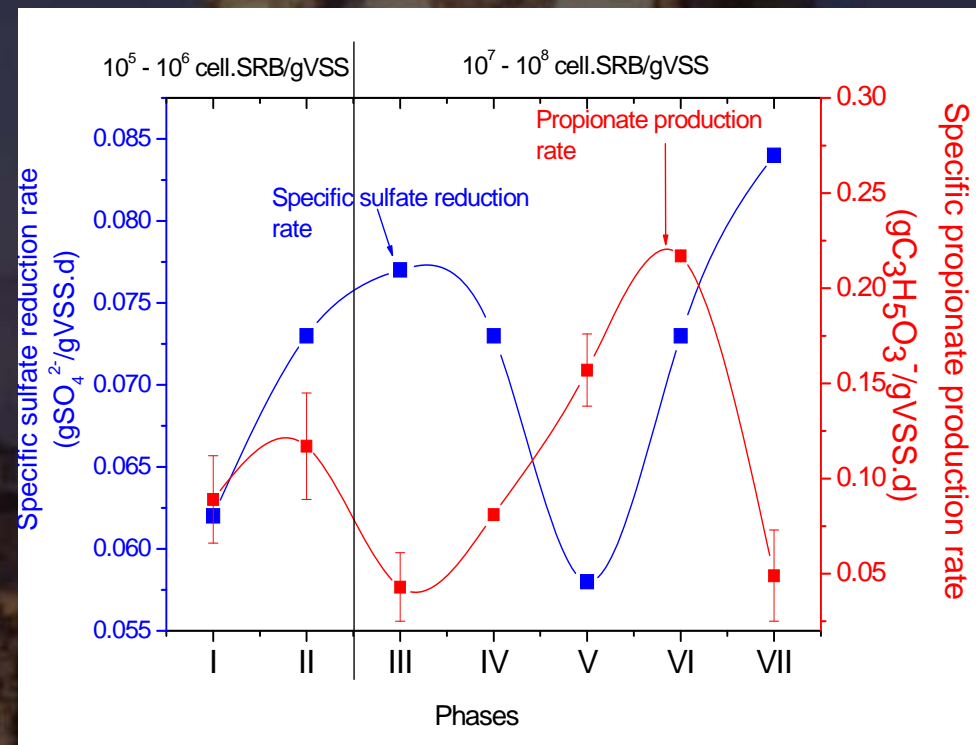


Recirculação no UASB e consumos específicos



Concentração de SSV

Consumo de sulfato e produção de propionato



Precipitação de sulfetos metálicos MeS

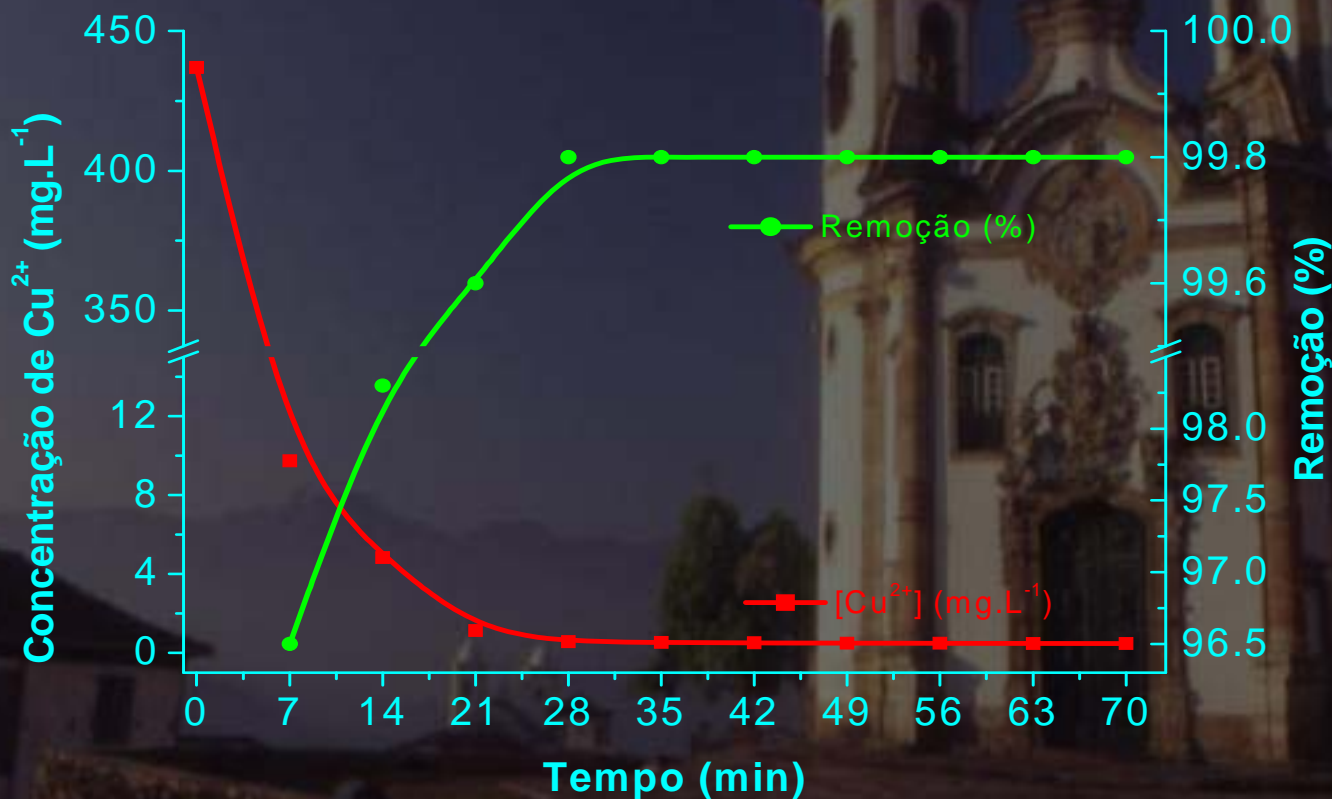
$[\text{Cu}^{2+}] = 50 - 500 \text{mg.L}^{-1}$
 $[\text{Ni}^{2+}] = 50 - 500 \text{mg.L}^{-1}$

A cada tempo de Residência:
 $[\text{Me}^{2+}]$, $[\text{S}^{2-}]$

Após entrar em regime:
DRX e PSD



Precipitação de cobre em sistema contínuo com sulfeto biogênico

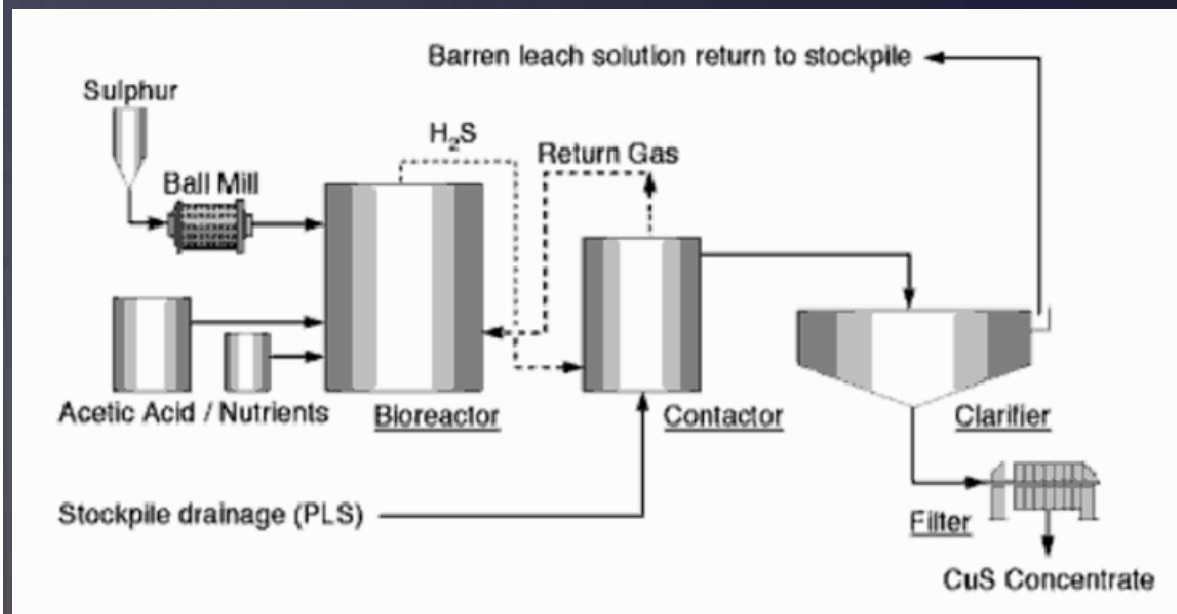


T. de residência: 7min

Operações de tratamento de efluentes com sulfeto implementados pela Bioteq.

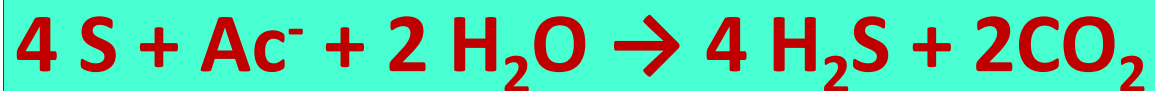
Operação	Tamanho da operação (m ³ /h)	Água tratada (10 ⁶ L/ano)	Metal recuperado (t/ano)
Bisbee, USA	500	2,8	635,03 (Cu)
Lluvia de Oro, Mexico	n.d.	n.d.	40,23 (Cu)
Caribou Mine, Canadá	n.d.	n.d.	35,00 (Zn)
Wellington oro, USA	34069	n.d.	21,77 (Zn, Cd)

Processos industriais - Bioteq.



Produção de metais – DAM
Cobre, Zinco, Níquel

Fonte: Bioteq



Alimentação: 0.5 to 2 g/L Fe,
340 mg/L Cu e pH 2.2.

Efluente final: <1 mg/L Cu
2 t/dia de sulfeto de cobre



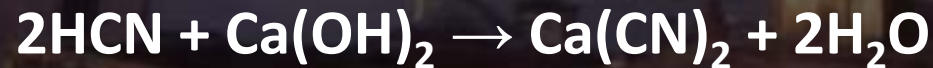
Tratamento de minérios Au-Cu.

Cobre é grande consumidor de cianeto $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$

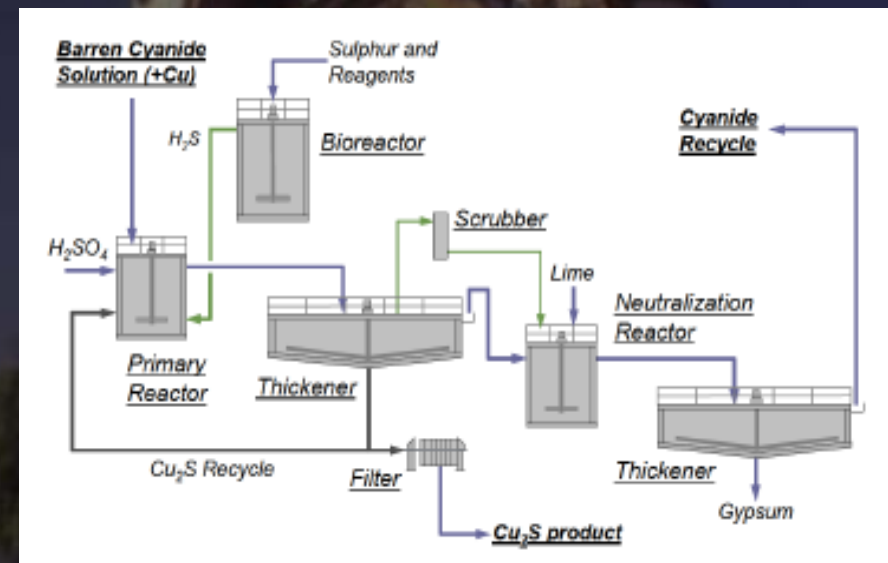
Sulfeto pode ser usado para precipitar o Cu



O HCN é volatilizado e absorvido em $\text{Ca}(\text{OH})_2$



Processo SART (*Sulphidization, Acidification, Recycling, Thickening*)



Considerações finais

Interface biotecnologia – indústria mineral

- Biolixiviação
- Bioflotação
- Remediação ambiental (biossorção, “wetlands”, redução de sulfato)
- Produção de sulfeto e precipitação

O Brasil pode se tornar um país líder em biotecnologia voltadas para a indústria mineral

Agradecimentos

**FINEP, FAPEMIG, CNPq, CAPES
Vale, Votorantim, AngloGold, outros**

Biotecnologia: Biometalurgia e Biorremediação. CETEM, Rio de Janeiro, 21 de março de 2014



Obrigado

Biotechnologia: Biometalurgia e Biorremediação. CETEM, Rio de Janeiro, 21 de março de 2014