

IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO

**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:
DESAFIOS E SOLUÇÕES**

A importância do reúso de água
nas indústrias para a preservação
do Velho Chico



16/SETEMBRO/2022, BELO HORIZONTE - MG

Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



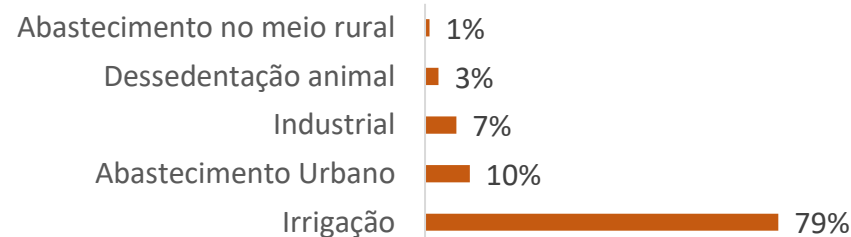
IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO
GESTÃO HÍDRICA NO RIO SÃO FRANCISCO:
DESAFIOS E SOLUÇÕES



DESDE 2013

a BHSF vem enfrentando condições hidrometeorológicas adversas, com vazões e precipitações abaixo da média.

87%
Crescimento da demanda de água na Bacia.
(CBHSF, 2016).



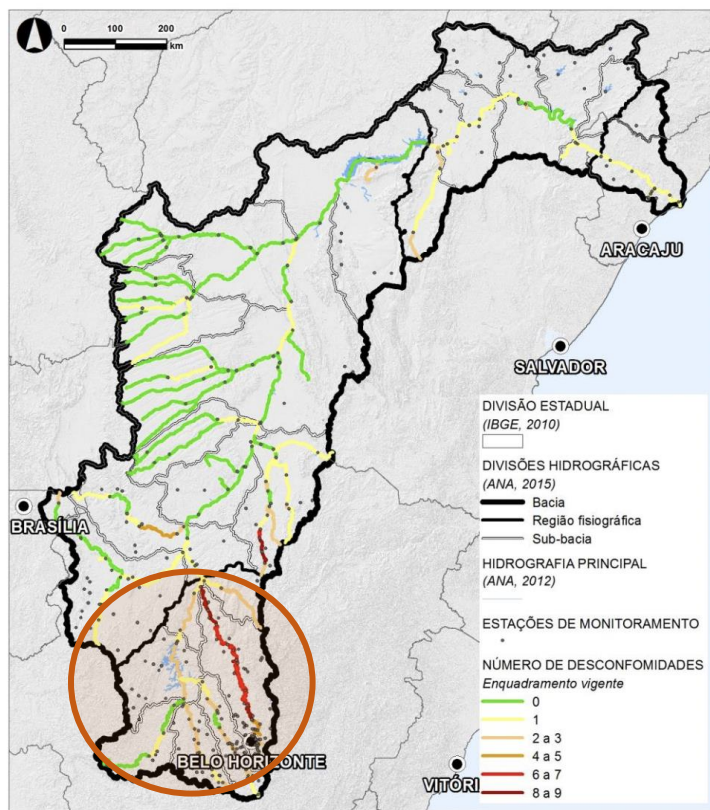
Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



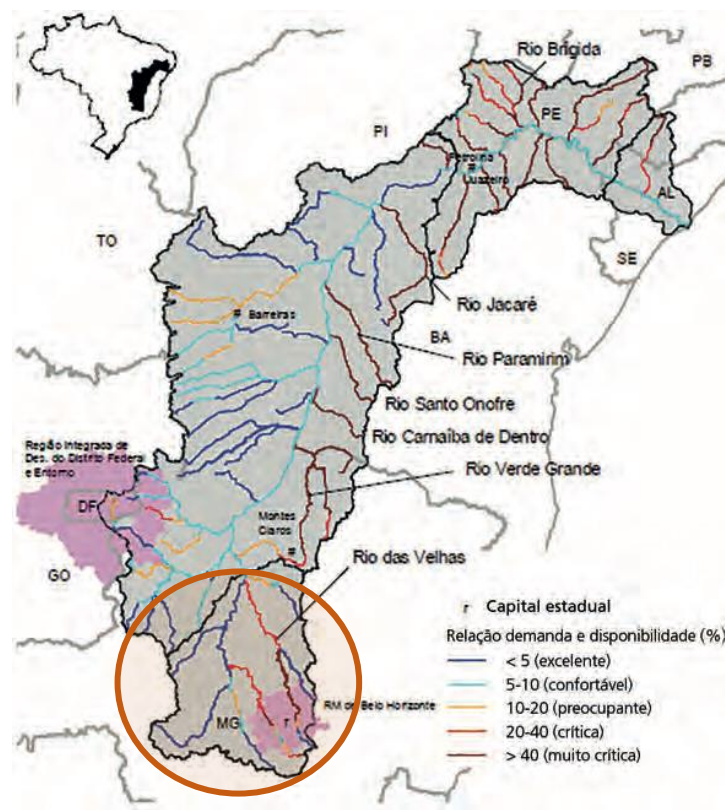
Qualidade da água



Demanda x disponibilidade



(CBHSF, 2016).



(CBHSF, 2016).



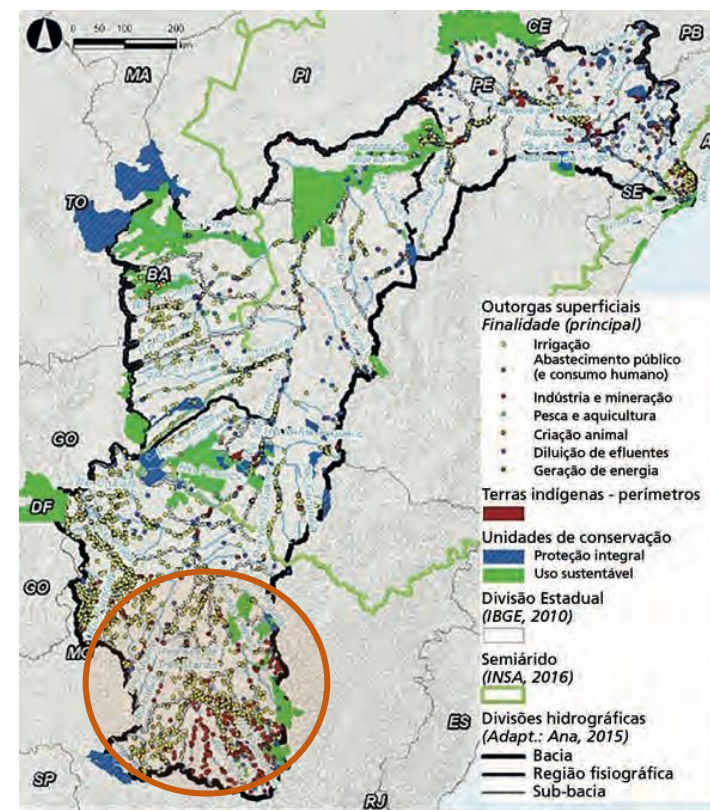
IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO

GESTÃO HÍDRICA NO RIO SÃO FRANCISCO:

DESAFIOS E SOLUÇÕES



Usos da água na BHSF

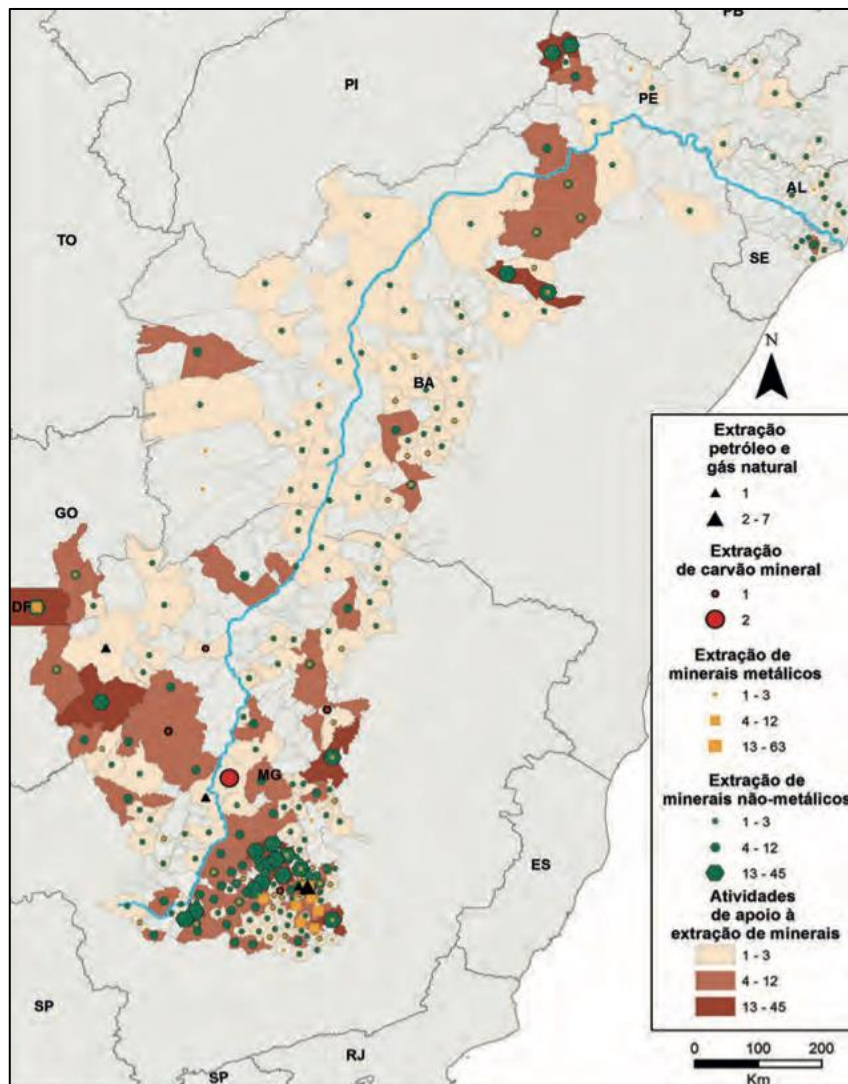


(CBHSF, 2016).

Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO
GESTÃO HÍDRICA NO RIO SÃO FRANCISCO:
DESAFIOS E SOLUÇÕES



30,8%

valor adicionado da indústria na BHSF.

7%

Consumo de água.

Degradação da qualidade da água

Aporte de inorgânicos.

52% das barragens na BHSF
rejeito mineral ou industrial.



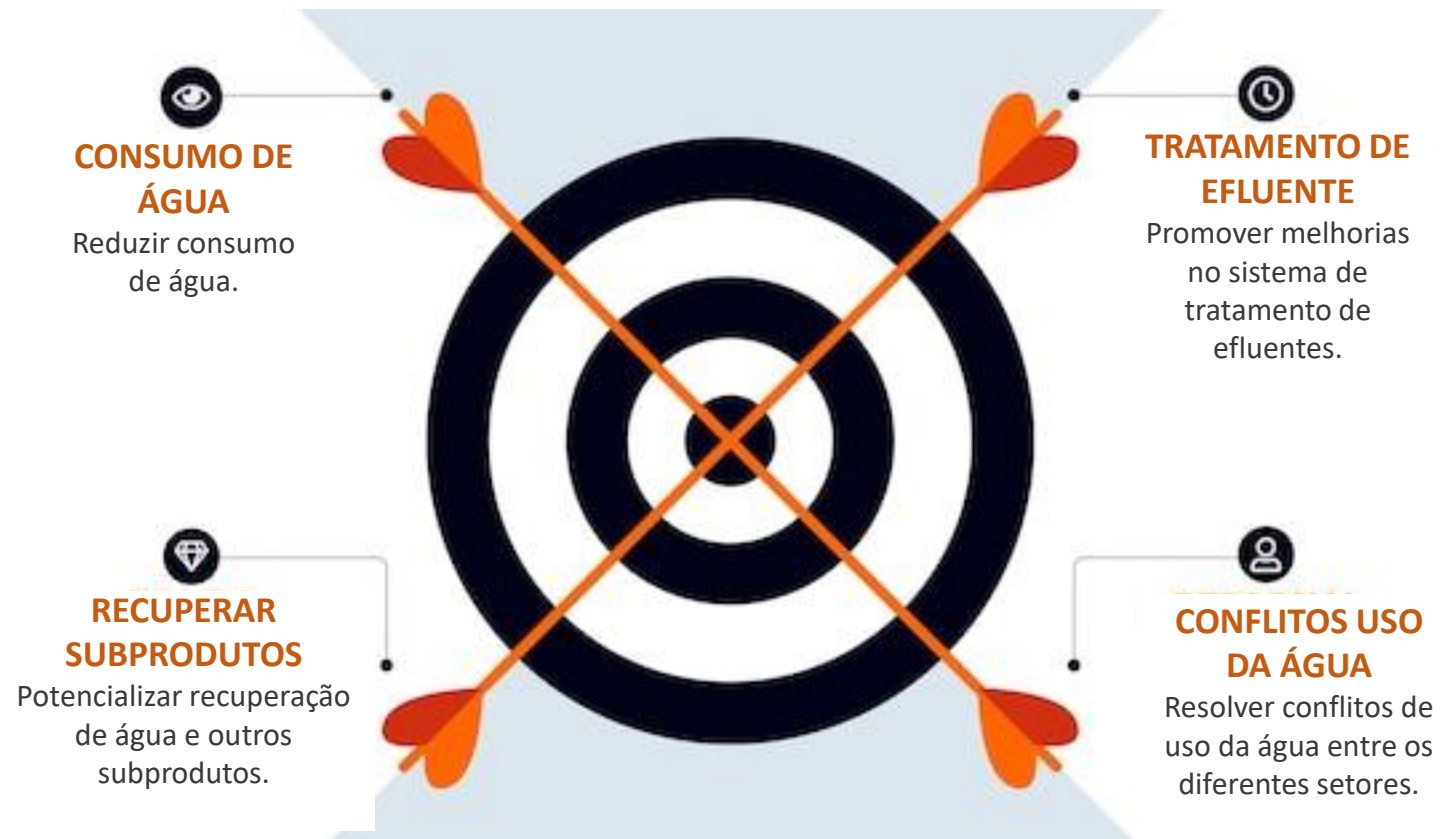
Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO
**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:**
DESAFIOS E SOLUÇÕES



Ações necessárias



O reúso de água na indústria como estratégia para a preservação do Velho Chico



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO
**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:**
DESAFIOS E SOLUÇÕES



O reúso de água na mineração



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO
**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:**
DESAFIOS E SOLUÇÕES



Mineração no Brasil

2,5% do PIB



Aumento de 31% nas exportações em
2020 (Ferro e Ouro)



80 toneladas de ouro 2020



10º Maior produtor de ouro

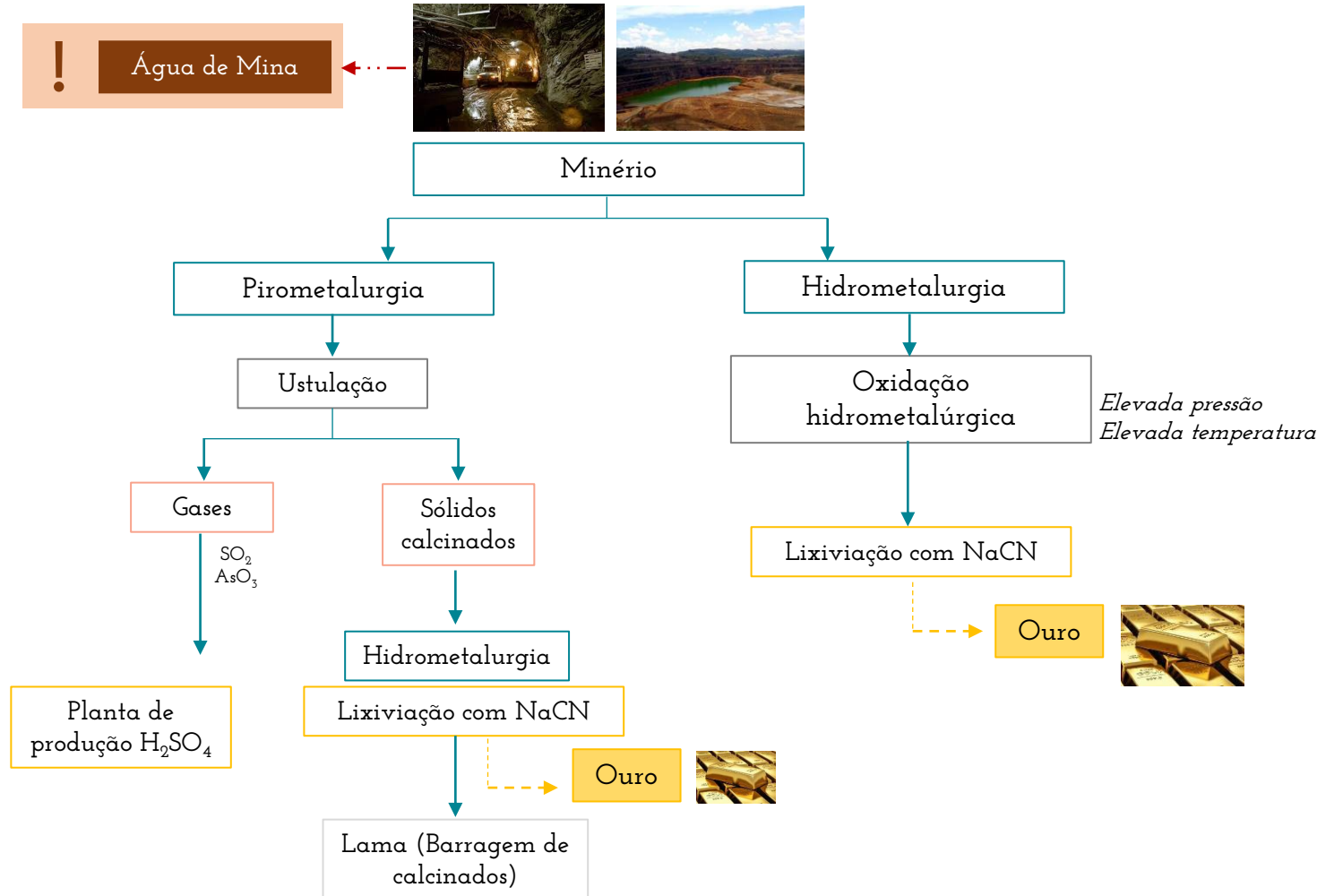


Elevado impacto poluidor



O reúso de água na mineração

PROCESSO PRODUTIVO



O reúso de água na mineração: água de mina



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO
**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:**
DESAFIOS E SOLUÇÕES



Água de mina

Água de Mina
Principais
Características

Nitrato: 351 mg/L
Amônia: 30 mg/L



Tratamento da
água de mina

Remoção de
Nitrato e
amônia



Tratamento:
UF - OI

Água para
reúso

Grossi LB, Magalhaes NC, Araujo BM, de Carvalho F, Andrade LH, Amaral MCS, Water conservation in mining industry by integrating pressure-oriented membrane processes for nitrogen-contaminated wastewater treatment: bench and pilot-scale studies, Journal of Environmental Chemical Engineering (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104779>



O reúso de água na mineração: água de mina

Água de mina



Ultrafiltração



Membrana UF

- Partículas grandes
- Partículas pequenas

Grossi LB, Magalhaes NC, Araujo BM, de Carvalho F, Andrade LH, Amaral MCS, Water conservation in mining industry by integrating pressure-oriented membrane processes for nitrogen-contaminated wastewater treatment: bench and pilot-scale studies, Journal of Environmental Chemical Engineering (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104779>

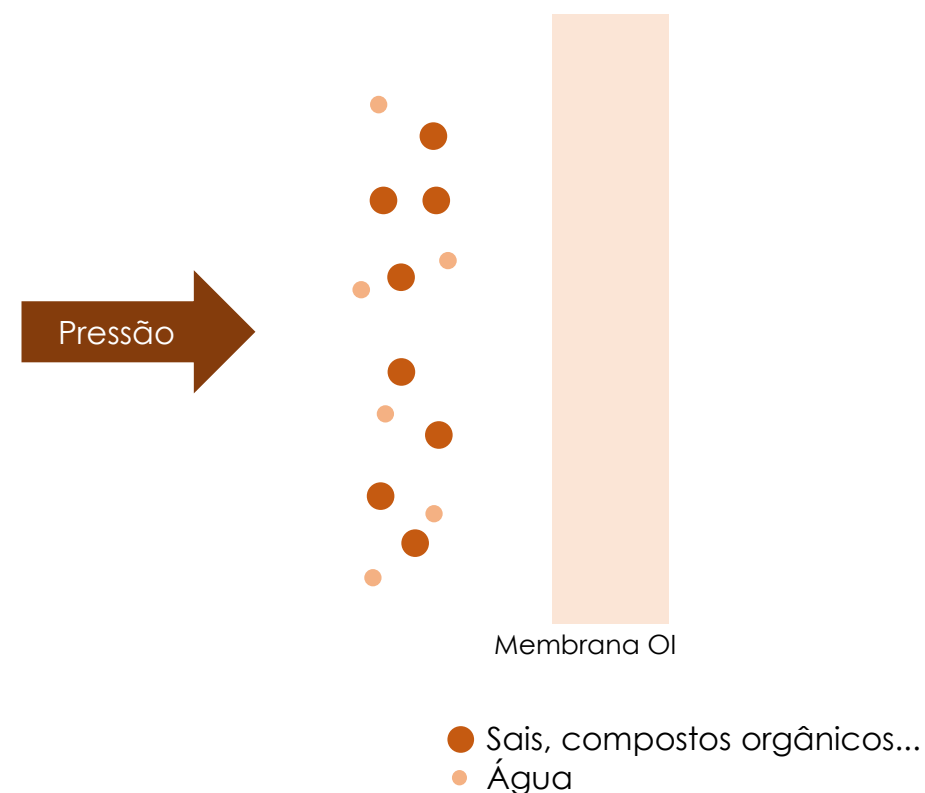
O reúso de água na mineração: água de mina

Água de mina



Grossi LB, Magalhaes NC, Araujo BM, de Carvalho F, Andrade LH, Amaral MCS, Water conservation in mining industry by integrating pressure-oriented membrane processes for nitrogen-contaminated wastewater treatment: bench and pilot-scale studies, Journal of Environmental Chemical Engineering (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104779>

Osmose inversa



O reúso de água na mineração: água de mina

Água de mina

Água de Mina
Principais
Características

Nitrato: 351 mg/L
Amônia: 30 mg/L



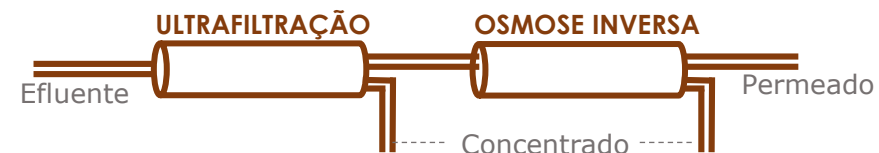
Tratamento da
água de mina


Remoção de
Nitrato e
amônia



Tratamento:
UF - OI

Água para
reúso



 Estudo foi realizado em
escala de bancada e piloto.

 Planta piloto em operação
por 23 dias.

Grossi LB, Magalhaes NC, Araujo BM, de Carvalho F, Andrade LH, Amaral MCS, Water conservation in mining industry by integrating pressure-oriented membrane processes for nitrogen-contaminated wastewater treatment: bench and pilot-scale studies, Journal of Environmental Chemical Engineering (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104779>

O reúso de água na mineração

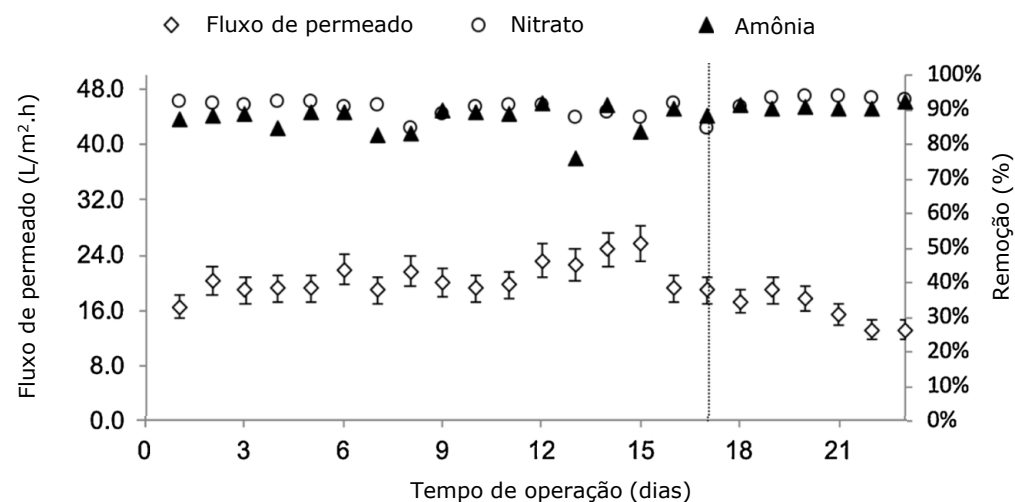


IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO
GESTÃO HÍDRICA NO RIO SÃO FRANCISCO:
 DESAFIOS E SOLUÇÕES

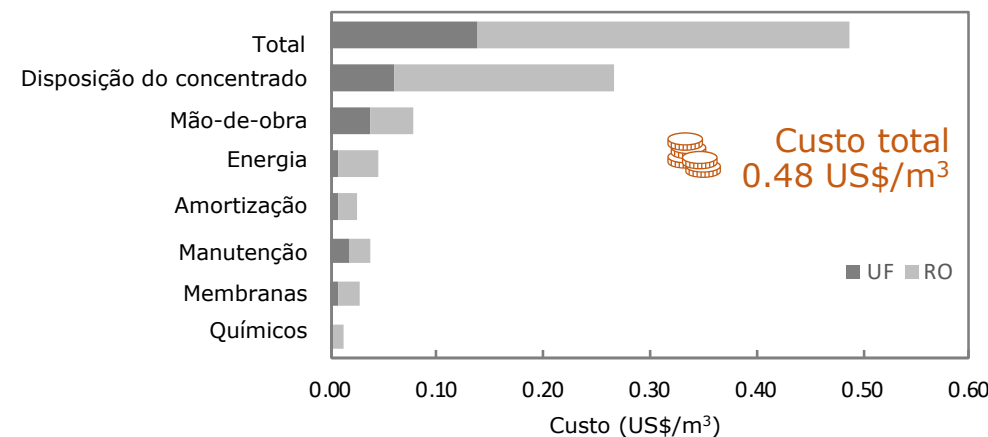


Avaliação do desempenho da rota

Fluxo de permeado e remoção de compostos na osmose inversa



Avaliação preliminar do custo



Qualidade do efluente bruto e permeado

Parâmetro	pH	SDT (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Sulfato (mg/L)
Efluente	7,1	536	30	351	95,3	3,6	38,3	221
Permeado	5,9	19	1,5	2,8	0,6	0,1	0,3	1

6,9-9,0 500 - - 50 0,5 0,5 200



Qualidade água de reúso em caldeiras

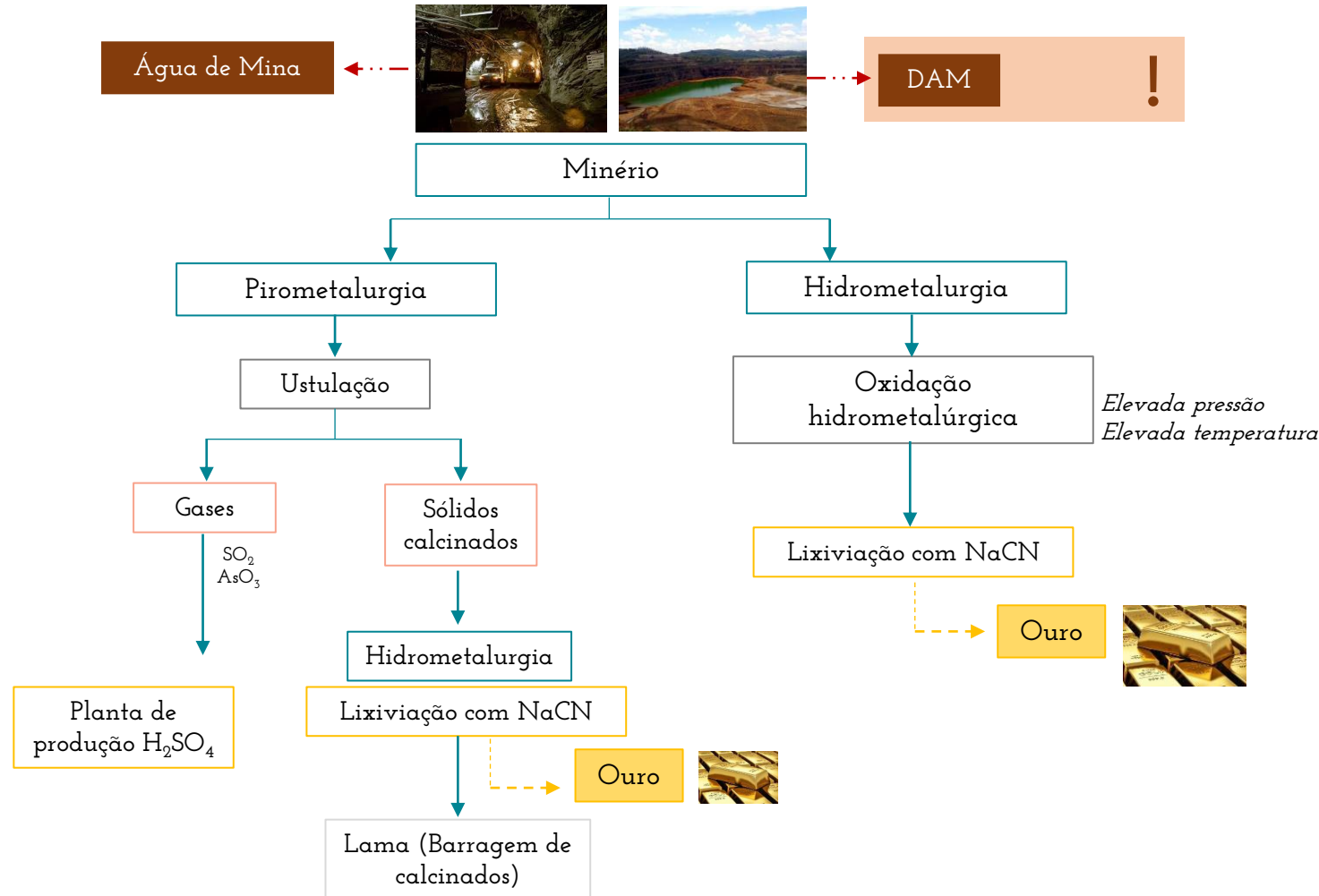


SCAN ME



O reúso de água na mineração

PROCESSO PRODUTIVO



O reúso de água na mineração

Drenagem ácida de Mina

DAM
Principais Características

pH = 2,7
Sulfato = 1.959 mg/L
Cálcio = 284 mg/L

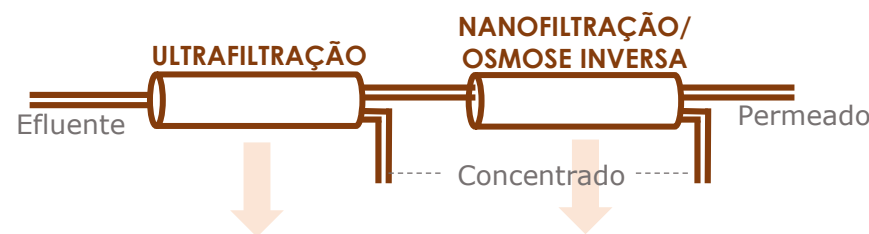
Tratamento de DAM

Remoção de sulfato e cálcio



Tratamento:
NF x OI

Água para reúso



Ultrafiltração
Zeeweed 10



Nanofiltração x Osmose inversa

MPF-34
NF90
NF270

TFC-HR
BW30

AGUIAR, A.O. ; ANDRADE, L.H. ; RICCI, B.C. ; PIRES, W.L. ; MIRANDA, G.A.; AMARAL, M.C.S. (2016) Gold Acid Mine Drainage Treatment by Membrane Separation Processes: An Evaluation of the Main Operational Conditions. Separation and Purification Technology. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.07.003>

O reúso de água na mineração



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO
GESTÃO HÍDRICA NO RIO SÃO FRANCISCO:
DESAFIOS E SOLUÇÕES



Seleção da tecnologia/membrana:

- Estabilidade da membrana
- Fluxo de permeado
- Produção de água com qualidade para reúso



Table
Main pollutants concentration and retention efficiency of NF/RO permeate for each membrane.

Membrane	Permeate concentration [retention (%)]				Average permeate flux (L/h m ²)
	Conductivity (µS/cm)	TS (mg/L)	Calcium (mg/L)	Sulfate (mg/L)	
OI TFC-HR	78 (97.2)	38 (98.7)	<2.5 (>99.2)	2.2 (99.8%)	10.2 ± 0.2
BW30	517 (81.2)	485 (83.4)	<2.5 (>99.2)	9.7 (99.3%)	10.0 ± 0.3
NF MPF-34	442 (83.9)	295 (89.9)	10.3 (96.8)	4.1 (99.7%)	45.2 ± 1.9
NF NF90	170 (93.8)	146 (95.0)	3.1 (99.0)	4.5 (99.7%)	55.7 ± 3.0
NF NF270	379 (86.2)	207 (92.9)	8.8 (97.3)	2.6 (99.8%)	88.6 ± 4.2
Process water ^a	710	1.374	104	304	

pH da alimentação = 5,5; ΔP = 10 bar; vazão de alimentação = 2.4 LPM; RR = 60%

Table
Cost estimation of the UF-NF treatment system for AMD.

	Description	Values	Units
System characteristics	Annual system capacity	131,040	m ³ /year
	Average permeate flux	0.025	m ³ /h m ²
	Required UF Membrane Area	337.50	m ²
	Required NF membrane area	324.00	m ²
	Design plant life	15	Years
	Membrane lifespan	5	Years
	Brazil investment rate	10	%
	Energy price	0.04	US\$/kW h
CapEx	UF-NF systems	131,250.00	US\$
OpEx	UF-NF membrane replacement	0.063	US\$/m ³
	Capital cost amortization	0.132	US\$/m ³
	Alkalizing agent (for pH = 5.5) (0.067 kg of NaOH/m ³ of effluent)	0.028	US\$/m ³
	Cleaning agent (0.78 m ³ of HCl 0.2% monthly)	0.009	US\$/m ³
	UF-NF energy requirement (NF: 0.40 kW h/m ³ and UF: 0.2 kW h/m ³)	0.024	US\$/m ³
	Maintenance	0.007	US\$/m ³
	Total	0.263	US\$/m³



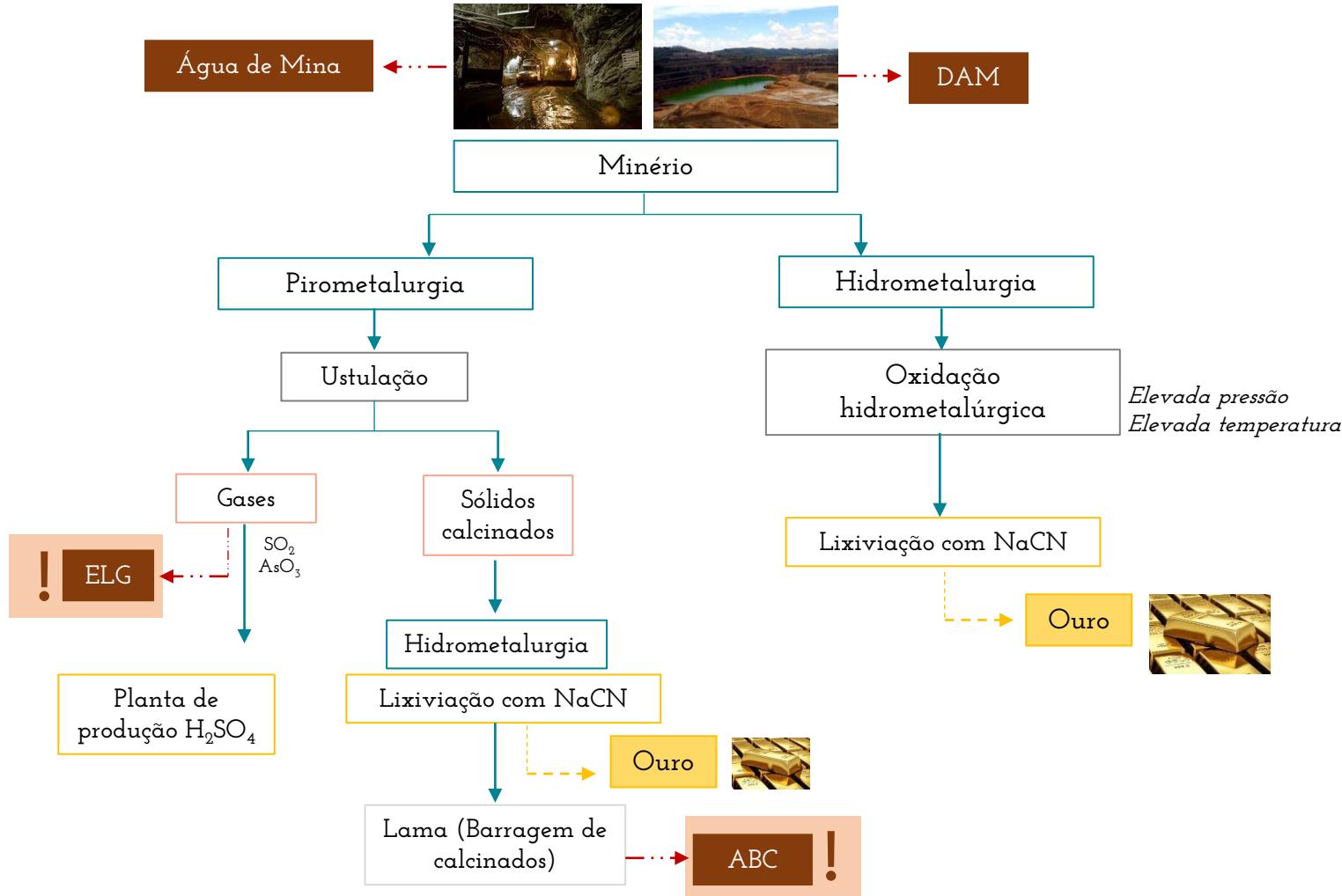
SCAN ME

Custo total
0.26 US\$/m³



O reúso de água na mineração

PROCESSO PRODUTIVO

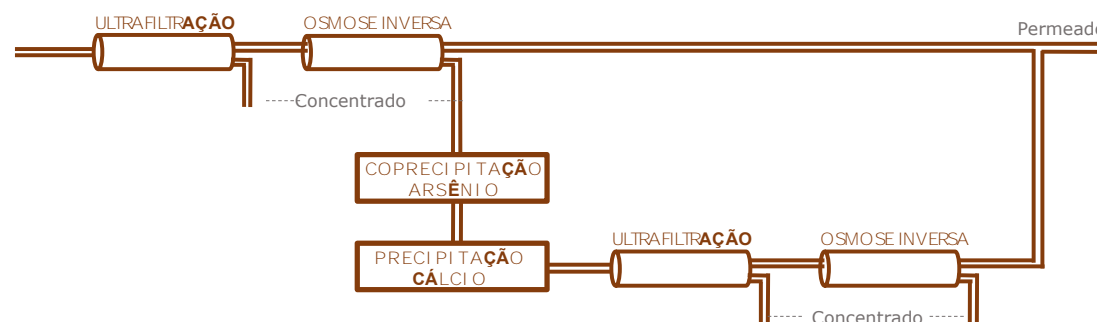


O reúso de água na mineração: água de mina

Efluente do lavador de gases + água da barragem de calcinados

Efluente
Principais
Características

pH = 2,4
Sulfato = 4.190 mg/L
Cálcio = 607 mg/L
Arsênio = 596 mg/L



Remoção de
arsênio e sulfato



Tratamento:
UF-NF e
precipitação
química

Recuperação de
água e redução
de produção de
rejeitos



ANDRADE, L.H. ; AGUIAR, A.O. ; PIRES, W.L. ; GROSSI, L.B. ; AMARAL, M.C.S. . Comprehensive bench- and pilot-scale investigation of NF for gold mining effluent treatment: Membrane performance and fouling control strategies. Separation and Purification Technology (Print), v. 174, p. 44-56, 2017.

O reúso de água na mineração

Avaliação do desempenho da rota

Qualidade do efluente bruto e permeado

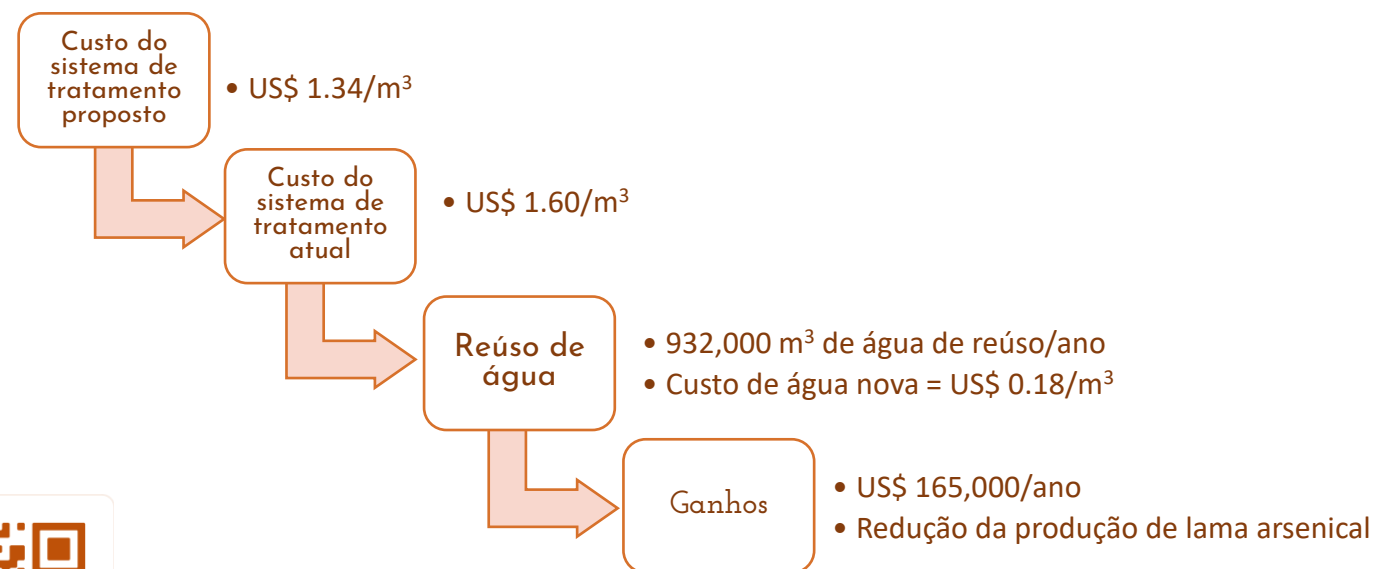
Parâmetro	Efluente bruto	Efluente tratado
pH	2,4	7
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3.970	238
Sulfato (mg/L)	4.190	126
Arsênio (mg/L)	596	161
Cálcio (mg/L)	607	24
Magnésio (mg/L)	341	6



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO
GESTÃO HÍDRICA NO RIO SÃO FRANCISCO:
DESAFIOS E SOLUÇÕES

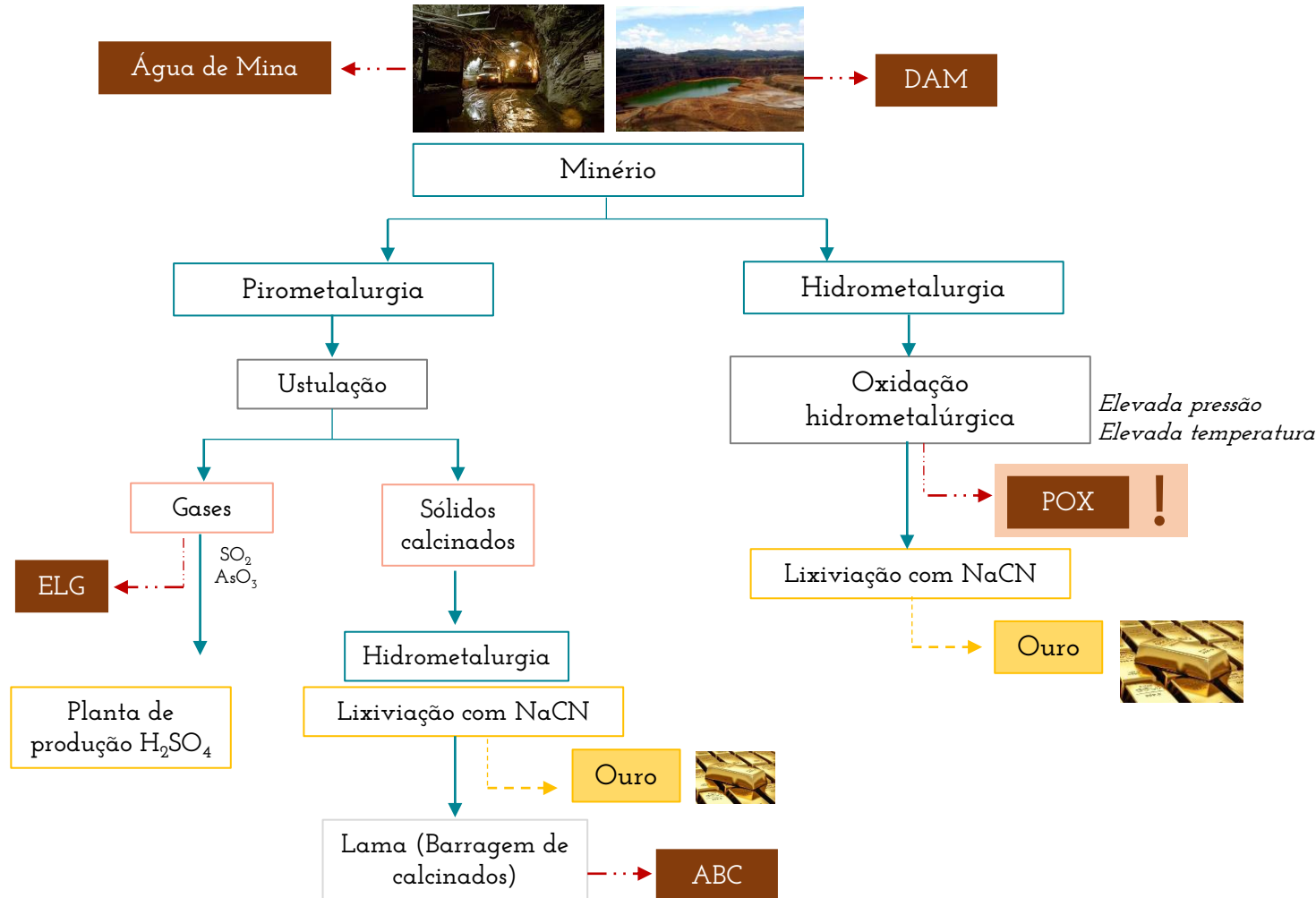


Avaliação preliminar do custo



O reúso de água na mineração

PROCESSO PRODUTIVO

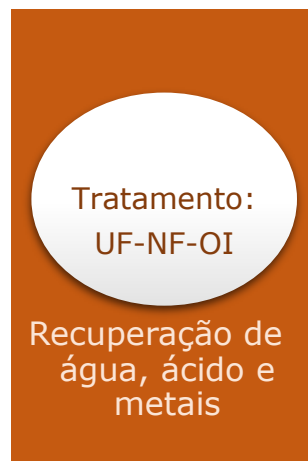


O reúso de água na mineração

Efluente do POX

Efluente POX
Principais
Características

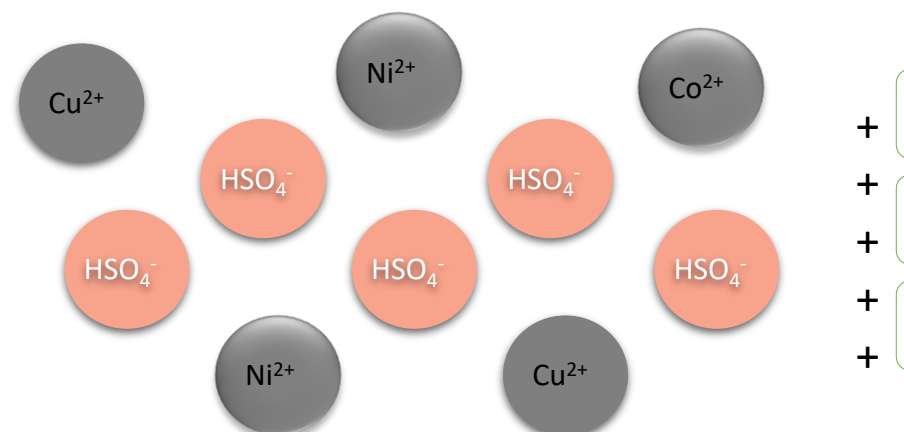
pH = 1,4
Acidez = 10.28 g/L
Cobalto = 580 mg/L
Cobre = 115 mg/L
Níquel = 1153 mg/L



Amaral, M. C., Grossi, L. B., Ramos, R. L., Ricci, B. C., & Andrade, L. H. (2018). Integrated UF-NF-RO route for gold mining effluent treatment: From bench-scale to pilot-scale. *Desalination*, 440, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.02.030>

Nanofiltração

95% de retenção dos metais
82% de permeação do ácido



RICCI, B. C. ; FERREIRA, C.D. ; AGUIAR, A.O. ; AMARAL, M.C.S. (2015) Integration of nanofiltration and reverse osmosis for metal separation and sulfuric acid recovery from gold mining effluent. *Separation and Purification Technology* (Print), v. 154, p. 11-21.

O reúso de água na mineração

Efluente do POX

Efluente POX
Principais
Características

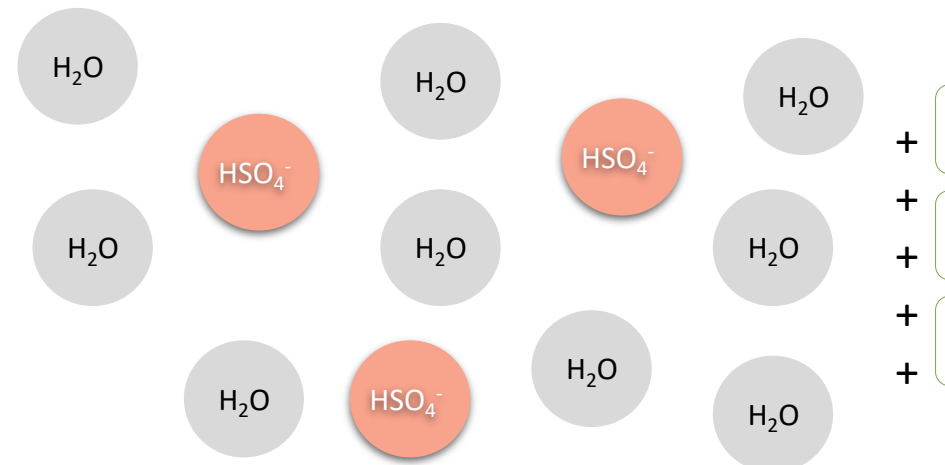
pH = 1,4
Acidez = 10.28 g/L
Cobalto = 580 mg/L
Cobre = 115 mg/L
Níquel = 1153 mg/L



Amaral, M. C., Grossi, L. B., Ramos, R. L., Ricci, B. C., & Andrade, L. H. (2018). Integrated UF–NF–RO route for gold mining effluent treatment: From bench-scale to pilot-scale. *Desalination*, 440, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.02.030>

Osmose inversa

99% retenção de ácido
Água para reúso industrial



RICCI, B. C. ; FERREIRA, C.D. ; AGUIAR, A.O. ; AMARAL, M.C.S. (2015) Integration of nanofiltration and reverse osmosis for metal separation and sulfuric acid recovery from gold mining effluent. *Separation and Purification Technology* (Print), v. 154, p. 11-21.

O reúso de água na mineração

Efluente do POX

Efluente POX
Principais
Características

pH = 1,4
Acidez = 10.28 g/L
Cobalto = 580 mg/L
Cobre = 115 mg/L
Níquel = 1153 mg/L



Tratamento de
DAM

Remoção de
ácido e metais



Tratamento:
UF-NF-OI

Recuperação de
água, ácido e
metais

Recuperação de água,
metais e ácidos

Custo preliminar do
tratamento: 0.496
US\$/m³

Redução do consumo
de cal (20%) e da
geração de lama



SCAN ME

Amaral, M. C., Grossi, L. B., Ramos, R. L., Ricci, B. C., & Andrade, L. H. (2018). Integrated UF–NF–RO route for gold mining effluent treatment: From bench-scale to pilot-scale. *Desalination*, 440, 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.02.030>

Considerações finais



IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO
**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:**
DESAFIOS E SOLUÇÕES



O reúso da água na indústria é uma estratégia interessante para a preservação do Velho Chico.



O lançamento de efluentes de mineração nos corpos d'água sem o tratamento adequado perturba o ecossistema local.



O tratamento do efluente de mineração contribui tanto para a redução do consumo de água quanto a redução de sua disposição.



A recuperação de subprodutos é estratégica no cenário de aumento da demanda por metais e redução da qualidade do minério.



O reúso do efluente e a redução da geração de lama contribui para a redução da disposição de resíduos em barragens.





IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO FRANCISCO

**GESTÃO HÍDRICA NO
RIO SÃO FRANCISCO:**
DESAFIOS E SOLUÇÕES

Obrigada!

Profa. Míriam Cristina Santos Amaral

E-mail: miriam@desa.ufmg.br

