



Água Impactada pela Mineração: Química & Tratamento

Mining Influenced Waters: their Chemistry and Methods of Treatment

Flávio de Moraes Vasconcelos Ph.D. e
Nathália A. F. S. Coutinho /Hidrogeo Eng. & Gest.
de Proj. Ltda;
Thomas. R. Wildeman/ Colorado School of Mines,
Golden;

Belo Horizonte, 25 de Novembro de 2021

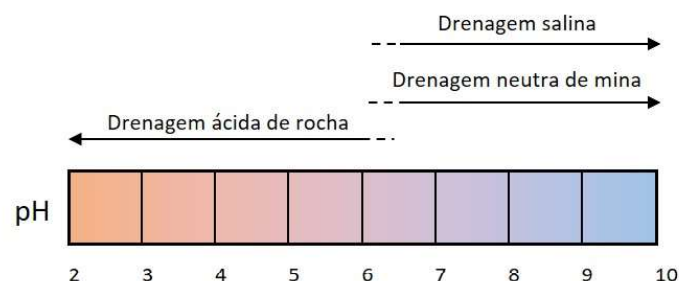




1. INTRODUÇÃO

- As águas oriundas das operações de mineração e industriais poder ter características diversas.
- Portanto rotulá-las como águas de drenagem ácida de rocha as distância dos objetivos de tratamento.
- É importante entender a química dessas águas para produzirmos conceitos de tratamento mais adequados para o controle da fonte de contaminantes.

Relação típica com o pH da drenagem:



Características típicas da drenagem:

Drenagem ácida de rocha

- pH ácido
- Metais moderadamente elevados
- Sulfato elevado
- Tratamento para neutralização ácida e remoção e metais e sulfato

Drenagem neutra de mina

- pH próximo ao neutro para o alcalino
- Baixo para moderado metais. Pode ter elevado: zinco, cádmio, manganês, antimônio, arsênio e selênio
- Baixo a moderado sulfato
- Tratamento para metais e as vezes remoção de sulfato

Drenagem salina

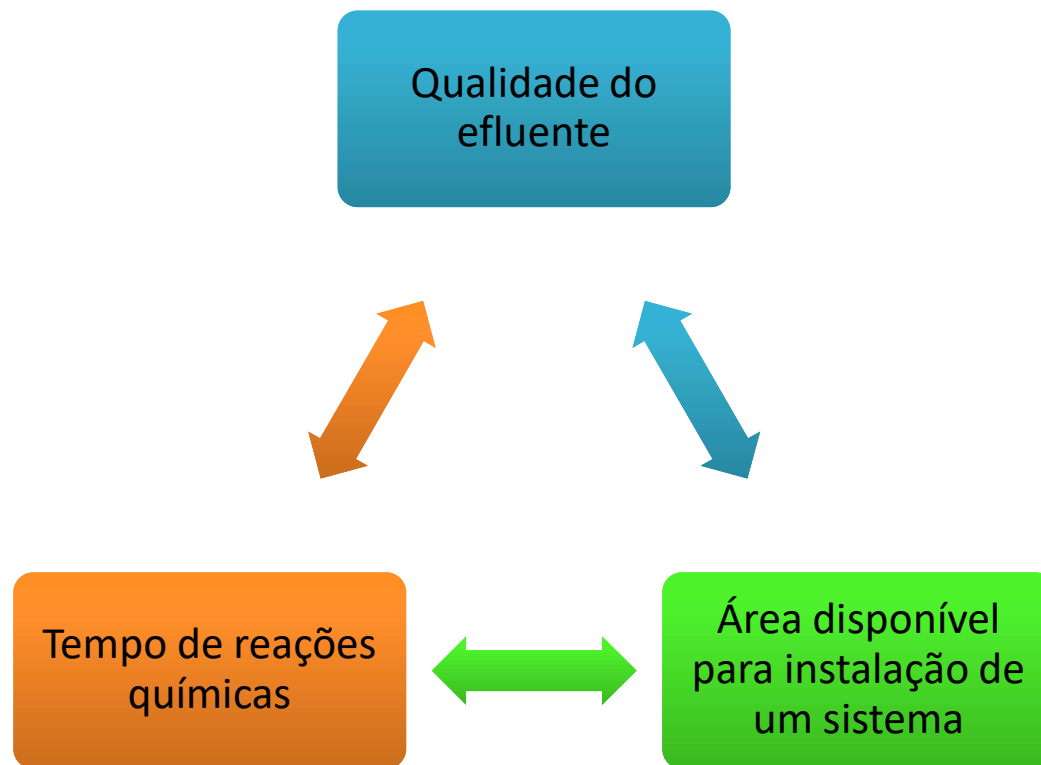
- pH neutro a alcalino
- Baixo metais. Pode ter moderado ferro
- Moderado sulfato, magnésio e cálcio
- Tratamento para sulfato e as vezes remoção de metais



1. INTRODUÇÃO

Aspectos fundamentais na análise técnica das opções para tratabilidade de efluentes

Toda análise de gestão de efluente industrial deve passar por esta avaliação.





1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA
1ST LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS
1^{ER} CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



2. OBJETIVO

- Revisar o termo água influenciada pela mineração (MIW) e descrever quatro categorias de MIW que possuem diferentes químicas e requerem diferentes tipos de tratamento com ênfase em diversos tipos de água.



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA
1ST LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS
1^{ER} CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



3. ÁGUA INFLUENCIADA PELA MINERAÇÃO

(MIW) definida como qualquer água cuja composição química tenha sido afetada pela mineração ou processamento mineral.

A drenagem ácida de rochas (DAR) é um MIW que possui acidez mineral. O termo drenagem ácida de rocha é usado em vez de drenagem ácida de mina porque inclui todas as águas com acidez mineral que podem ser encontradas em uma operação de mineração e não apenas a água que flui de galerias e poços. Em particular, DAR de pilhas de estéril, paredes de poço e estéril estão incluídos.



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA
1ST LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS
1^{ER} CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



3. ÁGUA INFLUENCIADA PELA MINERAÇÃO

- Além do DAR, existem pelo menos três outros tipos de MIW:
 - **Águas marginais** possuem alcalinidade e pHs em torno de 7 e contaminantes que estão acima dos padrões de concentração para organismos aquáticos.
 - **Águas de processamento mineral** têm alcalinidade e pHs acima de 7. Contêm ânions solúveis, como arsenato e selenato, que persistem no circuito de processamento mineral. Águas dos circuitos de processamento de cianeto contêm esse constituinte e outros metais, como ferro e cobre, que são complexados pelo cianeto.
 - **Águas residuais** têm pHs acima de 7 e um alto nível de sólidos totais dissolvidos. Seus constituintes são sólidos dissolvidos com cátions de sódio e potássio, e ânions de cloreto e sulfato, que persistem na água até o mar.



4. DRENAGEM DE ROCHA ÁCIDA (DAR)

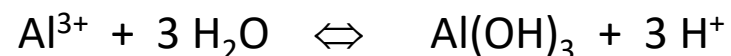
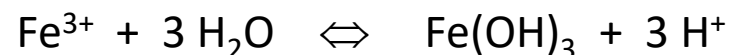
Tabela 1. Concentrações em mg /l de exemplos típicos de águas DAR.

	Quartz Hill	Gold mine	Coal	Buckeye
pH	2.5	3.0	3.0	5.9
Al	60	20	37	21
Fe	750	1.8	57	580
Mn	80	1.1	6.4	20
Cu	55	0.12	-	0.03
Zn	150	-	-	0.24
Cd	0.80	0.004	-	-
Pb	0.14	-	-	0.02
As	1.5	-	-	0.01
SO ₄	4.000	184	1300	750



4. DRENAGEM ÁCIDA DE ROCHA (DAR)

- O que essas águas ARD têm em comum não é o pH, mas as **altas concentrações de Fe e Al**.
- Esses dois elementos se hidrolisam em água de acordo com as seguintes reações.



- Para o Fe, essa reação ocorre entre um pH de 3,0 e 3,5, e para o Al entre um pH de 5,0 e 5,5.
- Para começar a ter alcalinidade do carbonato na água, o pH deve estar acima de 5,0. Conseqüentemente, todo o Fe e Al devem ser removidos antes que a alcalinidade do carbonato possa ser alcançada.
- Buckeye é um excelente exemplo de ARD com acidez mineral. O pH da água é 5,9, entretanto, a alta concentração de ferro existente na água como Fe (II) controla a química da água. Fe (II) oxidará em Fe (III) e este irá hidrolisar em Fe (OH) 3 e o pH cairá para cerca de 3 até que todo o Fe seja removido da água.



4. DRENAGEM ÁCIDA DE ROCHA (DAR)

4.1. TRATAMENTO DE DAR

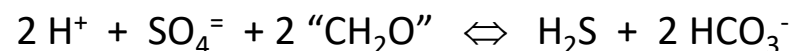
- O objetivo do tratamento: obviamente **adicionar alcalinidade à água**.
- No **tratamento ativo** de ARD, vários reagentes são usados para fornecer essa alcalinidade, sendo NaOH e Ca(OH)_2 os mais populares. No tratamento ativo, o pH é geralmente aumentado para cerca de 10,0 e, sob essas condições, a maioria dos metais preocupantes são precipitados como hidróxidos.
- No **tratamento passivo**, fornecer alcalinidade é mais problemático, especialmente em um caso de DAR mais grave, como a água do Túnel de Quartzito. Materiais alcalinos naturais, como calcário, não se dissolvem com rapidez suficiente. Ainda assim, o tratamento com calcário é usado em drenos de calcário aberto e em drenos de calcário anóxico.



4. DRENAGEM DE ROCHA ÁCIDA (ARD)

4.1. TRATAMENTO DE ARD

- Nos métodos microbianos de tratamento passivo, os métodos aeróbicos de tratamento são inaceitáveis porque, nesses sistemas, Fe (II) será oxidado a Fe (III) e, em seguida, a reação de hidrólise acima de Fe (III) ocorrerá baixando o pH para cerca de 3.
- Uma reação catalisada microbianamente que adicionará alcalinidade é a redução de sulfato anaeróbico:



"CH₂O" representa o material orgânico em um sistema de redução de sulfato anaeróbico.



5. ÁGUAS MARGINAIS

- Águas marginais têm alcalinidade e pHs em torno de 7. As concentrações de Fe e Al são baixas porque esses dois constituintes não podem permanecer na água em condições aeróbias com esses pHs.

Tabela 2. Concentrações em mg /L de exemplos típicos de águas marginais associadas a operações de mineração.

	Westfork	Ferris Haggarty	Nickel mine	Water quality ref.
pH	7.9	6.6	7.1	6.0 – 8.0
Mn	0.01	0.05	0.37	0.10
Ni	-	0.05	7.5	0.20
Cu	0.02	20.6	0.015	0.01
Zn	0.21	0.07	0.20	0.10
Cd	0.002	0.003	0.009	0.005
Pb	0.70	-	-	0.020
SO ₄	63	48	1,005	-
Alk.	156	-	33	-
As	-	-	-	0.010

A coluna de padrões aquáticos na tabela representa os padrões de água fria para Colorado para uma dureza da água de 100 mg CaCO₃ por litro.



5. ÁGUAS MARGINAIS

5.1. TRATAMENTO DAS ÁGUAS MARGINAIS

- As concentrações de constituintes preocupantes estão significativamente acima dos critérios de qualidade de água típicos para organismos aquáticos.
- Em um ambiente aeróbio típico da maioria dos lugares onde residem organismos aquáticos, os constituintes de metais pesados precipitariam como hidróxidos ou carbonatos. No entanto, essas formas de Zn, Ni, Mn e As são bastante solúveis mesmo em pH 7. Conseqüentemente, a remoção desses metais mais solúveis costuma ser o objetivo do tratamento para essas águas.



5. ÁGUAS MARGINAIS

5.1. TRATAMENTO DE ÁGUAS MARGINAIS

- À primeira vista, o tratamento das águas marginais parece ser o aumento do pH para cerca de 10, de modo que mesmo os hidróxidos de metal solúveis seriam removidos. Esta seria a primeira abordagem para o tratamento ativo dessas águas.
- No entanto, há uma série de questões que tornam este esquema de tratamento não tão fácil. Em primeiro lugar, é comum que essas águas sejam de qualidade razoavelmente boa porque foram diluídas por grandes volumes de água boa, de modo que grandes fluxos são um problema.



5. ÁGUAS MARGINAIS

5.1. TRATAMENTO DE ÁGUAS MARGINAIS

- Em segundo lugar, o tratamento ativo dessas águas envolve a remoção de uma pequena quantidade de precipitado de um grande volume de água. Isso pode exigir um agente de coagulação ou um aparelho de filtragem especial.
- Finalmente, no caso do Pb e do Zn, a forma do metal na água é principalmente um complexo de carbonato ou hidróxido. A adição de mais carbonato ou hidróxido em um processo ativo pode fazer com que o metal seja mais estável na água e não causar precipitação.



4. ÁGUAS DE PROCESSAMENTO MINERAL

- As águas das duas primeiras colunas são provenientes de sistemas de cianeto e a água do CMM é um licor gasto proveniente de uma refinaria de zinco no Brasil.

Tabela 3. Concentrações em mg / L de exemplos típicos de águas de processamento mineral associadas às operações de mineração.

Parameter:	Heap Leach	Rain	CMM
pH	8.1	8.0	5.5
Fe	2.4	0.05	0.60
Mn	-	0.47	187
Cu	-	3.3	0.024
Zn	-	-	657
Cd	0.09	-	1.9
As	0.02	-	-
Se	-	-	-
CN (Total)	230	4.5	-
SO ₄	300	1.770	5.800



4. ÁGUAS DE PROCESSAMENTO MINERAL

- As águas com cianeto representam uma categoria especial de águas de processamento mineral porque o cianeto causa **três problemas**.
 - Primeiro, é um contaminante e deve ser destruído.
 - O segundo problema é que uma porção significativa do cianeto está ligada a complexos de metal e estes devem ser quebrados antes que o cianeto e o metal contaminante possam ser removidos. Este é especialmente o caso nas minas de ouro e na água Heap Leach, onde há muito mais Fe e Cu na água do que deveria estar presente em um pH de 8,0.
 - Finalmente o problema é que essas águas geralmente contêm arsênio e selênio que existem na água como oxianions solúveis e sua remoção pode ser difícil.



5. ÁGUAS RESIDUAIS

- O termo residual é usado porque os constituintes da água representam o que resta quando todo o resto é facilmente removido.
- No entanto, a origem dos constituintes nessas águas provavelmente se deve à interação da água com os sais solúveis tanto na camada de cobertura quanto no depósito mineral.



5. ÁGUAS RESIDUAIS

- A química das águas residuais é caracterizada por altos valores de TDS, pHs alcalinos e altas concentrações de sulfato, que muitas vezes é apontado como o contaminante preocupante.

Tabela 4. Concentrações em mg / L de constituintes em exemplos típicos de águas residuais associadas a operações de mineração.

Parameter:	Wyoming	Coal	Oil Shale	Refinery
pH	8.2	7.1	7.9-8.8	7.8
Na	800	940	1,000	180
K	92	3	743	82
Ca	260	290	47	160
Mg	34	100	33	170
Cl	1,040	1,000	69	350
SO ₄	900	1,600	3,000	600
Alk	280	200	371	-
TDS	3,500	4,200	5,300	-

- A água do Wyoming vem da Reserva de Petróleo Naval.
- A água do carvão é água subterrânea que flui através de uma pilha de resíduos de carvão.
- A água de xisto betuminoso é a água residual da retorta de xisto betuminoso.
- A água da refinaria é água subterrânea contaminada de uma refinaria de petróleo.



5. CONCLUSÕES

- A caracterização e classificação da água a ser tratada é de fundamental importância no ambiente de mineração fazer a adequada gestão do efluente;
- Cada tipo de água ou efluente vai necessitar de um tipo específico de tratamento;
- O tratamento pode ser mais oneroso e sofisticado em função dos objetivos a serem obtidos. Caso este não seja possível de curto prazo a opção de recirculação da água ou a utilização de estudos de zona de mistura podem ser estratégias interessantes;
- A escolha do tratamento incorreto para o tratamento do efluente pode incorrer e perdas de recursos financeiros e de tempo.



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA
1ST LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS
1^{ER} CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



6. AGRADECIMENTOS

- A comissão técnica e científica do CLADAM que aprovou o trabalho para ser apresentado.
- Ao Prof. Wildeman que muito me ensinou muito nessa área!