

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

USO DE ÁGUA RENOVADA NA MINERAÇÃO: PANORAMA E PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Andrielly Moutinho Knupp; Guilherme Alves; Juliana Santos; Mayla Feitoza Barbirato; Rafael Burgarelli; Renata Gaudereto Andries; Thais Traspadini Peisino; Thatiana Cappi da Costa; Vancleide Bof; Vinicius Perin Passigatti; Zenilte Cunha¹; Ana Silvia Santos e Maíra Lima²

Abstract: Mining and metallurgy are sectors highly dependent on water for the execution of their operational activities. In this context, these industries play a strategic role in the search for practical and sustainable solutions to challenges related to water management. This study analyzed mining companies with global operations involving the extraction of iron, copper, and nickel, which presented, in their Integrated Reports and/or institutional websites, projects that adopt the use of renewed water, defined as treated effluent from external sources to the company's own operations. The methodology adopted was divided into four main stages: (i) survey of the 50 largest mining companies in the world; (ii) definition of the sample based on the availability of public information; (iii) selection of 22 mining companies for detailed analysis of sustainability reports; and (iv) definition of the variables to be investigated. From the reports evaluated, only 9 companies explicitly mentioned the use of renewed water in their operational plants. The results demonstrate that the identified projects are mostly located in regions of water instability, characterized by severe droughts and/or scenarios of water stress or scarcity. The analysis suggests that the criticality of the local water context may be one of the main driving factors for the adoption of solutions based on renewed water. Expanding investments in sustainable water sources, such as the use of renewed water, is essential to ensure water security, operational continuity, and the balance between economic development, environmental responsibility, and social justice, especially in the face of increasing competition for water use.

Resumo: A mineração e a metalurgia são setores altamente dependentes da água para a realização de suas atividades operacionais. Nesse contexto, essas indústrias desempenham um papel estratégico na busca por soluções práticas e sustentáveis para os desafios relacionados à gestão hídrica. Este estudo analisou mineradoras com atuação global cujas operações envolvem a extração de ferro, cobre e níquel, e que apresentaram, em seus relatórios integrados e/ou sites institucionais, projetos que adotam o uso de água renovada, definida como esgoto tratado proveniente de fontes externas às operações da própria empresa. A metodologia adotada foi dividida em quatro etapas principais: (i) levantamento das 50 maiores mineradoras do mundo; (ii) definição da amostra com base na disponibilidade de informações públicas; (iii) seleção de 22 mineradoras para análise detalhada dos relatórios de sustentabilidade; e (iv) definição das variáveis a serem investigadas. Dos relatórios avaliados, apenas 9 empresas mencionaram explicitamente o uso de água renovada em suas plantas operacionais. Os resultados demonstram que os projetos identificados estão majoritariamente

1) VALE S/A. Avenida Dante Michelini, 5500. Vitória- Espírito Santo (ES). andrielly.knupp@vale.com; guilherme.alves@vale.com; mayla.barbirato@vale.com; rafael.burgarelli@vale.com; renata.andries@vale.com; juliana.santos@vale.com; thais.peisino@vale.com; thatiana.cappi.costa@vale.com; vancleide.bof@vale.com; vinicius.passigatti@vale.com; zenilte.cunha@vale.com

2) IRda (Instituto Reúso de Água) Rua das mimosas, 9 - Gualtar - Braga/Portugal, 4715-641

(+351) 912 688 973. ana.pereira@eng.uerj.br; mairalima.90@gmail.com.

localizados em regiões de instabilidade hídrica, caracterizadas por secas severas e/ou cenários de estresse ou escassez hídrica. A análise sugere que a criticidade do contexto hídrico local pode ser um dos principais fatores impulsionadores para a adoção de soluções baseadas em água renovada. Ampliar investimentos em fontes sustentáveis de água, como o uso de água renovada, é essencial para garantir a segurança hídrica, a continuidade operacional e o equilíbrio entre desenvolvimento econômico, responsabilidade ambiental e justiça social, especialmente diante da crescente competição pelo uso da água.

Palavras-Chave – água renovada; mineração; benchmarking

INTRODUÇÃO

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), a frequência de eventos climáticos extremos aumentará nas próximas décadas, trazendo consequências profundas para a sociedade, o meio ambiente e a economia. Setores industriais que dependem de grandes volumes de água enfrentarão riscos operacionais crescentes, com possíveis interrupções na produção e aumento dos custos.

Adicionalmente, os limites de consumo de água doce estão se aproximando rapidamente do volume disponível (GERTEN et al., 2013) ou podem já ter sido excedido (GRAFTON et al., 2013; ROSA et al., 2019). O aumento da demanda de água se deve principalmente ao crescimento populacional e econômico. Segundo World Resources Institute, um quarto da humanidade está localizada em países que enfrentam estresse hídrico extremo e, até 2050, estima-se que mais de 1 bilhão de pessoas estejam nessa situação (KUZMA; SACCOCIA; CHERTOCK, 2023).

A mineração e a metalurgia são setores altamente dependentes da água para suas operações e, nesse sentido, têm um papel importante na contribuição de soluções práticas para os desafios na gestão hídrica ICMM (2021). Na mineração, a água é utilizada em diferentes etapas do processo produtivo e nos controles ambientais.

No ano de 2023, o Brasil exportou 378,5 milhões de toneladas de minério de ferro (equivalente à 30,5 bilhões de dólares) e utilizou, em média, 0,305 m³ de água nova por tonelada de ROM (IBRAM, 2023, 2024). Estima-se, por conseguinte, que o setor tenha utilizado em seus processos produtivos cerca de 115,4 milhões de m³ de água nova nesse ano.

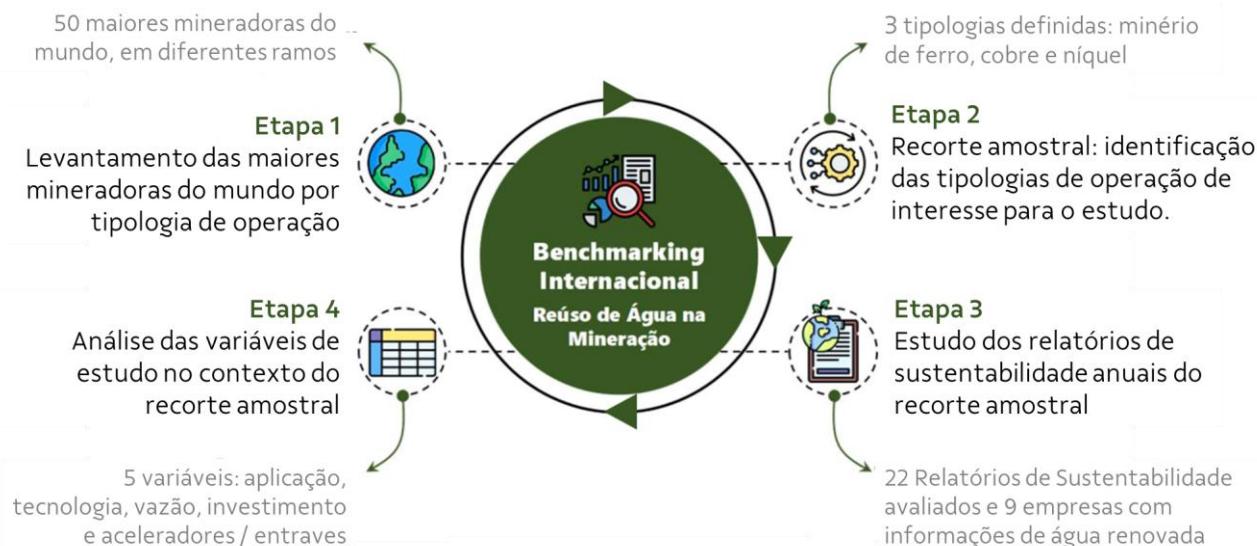
Nesse contexto, a gestão da água enfrenta grandes desafios que tendem a se intensificar, exigindo uma administração hídrica mais eficiente no futuro. Com isso, empresas do setor tem buscado fontes sustentáveis de água, como o uso de efluentes tratados e água dessalinizada, visando reduzir a captação de água nova e o lançamento de efluentes em corpos d'água.

O *International Council on Mining & Metals* (ICMM) estabelece diretrizes para a reutilização da água na mineração. De acordo com o ICMM, a água operacional (água nova) é aquela utilizada pela primeira vez, que entra no sistema para suprir às necessidades operacionais. Essa água pode ser armazenada, utilizada e tratada. Após seu uso inicial, ela pode ser reutilizada ou reciclada, ou então descartada ou destinada a outros usos por terceiros. Internamente, a água é reciclada quando passa por tratamento e é reutilizada quando é empregada diretamente, sem tratamento (ICMM, 2021).

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo foram consideradas 4 (quatro) etapas principais, como descrito abaixo e na Figura 1:

Figura 01 - Metodologia aplicada no estudo



Fonte: Adaptado de Santos, A. S.; Lima, M. (2024).

- i) levantamento das 50 maiores mineradoras. Para esta etapa foi considerado os dados do “MINING.COM TOP 50”, publicado em 2023 (Mining, 2023)
- ii) a segunda etapa consistiu na definição do n amostral, a partir dos dados obtidos no item (i) foram consideradas somente as empresas com tipologia de ferro, cobre e níquel, na categoria de mineradoras com operações específicas ou diversificadas. A etapa subsequente
- iii) considerou o recorte no n amostral de 22 mineradoras para avaliação dos relatórios de relato integrado com foco nas ações de uso racional da água, incluindo o reuso. Por fim, na etapa
- iv) foram definidas as variáveis a serem estudadas: a) modalidade de reuso, b) vazão de projeto / operação, c) arranjo tecnológico envolvido na produção da água renovada, d) aplicação da água renovada na planta industrial, e e) aceleradores e entraves.

O estudo abrangeu mineradoras de todo o mundo cuja linhas de operação envolvem ferro, cobre e níquel, e apresentaram, em seus relatos integrados e/ou sites, projetos que adotam o uso de água renovada. A sede das mineradoras avaliadas está distribuída entre os seguintes países: Arábia Saudita, Austrália, Canadá, China, Estados Unidos, Indonésia, Índia, Japão, México, Reino Unido, Rússia, Suécia e Suíça.

Para a etapa 3 foram adotadas palavras-chave para busca de informações nos relatórios de sustentabilidade, foram priorizadas: *Water Reuse; Recycled Water; Reclaimed Water; Wastewater; Desalination*; além de pequenas variações entre elas.

Na etapa 4 foram definidas variáveis de análises, adotadas conforme as premissas a seguir:

- Aplicação da água renovada na planta industrial, de modo a orientar o entendimento indireto sobre a qualidade requerida.
- Arranjo tecnológico envolvido na produção da água renovada, que demonstra a viabilidade de alcançar a qualidade requerida para o uso pretendido, além de garantir a segurança sanitária e ambiental.
- Vazão de projeto / operação, que favorece o entendimento geral sobre a ordem de grandeza do projeto.

- Investimentos aplicados e a responsabilidade pela manutenção financeira do projeto, ao longo de um espaço temporal pré-definido.
- Aceleradores e entraves que demonstram tanto o cenário que tornou o projeto necessário e viável, bem como as dificuldades enfrentadas para os avanços em parcerias e infraestruturas.

GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO PROCESSO PRODUTIVO MINERÁRIO

A demanda hídrica minerária depende de inúmeros fatores, como o minério/metal explorado, a qualidade do minério, as condições climáticas locais, o método de beneficiamento, infraestrutura hídrica instalada, nível de automação dos processos e, sem se limitar, ao tamanho das áreas de superfície exposta. As fontes de água utilizadas ao longo deste processo podem ser variadas, incluindo água nova (proveniente de fontes superficiais ou subterrâneas), água de reúso, reciclada, renovada, captada da chuva ou dessalinizada de origem marinha.

Dada a complexidade dos fatores que influenciam a demanda hídrica na mineração e a diversidade de fontes utilizadas ao longo do processo, torna-se fundamental estabelecer uma base conceitual clara. Com esse objetivo, a Tabela 1 apresenta definições-chave relacionadas à gestão hídrica minerária, com ênfase na classificação das fontes de água e seus respectivos usos:

Tabela 1 - Definições-chave relacionadas à gestão hídrica minerária

Termo	Descrição	Água não nova	Água nova	Fonte convencional	Fonte sustentável
Captação Operacional	Água captada e utilizada para fins produtivos, como subterrânea e superficial (fonte convencional) e dessalinização e água renovada (fonte sustentável)		x	x	x
Demandas Operacionais	Volume total requerido de água para fins produtivo.	x	x	x	x
Água Reciclada	Soma da captação operacional, água de reúso e reciclada	x			x
Reúso	Água utilizada mais de uma vez dentro da própria unidade, após tratamento	x			x
Água Renovada	Água utilizada mais de uma vez dentro da própria unidade, sem tratamento		x		x
	Efluente tratado proveniente de fonte externa, reaproveitado como insumo em um segundo processo industrial/minerário		x		x

Fonte: os autores.

ÁGUA RENOVADA

A partir da análise das práticas hídricas com foco nas ações de reutilização de água nos 22 relatórios de sustentabilidade das mineradoras, somente 9 apresentam dados gerais sobre o uso da água renovada em suas plantas, conforme a Tabela 2. Entre essas 9 empresas, somente 7 (8 projetos) apresentam dados mais consistentes, em outras referências; para as outras duas, não foi possível encontrar dados. Já a Figura 02 apresenta a localização dos projetos de água renovada estudados.

Tabela 2 – Dados das mineradoras analisadas em relação ao uso de água renovada

Empresa	País	Sede	Operações
Glencore	Suíça	Baar	Cobre e Níquel
Southern Copper	México	Cidade do México	Cobre
Freeport-McMoRan	EUA	Phoenix	Cobre
Ma'aden	Arábia Saudita	Riyadh	Cobre
Anglo American	Reino Unido	Londres	Minério de Ferro e Cobre
CMOC Group*	China	Cidade de Luoyang	Cobre
First Quantum Minerals	Canadá	Vancouver	Cobre e Níquel
Vendata*	Índia	Panaji	Minério de Ferro e Cobre
Ivanhoe Mines	Canadá	Vancouver	Cobre

* Não foi possível encontrar dados disponíveis sobre os projetos de água renovada em suas plantas.

Fonte: Adaptado de Santos, A. S.; Lima, M. (2024).

Figura 02 - Localização dos projetos de água renovada estudados



Fonte: Adaptado de Santos, A. S.; Lima, M. (2024).

Na Tabela 03 é possível observar um resumo geral das principais informações sobre os projetos de água renovada elencados no estudo.

Tabela 03 - Resumo das principais informações sobre os projetos de água renovada estudados

Empresa	Local	Arranjo Tecnológico do Tratamento	Origem da água renovada	Aplicação	Vazão – L/s (PE - Hab)*	Distância (km)	Investimento (US\$)
Glencore	Chile	Preliminar + Primário + Secundário + Cloro	EPAR Antofagasta	ND	69 (40 mil)	26	45 milhões
Southern Copper	Peru	ND	EPAR Ilo	ND	206 (120 mil)	-	45 milhões
	México	ND	EPAR de Agua Prieta	Lixiviação	230 (80 mil)	95	(30 anos) 100 milhões
Freeport-McMoRan	Peru	Preliminar + Primário + Secundário + Cloro	EPAR Enlozada	ND	1.000 (576 mil)	30	615 milhões 539 CAPEX + 77 OPEX**
Ma'aden	Arábia Saudita	ND	EPAR Medina	Reflorestamento e melhoria de eficiência operacional	1.300 (100 mil)	430	432 milhões
Anglo American	África do Sul	ND	EPAR Mokopane EPAR Polokwane	ND	69 (40 mil)	-	64 milhões
First Quantum Minerals	Espanha	Secundário + Cloro + UF	EPAR San Jeronimo	Processos Industriais	120 (70 mil)	18	13,4 milhões (CAPEX) 41 mil/ano (OPEX)
Ivanhoe Mines	África do Sul	ND	EPAR Mosodi	ND	115 (66 mil)	-	12 milhões

* População Equivalente (PE) foi estimada considerando uma quota per capita de água (QPC) de 150 L/hab.dia, exceto para o projeto da EPAR de Agua Prieta; neste caso, foi informada a PE, que equivale à uma QPC de 250 L/hab.dia.

** OPEX equivalente ao período total do projeto.

ND – No Data (Sem Dados).

Observam-se diferentes características entre os projetos, com capacidades variando entre 69 e 1.300 L/s, e investimentos entre 12 e 539 milhões de dólares. O valor de investimento depende de diferentes variáveis como capacidades, arranjo tecnológico envolvido na produção da água renovada, distância entre produtor e consumidor, condições de contrato, responsabilidade operacional e dentre outros.

Sobre o arranjo tecnológico, foi possível obter dados somente de 3 projetos. Dois deles apresentam processo de tratamento secundário com desinfecção e somente um deles, tecnologia de membranas. É sabido que processos mais avançados garantem maior qualidade do efluente. No entanto, pelo levantamento realizado não foi possível identificar com clareza as aplicações da água renovada. De maneira geral, as aplicações são destinadas à mineração (extração e afins), e até mesmo, o reflorestamento do entorno. No caso dos processos industriais, de fato, é requerida maior qualidade do efluente tratado em função do processo.

As distâncias entre produtor e consumidor podem ser expressivas (entre 18 e 430 km), mas não foi possível identificar com clareza as formas de transporte do efluente para as empresas avaliadas. Por exemplo, a título de comparação, a distância de adução do Projeto Aquapolo, conhecido no Brasil como maior empreendimento de produção de água renovada para fornecimento industrial, é de 17 km.

Como fatores aceleradores para o comissionamento desses projetos viabilizadores do uso de água renovada, foram observados: escassez hídrica, necessidade de expansão das plantas e poluição hídrica.

Sobre os entraves, os principais desafios mapeados foram: falta de regulamentação de projetos voltados para o reaproveitamento ou reuso, custos elevados dos projetos, dificuldades administrativas e burocráticas e aceitação inclusive no nível executivo da própria instituição. No entanto, o estudo identificou que a variação do preço da água local, dificultou os cálculos sobre o retorno dos investimentos e sobre subsídios para tornar o projeto viável, em função da comparação entre a tarifa de água renovada e preço da água local.

Além das empresas mapeadas no estudo realizado, abaixo são apresentados exemplos de alguns projetos que viabilizam o uso de água renovada no Brasil:

- Aquapolo – utiliza esgoto tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto ABC da Sabesp (ETE-ABC) com seu principal insumo. Após o processo de tratamento do esgoto, parte da vazão que seria destinada a um córrego é desviada para a operação do Aquapolo. Então, a Aquapolo adequada a qualidade da água e fornece água renovada para o Polo Petroquímico de Capuava e indústrias da Região do ABC Paulista (AQUAPOLO, 2025).
- Alumar – a refinaria de alumínio incorpora ao seu processo produtivo, cerca de 800.000 m³/ano de efluentes tratados provenientes de uma cervejaria localizada nas proximidades da planta (ALCOA, 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram extraídos dados sobre a estratégia de reutilização de água dos relatórios de sustentabilidade de 22 das 50 maiores mineradoras do mundo. Destas, mencionam sobre uso de água renovada (efluente tratado de terceiros) em suas plantas operacionais apenas 9. Os dados públicos disponíveis nos relatórios de sustentabilidade não especificam informações sobre tecnologias adotadas, custo, qualidade e capacidade operacional de seus sistemas, para complementação dessas informações foi necessário o uso de outras bases de dados para complementação das informações.

Após todo o levantamento de dados, foram consolidadas informações de 07 (sete) empresas, sendo que uma delas apresentou dados para 02 projetos.

De forma geral, os resultados demonstram que os projetos avaliados estão localizados em áreas de instabilidade hídrica, regiões sujeitas a secas rigorosas e/ou cenários de estresse ou escassez hídrica. A partir dos dados levantados, constatou-se que este pode ser o principal acelerador relacionado aos avanços dos projetos de água renovada.

No Brasil, iniciativas baseadas em fontes sustentáveis de água vêm ganhando destaque em diferentes setores, como é o caso do projeto Aquapolo. Trata-se do maior empreendimento de produção de água renovada da América do Sul e um dos maiores do mundo (AQUAPOLO, 2025). Impulsionado pelo cenário de estresse hídrico da Região Metropolitana de São Paulo, o projeto representa uma solução estratégica para mitigar os impactos da escassez, ao reduzir a demanda por água potável no setor industrial e liberar esse recurso para o consumo humano.

Conclui-se, por fim, que diante do agravamento da crise hídrica global e da crescente competição entre os setores industrial, agrícola e urbano pelo uso da água, torna-se urgente ampliar os investimentos em projetos baseados em fontes sustentáveis. Soluções como o reúso de efluentes tratados (água renovada) não apenas contribuem para a segurança hídrica e a preservação dos recursos naturais, como também garantem a continuidade operacional das atividades produtivas, promovendo um equilíbrio entre desenvolvimento econômico, responsabilidade ambiental e justiça social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOA. Projetos de Sucesso: Reuso de Água. Disponível em: <https://www.alcoa.com/brasil/pt/sustainability/projects>. Acesso em: 02 de junho de 2025.
- Aquapolo. Institucional: Quem Somos. Disponível em: <https://www.aquapolo.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 02 de junho de 2025.
- Gerten, D. et al. Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 5, n. 6, p. 551–558, dez. 2013.
- Grafton, R. Q. et al. Global insights into water resources, climate change and governance. Nature Climate Change, v. 3, n. 4, p. 315–321, 25 abr. 2013.
- IBRAM. Mineração em Números 2023. Disponível em: <<https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/02/mineracao-em-numero-2023.pdf>>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- IBRAM. Resultados ESG Mineração do Brasil 2024. Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/07/IBRAM-ESG_Results23_ColetivadeImprensa-1.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- ICMM – INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. Water Reporting Good Practice Guide: 2nd Edition, 102 p. 2021. Disponível em: <<https://www.icmm.com/engb/guidance/environmental-stewardship/2021/water-reporting>>. Acesso em: 07 de maio de 2025.
- Kuzma, S.; Saccoccia, L.; Chertock, M. 25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress.
- Santos, A. S.; Lima, M. (2024). Benchmarking Internacional Reuso de Água na Mineração. Rio de Janeiro, RJ.