

CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL DE REJEITOS ASSOCIADOS À MINERAÇÃO DE VANÁDIO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XV-005>

Eduardo Antonio Maia Lins*, Lília Albuquerque da Silva, Giulliani Alan da Silva Tavares de Lira, Nahum Tabatchnik, Severino Gomes de Oliveira.

* Instituto Federal de Pernambuco, Universidade Católica de Pernambuco, Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH); E-mail: eduardomaials@gmail.com.

RESUMO

A crescente demanda por metais estratégicos tem impulsionado a exploração de depósitos associados à mineralização ferro-titânio-vanádio (Fe-Ti-V), resultando na geração de rejeitos minerais com potencial de interação ambiental. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de contaminação ambiental de rejeitos provenientes da mineração de vanádio, considerando seu comportamento geoquímico e sua interação com os compartimentos ambientais em regiões semiáridas. A metodologia adotada baseou-se em abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada na análise de dados secundários e na construção de modelo conceitual hidrogeoquímico, com ênfase nos processos de especiação química, adsorção em óxidos de ferro e variações de pH e potencial redox. Os resultados indicaram que, embora esses rejeitos apresentem baixo potencial de geração de drenagem ácida de mina, podem ocorrer processos de mobilização de elementos metálicos, especialmente sob condições oxidantes e durante eventos pluviométricos intensos. Em ambientes semiáridos, a alternância entre períodos de estiagem e episódios de precipitação concentrada favorece ciclos de evapoconcentração e mobilização em pulsos hidrológicos, resultando em comportamento dinâmico do risco ambiental. A análise integrada dos cenários geoquímicos evidenciou que a mobilidade de metais não é contínua, sendo fortemente condicionada por fatores climáticos e hidrogeoquímicos. Embora não tenham sido realizadas análises quantitativas, os mecanismos identificados sugerem a possibilidade de mobilização de contaminantes em níveis potencialmente relevantes, conforme critérios estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. Conclui-se que os rejeitos Fe-Ti-V não podem ser considerados ambientalmente inertes, sendo necessária a adoção de estratégias de monitoramento contínuo e gestão ambiental adaptadas às condições específicas do semiárido.

PALAVRAS-CHAVE: Geoquímica ambiental, rejeitos de mineração, vanádio, semiárido, contaminação ambiental.

ABSTRACT

The growing demand for strategic metals has driven the exploitation of deposits associated with iron-titanium-vanadium (Fe-Ti-V) mineralization, resulting in the generation of mine tailings with potential environmental interaction. In this context, the present study aimed to evaluate the environmental contamination potential of tailings derived from vanadium mining, considering their geochemical behavior and interaction with environmental compartments in semi-arid regions. The adopted methodology was based on a qualitative and exploratory approach, supported by secondary data analysis and the development of a conceptual hydrogeochemical model, emphasizing chemical speciation processes, adsorption onto iron oxides, and variations in pH and redox potential. The results indicated that, although these tailings present low potential for acid mine drainage generation, metal mobilization processes may occur, particularly under oxidizing conditions and during intense rainfall events. In semi-arid environments, the alternation between prolonged dry periods and concentrated precipitation episodes promotes cycles of evapoconcentration and mobilization in hydrological pulses, resulting in a dynamic environmental risk behavior. The integrated analysis of geochemical scenarios demonstrated that metal mobility is not continuous but strongly controlled by climatic and hydrogeochemical factors. Although no quantitative analyses were performed, the identified mechanisms suggest the possibility of contaminant mobilization at environmentally relevant levels, according to Brazilian environmental legislation criteria. It is concluded that Fe-Ti-V tailings cannot be considered environmentally inert, and continuous monitoring and adaptive environmental management strategies are required under semi-arid conditions.

KEYWORDS: Environmental geochemistry, mine tailings, vanadium, semi-arid environment, environmental contamination.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por metais estratégicos tem sido fortemente impulsionada pela transição energética, pela expansão de tecnologias de armazenamento de energia e pelo desenvolvimento de ligas metálicas de alto desempenho. Nesse contexto, o vanádio (V) destaca-se como elemento crítico, amplamente utilizado na produção de aços de alta resistência e, mais recentemente, em sistemas eletroquímicos avançados, como as baterias de fluxo redox de vanádio (VRFB). Depósitos minerais associados a sistemas ferro-titânio-vanádio (Fe-Ti-V), frequentemente vinculados a intrusões máficas e ultramáficas ricas em titanomagnetita, têm se tornado alvos prioritários de exploração mineral em escala global (SCHLESINGER *et al.*, 2017; GILLIGAN; NIKOLOSKI, 2020).

Do ponto de vista mineralógico, o vanádio encontra-se predominantemente incorporado na estrutura cristalina de óxidos de ferro, especialmente magnetita e titanomagnetita, substituindo o ferro em sua rede cristalina. Durante o beneficiamento mineral, entretanto, apenas uma fração dos minerais portadores é efetivamente recuperada, resultando na geração de grandes volumes de rejeitos minerais contendo silicatos residuais, óxidos de ferro e titânio, além de concentrações residuais de elementos potencialmente tóxicos. A disposição desses materiais no ambiente representa uma preocupação crescente, uma vez que processos de intemperismo físico-químico podem promover a liberação e mobilização de metais e metalóides para os compartimentos ambientais (LOTTERMOSER, 2010).

A geoquímica de rejeitos de mineração tem sido amplamente estudada sob a perspectiva da drenagem ácida de mina (Acid Mine Drainage – AMD), especialmente em sistemas ricos em sulfetos, nos quais a oxidação mineral gera soluções altamente ácidas e mobiliza elevadas concentrações de metais dissolvidos. No entanto, depósitos associados a titanomagnetita diferem significativamente desse comportamento, apresentando, em geral, baixo teor de sulfetos e, conseqüentemente, reduzido potencial de acidificação. Nesses sistemas, predomina a chamada drenagem neutra ou circumneutra de mina (Neutral Mine Drainage – NMD), caracterizada por valores de pH próximos à neutralidade, mas ainda capaz de promover a mobilização de elementos traço sob determinadas condições geoquímicas (NORDSTROM, 2011).

Estudos recentes demonstram que, mesmo em condições circumneutras, processos como dissolução mineral, variações no potencial redox (Eh), adsorção e dessorção em óxidos de ferro e complexação com matéria orgânica podem controlar de forma significativa o comportamento de metais em rejeitos de mineração. Nesse contexto, destaca-se que a mobilidade de elementos metálicos em sistemas de drenagem neutra é altamente dependente das condições hidrogeoquímicas locais, podendo resultar na liberação de espécies potencialmente contaminantes mesmo na ausência de acidez significativa. Além disso, a formação e transformação de fases secundárias, como hidróxidos e oxi-hidróxidos de ferro, desempenham papel fundamental na retenção ou liberação de metais ao longo do tempo (BLOWES *et al.*, 2014; NORDSTROM, 2011).

Apesar dos avanços no entendimento da geoquímica de rejeitos sulfetados, ainda existem lacunas relevantes no que se refere ao comportamento ambiental de rejeitos associados a depósitos Fe-Ti-V, especialmente em ambientes tropicais semiáridos. Nessas regiões, fatores como elevada variabilidade pluviométrica, altas taxas de evapotranspiração, solos rasos e processos erosivos intensos podem alterar significativamente os mecanismos de mobilização, transporte e retenção de metais no ambiente, configurando um cenário geoquímico distinto daquele observado em regiões temperadas.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar, sob uma abordagem integrada, o potencial de contaminação ambiental associado a rejeitos provenientes da mineração de vanádio em depósitos do tipo Fe-Ti-V em uma região semiárida, considerando sua composição mineralógica, comportamento geoquímico e interação com os compartimentos ambientais. Busca-se, assim, contribuir para o avanço do entendimento dos processos que controlam a estabilidade e mobilidade de elementos metálicos nesses sistemas, fornecendo subsídios técnicos para a gestão ambiental e o monitoramento de áreas mineradas, especialmente em condições climáticas típicas do semiárido nordestino.

METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem metodológica de natureza qualitativa e exploratória, fundamentada na análise integrada de aspectos mineralógicos, geoquímicos e ambientais associados a rejeitos provenientes de depósitos do tipo ferro-titânio-vanádio (Fe-Ti-V). O estudo foi estruturado com base em revisão sistemática da literatura científica e na construção de um modelo conceitual hidrogeoquímico, considerando explicitamente as condições ambientais características de regiões semiáridas.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Inicialmente, realizou-se a caracterização mineralógica dos rejeitos com base em dados secundários disponíveis na literatura especializada, considerando a composição típica de depósitos Fe–Ti–V, nos quais predominam fases como magnetita, titanomagnetita e silicatos associados. A partir dessa caracterização, foram identificadas as principais fases minerais potencialmente reativas sob condições ambientais, com ênfase naquelas capazes de liberar elementos como ferro, vanádio, manganês e cromo durante processos de intemperismo físico-químico (LOTTERMOSER, 2010; PANG et al., 2008).

Na etapa subsequente, procedeu-se à análise do potencial de mobilização geoquímica dos elementos presentes nos rejeitos, considerando os principais parâmetros físico-químicos que controlam a estabilidade mineral e a especiação química em sistemas naturais. Foram avaliadas as condições de pH e potencial redox (Eh), bem como os processos de dissolução mineral, reações de oxidação-redução e formação de fases secundárias, como hidróxidos e oxi-hidróxidos de ferro. Essa análise foi fundamentada nos princípios da geoquímica de águas de mina, com ênfase em sistemas caracterizados por drenagem neutra de mina, nos quais a mobilidade de metais é fortemente dependente das condições hidrogeoquímicas locais (NORDSTROM, 2011; BLOWES et al., 2014).

Considerando o contexto de regiões semiáridas, foram incorporados à análise fatores climáticos e hidrológicos que influenciam diretamente os processos geoquímicos. Destacam-se a elevada variabilidade pluviométrica, a ocorrência de eventos de precipitação concentrada, as altas taxas de evapotranspiração e a predominância de longos períodos de estiagem. Essas condições favorecem ciclos alternados de concentração e diluição de solutos, influenciando a especiação química dos metais e os processos de precipitação e dissolução mineral. Adicionalmente, a baixa disponibilidade hídrica e a intermitência dos fluxos superficiais afetam a conectividade hidrológica, condicionando os mecanismos de transporte de contaminantes.

Foram também considerados os processos de adsorção e dessorção em superfícies minerais, especialmente em óxidos de ferro, bem como a complexação com matéria orgânica dissolvida, fatores relevantes no controle da mobilidade de elementos traço em sistemas circunneutros. A análise da especiação do vanádio foi conduzida de forma conceitual, considerando suas principais formas de ocorrência em solução aquosa (V^{3+} , V^{4+} e V^{5+}), cuja estabilidade depende das condições de pH e Eh do meio, podendo ser significativamente influenciada por ciclos de oxidação e redução associados à variabilidade hidrológica típica do semiárido.

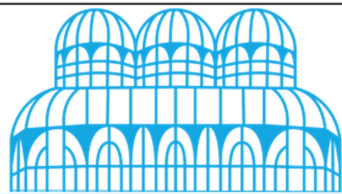
Na terceira etapa, procedeu-se à avaliação das rotas potenciais de mobilização e transporte de elementos metálicos nos compartimentos ambientais, considerando processos de lixiviação, escoamento superficial episódico e transporte em meio poroso. Em regiões semiáridas, eventos de chuva intensa, ainda que esporádicos, podem gerar pulsos de escoamento superficial capazes de mobilizar partículas finas e metais adsorvidos, enquanto períodos secos favorecem a acumulação de solutos e a formação de crostas superficiais. Foram analisados ainda fatores como granulometria dos rejeitos, permeabilidade e interação com solos rasos, frequentemente presentes nesses ambientes, os quais apresentam baixa capacidade de retenção hídrica e elevada suscetibilidade à erosão.

Por fim, os elementos analisados foram integrados em um modelo conceitual hidrogeoquímico, representando os principais processos que controlam o comportamento ambiental dos rejeitos Fe–Ti–V em condições semiáridas. Esse modelo considera a interação entre variáveis geológicas, geoquímicas e climáticas, permitindo identificar cenários potenciais de mobilização e retenção de metais, bem como os principais mecanismos de transporte associados a eventos hidrológicos extremos.

Ressalta-se que a metodologia adotada possui caráter predominantemente conceitual, baseada em dados secundários e literatura científica consolidada, não incluindo análises laboratoriais ou modelagem geoquímica numérica. Dessa forma, os resultados obtidos devem ser interpretados como uma avaliação teórica do comportamento geoquímico dos rejeitos em ambiente semiárido, sendo recomendada a realização de estudos experimentais e monitoramento de campo para validação quantitativa das inferências apresentadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rejeitos minerais associados a depósitos do tipo ferro–titânio–vanádio (Fe–Ti–V) são predominantemente constituídos por silicatos residuais e óxidos de ferro e titânio, especialmente magnetita e titanomagnetita, nos quais o vanádio encontra-se estruturalmente incorporado. Após o beneficiamento mineral, essas fases permanecem parcialmente nos rejeitos, podendo conter concentrações residuais de elementos como ferro, vanádio, manganês e cromo. Embora tais minerais apresentem relativa estabilidade sob condições naturais, sua exposição ao intemperismo



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



físico-químico pode promover alterações estruturais e liberação de elementos traço para os compartimentos ambientais (LOTTERMOSE, 2010).

Do ponto de vista hidrogeoquímico, os resultados indicam que esses rejeitos apresentam baixo potencial de geração de drenagem ácida de mina, favorecendo a ocorrência de sistemas caracterizados por drenagem neutra. Nesses sistemas, o pH tende a permanecer próximo da neutralidade, embora a mobilização de metais possa ocorrer em função de variações nas condições geoquímicas locais, especialmente aquelas associadas ao potencial redox e às interações entre fases sólidas e solução (NORDSTROM, 2011).

No contexto do semiárido nordestino, a dinâmica hidrogeoquímica é fortemente controlada por fatores climáticos, destacando-se a alternância entre períodos prolongados de estiagem e eventos pluviométricos intensos e concentrados. Essa variabilidade impõe um comportamento não linear aos processos de mobilização e retenção de contaminantes, caracterizado por ciclos de acumulação, concentração e posterior liberação em pulsos hidrológicos.

Com o objetivo de sistematizar esses processos, apresenta-se o Quadro 1, no qual são sintetizados os principais cenários geoquímicos em ambiente semiárido e suas implicações para a mobilidade do vanádio e o risco ambiental associado.

Quadro 1 – Cenários geoquímicos em ambiente semiárido e implicações para o risco ambiental de rejeitos Fe–Ti–V.

Cenário geoquímico (semiárido)	Condições dominantes	Processos característicos do semiárido	Mobilidade potencial	Implicações para risco ambiental
Estiagem prolongada com evapoconcentração	pH neutro–alcalino; Eh oxidante	Evapotranspiração elevada; concentração de solutos; crostas superficiais	Baixa a moderada	Risco latente; acúmulo de metais
Pulso hidrológico por chuva intensa	pH variável; Eh oxidante	Escoamento superficial; transporte rápido	Alta	Mobilização abrupta; risco elevado
Solo raso com baixa retenção hídrica	pH variável	Alta erosividade; baixa retenção	Moderada a alta	Ampliação da área impactada
Ciclo seco–úmido alternado	pH e Eh variáveis	Evapoconcentração e lixiviação	Alta (intermitente)	Mobilização em pulsos
Microambientes redutores	pH neutro; Eh reduzido	Saturação temporária	Baixa	Imobilização local
Baixa matéria orgânica	pH neutro; Eh variável	Baixa complexação	Moderada	Maior mobilidade relativa
Óxidos de ferro	pH neutro; Eh oxidante	Adsorção e liberação	Variável	Barreira temporária

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Lottermoser (2010), Nordstrom (2011), Blowes et al. (2014) e Brasil (2009).

A análise do Quadro 1 evidencia que a mobilidade de elementos metálicos em rejeitos Fe–Ti–V, particularmente do vanádio, não é constante ao longo do tempo, sendo fortemente condicionada por ciclos hidrológicos típicos do semiárido. Durante períodos de estiagem prolongada, predominam processos de evapoconcentração, nos quais a redução da disponibilidade hídrica e o aumento da evapotranspiração favorecem o acúmulo de solutos e a formação de fases minerais secundárias. Nesse cenário, a mobilidade dos metais tende a ser reduzida, embora haja aumento do estoque de contaminantes potencialmente disponíveis para mobilização futura.

Por outro lado, eventos pluviométricos intensos atuam como mecanismos de ativação do sistema, promovendo a lixiviação de metais acumulados e o transporte de partículas finas por escoamento superficial. Esses eventos configuram os principais momentos de risco ambiental, uma vez que podem resultar na transferência rápida de contaminantes para corpos hídricos superficiais e áreas adjacentes. Esse comportamento reforça a importância do conceito de transporte em pulsos, característico de ambientes semiáridos, no qual a mobilização de contaminantes ocorre de forma episódica e altamente variável.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



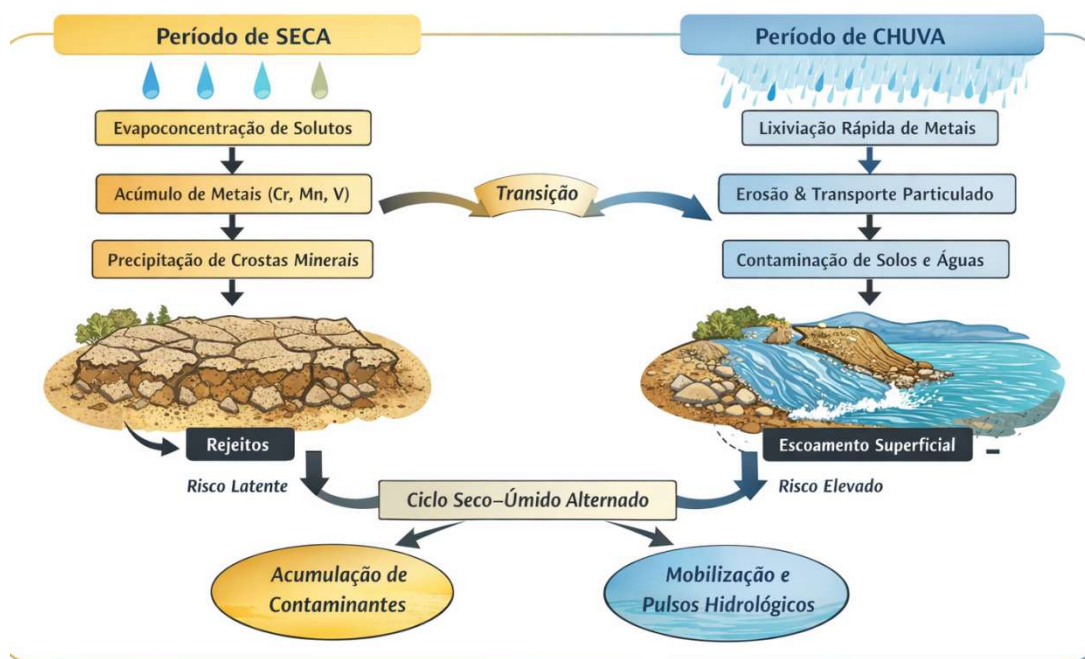
A presença de solos rasos e com baixa capacidade de retenção hídrica intensifica esse processo, reduzindo a capacidade de atenuação natural do sistema e favorecendo a dispersão espacial de contaminantes. Adicionalmente, a limitada disponibilidade de matéria orgânica nos solos da Caatinga reduz a capacidade de complexação e retenção de metais, contribuindo para o aumento da mobilidade relativa desses elementos.

Os óxidos de ferro desempenham papel ambivalente no sistema, atuando como importantes barreiras geoquímicas durante períodos secos, por meio de processos de adsorção, mas podendo liberar metais adsorvidos durante eventos de mudança nas condições ambientais, como variações de pH ou Eh. Esse comportamento evidencia a natureza dinâmica e dependente de condições do sistema geoquímico analisado.

Sob a perspectiva normativa, a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelece valores orientadores de qualidade do solo, incluindo valores de prevenção e investigação, que servem como referência para a avaliação de áreas potencialmente contaminadas (BRASIL, 2009). Embora não tenham sido realizadas medições quantitativas neste estudo, os cenários apresentados indicam que, sob determinadas condições, especialmente durante eventos hidrológicos extremos, pode ocorrer mobilização de metais em níveis que justificariam a realização de investigações detalhadas, conforme previsto na legislação.

Com o objetivo de integrar os processos descritos e representar de forma sistêmica a dinâmica hidrogeoquímica dos rejeitos em ambiente semiárido, apresenta-se a Figura 1, que sintetiza os principais mecanismos de acumulação, mobilização e transporte de contaminantes associados aos ciclos seco-úmido característicos da região.

Figura 1 – Modelo conceitual da dinâmica geoquímica de rejeitos Fe–Ti–V em ambiente semiárido, destacando os processos de evapoconcentração, mobilização em pulsos hidrológicos e transporte de contaminantes.



Fonte: Os Autores (2026).

A Figura 1 evidencia que o comportamento ambiental dos rejeitos Fe–Ti–V em regiões semiáridas é controlado por ciclos hidrológicos intermitentes, nos quais períodos de estiagem promovem a acumulação e concentração de contaminantes, enquanto eventos pluviométricos intensos atuam como gatilhos para sua mobilização e transporte. Esse padrão cíclico resulta em um regime de risco ambiental não contínuo, mas sim episódico, no qual os maiores níveis de mobilização de metais estão associados a eventos extremos de precipitação. Observa-se, ainda, que os processos de adsorção em óxidos de ferro durante períodos secos funcionam como mecanismos temporários de retenção, podendo ser revertidos durante fases de reumidificação do sistema.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que os rejeitos associados a depósitos do tipo ferro-titânio-vanádio (Fe-Ti-V), embora apresentem baixo potencial de geração de drenagem ácida de mina, não podem ser considerados ambientalmente inertes. A análise integrada dos processos mineralógicos e geoquímicos evidenciou que a mobilização de elementos metálicos, especialmente vanádio, ferro, manganês e cromo, está condicionada a fatores como pH, potencial redox e interações entre fases sólidas e solução, podendo ocorrer mesmo em sistemas caracterizados por drenagem neutra.

No contexto de regiões semiáridas, os processos de mobilização e retenção de contaminantes apresentam comportamento dinâmico e não linear, sendo fortemente influenciados pela alternância entre períodos prolongados de estiagem e eventos pluviométricos intensos. Durante a estiagem, predominam processos de evapoconcentração e acúmulo de solutos, resultando em aumento do estoque de contaminantes potencialmente disponíveis. Por outro lado, eventos de precipitação concentrada atuam como gatilhos para a lixiviação e o transporte de metais, configurando pulsos hidrológicos responsáveis pela redistribuição de contaminantes no ambiente.

A sistematização dos cenários geoquímicos e sua representação por meio de modelo conceitual evidenciam que o risco ambiental associado a esses rejeitos deve ser interpretado como episódico, estando diretamente relacionado à ocorrência de eventos extremos e às condições hidrogeoquímicas locais. Esse comportamento reforça a necessidade de abordagens de avaliação ambiental que considerem a variabilidade temporal dos processos, especialmente em ambientes com regime hidrológico intermitente.

Sob a perspectiva normativa, a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas potencialmente contaminadas, com base em valores orientadores de qualidade do solo. Embora o presente estudo não tenha contemplado análises quantitativas, os mecanismos identificados indicam a possibilidade de mobilização de elementos metálicos em níveis que, sob determinadas condições ambientais, podem demandar investigação detalhada, conforme previsto na legislação vigente.

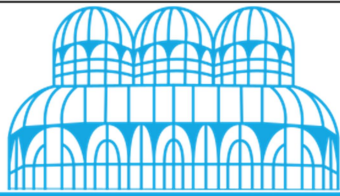
Diante desse cenário, recomenda-se a implementação de programas de monitoramento ambiental contínuo em áreas de disposição de rejeitos Fe-Ti-V, incluindo a análise periódica de solos e águas superficiais e subterrâneas. Tais programas devem ser estruturados de forma a capturar a variabilidade sazonal do sistema, com ênfase na avaliação de eventos pluviométricos intensos, considerados críticos para a mobilização de contaminantes.

Ainda se destaca a importância da adoção de medidas de gestão ambiental voltadas à redução do potencial de mobilização de metais, tais como o controle do escoamento superficial, a estabilização física dos rejeitos e a manutenção de barreiras geoquímicas naturais. Essas medidas podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais e para a redução do risco associado à disposição desses materiais.

Por fim, ressalta-se que a abordagem metodológica adotada, de caráter conceitual, constitui uma etapa inicial na compreensão do comportamento geoquímico de rejeitos Fe-Ti-V em ambientes semiáridos. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos futuros com base em dados empíricos, incluindo ensaios de lixiviação, monitoramento de campo e modelagem geoquímica numérica, de modo a validar quantitativamente as inferências apresentadas e subsidiar avaliações de risco ambiental mais robustas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLOWES, D. W.; PTACEK, C. J.; JAMBOR, J. L.; WEISNER, C. G. The geochemistry of acid mine drainage. In: HOLLAND, H. D.; TUREKIAN, K. K. (org.). **Treatise on Geochemistry**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2014. p. 131-190.
2. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 30 dez. 2009.
3. GILLIGAN, R.; NIKOLOSKI, A. The extraction of vanadium from titanomagnetites and other sources. **Minerals Engineering**, v. 146, 2020.
4. KOSSOFF, D.; DUBBIN, W. E.; ALFREDSSON, M.; EDWARDS, S. J.; MACKLIN, M. G.; HUDSON-EDWARDS, K. A. Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229-245, 2014.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9° CONRESOL

9° Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



5. LOTTERMOSER, B. G. **Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts**. 3. ed. Berlin: Springer, 2010.
6. NORDSTROM, D. K.. Mine waters: acidic to circumneutral. **Elements**, v. 7, n. 6, p. 393–398, 2011.
7. PANG, K. N.; ZHOU, M. F.; LINDSLEY, D. H. Geochemistry of Fe–Ti oxide deposits associated with mafic intrusions. **Ore Geology Reviews**, v. 33, p. 108–134, 2008.
8. SCHLESINGER, M.; KING, M.; SOLE, K.; DAVENPORT, W. **Extractive metallurgy of vanadium**. Oxford: Elsevier, 2017.
9. ZHAO, L.; ZHOU, M. F.; ROBINSON, P. T. Petrogenesis of Fe–Ti–V oxide deposits in mafic layered intrusions. **Economic Geology**, v. 107, p. 1421–1440, 2012.