

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/466

Impacto do Polímero Superabsorvente na Sucção e Transporte de Sedimentos em Rejeitos de Mineração Dispostos a Seco

Giovana Abreu de Oliveira
Engenheira Geotécnica, Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, giovana.oliveira@fonntesgeotecnica.com

Michel Moreira Morandini Fontes
Diretor Presidente, Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, michel@fonntesgeotecnica.com

Gabriella Melo de Deus Vieira
Engenheira Geotécnica, Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, gabriella.vieira@fonntesgeotecnica.com

Ana Beatriz Silva Paolucci de Paiva
Engenheira Geotécnica, Fonntes Geotécnica, Belo Horizonte, Brasil, ana.paiva@fonntesgeotecnica.com

RESUMO: A gestão sustentável de rejeitos de mineração é um desafio significativo para a indústria, especialmente no contexto de disposição a seco, que tem ganhado atenção crescente devido aos riscos associados à disposição tradicional em barragens. Enquanto a estabilização e o empilhamento a seco de rejeitos têm sido amplamente explorados, a compreensão detalhada da dinâmica de sucção e transporte de sedimentos em meios porosos saturados permanece subdiscutida. Este artigo aborda essa lacuna e investiga como a introdução de um polímero superabsorvente influencia o comportamento da água e dos sedimentos em rejeitos de mineração estabilizados. O polímero superabsorvente estudado, denominado High Performance Agglomerate (HPA), é conhecido por suas propriedades de retenção de água e aplicado para melhorar a trabalhabilidade dos materiais durante o processo construtivo (compactação dos rejeitos) nos empilhamentos e, por conseguinte, promove a estabilidade e a segurança dos rejeitos. Para avaliar o impacto desse polímero, são realizados ensaios específicos, incluindo a análise da curva de retenção de água, que descreve a relação entre a umidade e a sucção do solo ou material poroso. Este estudo aborda a curva de retenção de água para avaliar não apenas a sucção, mas também outros mecanismos relacionados ao transporte de água e sedimentos em rejeitos de mineração estabilizados com o polímero superabsorvente, para entender como a água é retida, absorvida, desprendida e transportada do rejeito. Os resultados deste trabalho contribuem para uma compreensão mais abrangente da dinâmica desses rejeitos e podem fornecer insights valiosos para aprimorar as práticas de disposição a seco e mitigar os impactos ambientais associados à mineração.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito; Estabilização; Compósitos; Novos Materiais Geotécnicos; Sucção.

ABSTRACT: Sustainable management of mining waste is a significant challenge for the industry, especially in the context of dry disposal, which has been gaining increasing attention due to the risks associated with traditional tailings dam disposal. While dry stacking and stabilization of tailings have been widely explored, detailed understanding of the suction dynamics and sediment transport in saturated porous media remains under-discussed. This article addresses this gap and investigates how the introduction of a superabsorbent polymer influences the behavior of water and sediments in stabilized mining waste. The studied superabsorbent polymer, called High Performance Agglomerate (HPA), is known for its water retention properties and is applied to improve the workability of materials during the construction process (compaction of tailings) in stacks and, consequently, promotes the stability and safety of the waste. To assess the impact of this polymer, specific tests are conducted, including the analysis of the water retention curve, which describes the relationship between moisture and soil or porous material suction. This study addresses the water retention curve to evaluate not only suction but also other mechanisms related to water and sediment transport in mining waste stabilized with the superabsorbent polymer, to understand how water is retained, absorbed, released, and transported from the waste. The results of this work contribute to a more comprehensive understanding of the dynamics of these wastes and can provide valuable insights for improving dry disposal practices and mitigating the environmental impacts associated with mining.

KEYWORDS: Waste; Stabilization; Composites; New Geotechnical Materials; Suction.

1 INTRODUÇÃO

A construção de barramentos remonta desde a antiguidade, em que se utilizava dessas estruturas, mesmo arcaicas, a fim de se garantir a água para subsistência - consumo e plantio. Foi a partir dos séculos XVI, XVII e XVIII, períodos que compreendem a colonização e a Revolução Industrial que, com o desenvolvimento expressivo da indústria e da mineração (BRASIL, 2017), fez-se necessário a construção de barramentos, principalmente para contenção dos rejeitos gerados nestas atividades. Cabe ressaltar que as barragens foram projetadas como uma solução geotécnica em substituição aos lançamentos diretos de rejeitos no meio natural, e à época, muito vantajosa em termos ambientais e econômicos (viabilizando assim e desenvolvendo os processos de mineração).

Contudo, para a construção desse tipo de estrutura é necessária a criação de reservatórios, que por sua vez, muitas das vezes dependem de desmatamentos e toda uma compensação ambiental pela fauna e flora prejudicada. Mas, pode-se dizer que o estopim para a procura de outro sistema em substituição a este foram as rupturas das barragens. A construção de barragens pelo método à montante, em que o próprio rejeito é utilizado no alteamento sem um controle adequado das características físico-químicas desses materiais, bem como a criação de reservatórios dos rejeitos na consistência de lama, susceptíveis à variações de poropressões e, conseqüentemente, a eventos de liquefação, tornou-se um emaranhado de possíveis causas para o desgaste e a ruptura abrupta desse tipo de estrutura, fazendo-se valer de novas alternativas de disposição de rejeitos.

Tendo em vista essas rupturas e os acidentes vinculados a elas, tanto ao meio ambiente quanto às comunidades próximas às barragens, o processo de empilhamento de rejeitos à seco têm sido a prática mais adotada pelas empresas de mineração. Por meio desta técnica, a lama que seria depositada em barragens geralmente passa por etapas de filtração, onde se perde uma quantidade considerável de umidade, para depois ser disposta em pátios de empilhamento, em que os rejeitos filtrados são homogeneizados e compactados em camadas. Conforme Cruz (2023), as pilhas à seco permitem maior grau de compactação do material, no entanto, demandam desde um bom preparo do rejeito para a disposição, como filtragem ou desaguamento, quanto acompanhamento durante e após sua construção.

Para isso, é necessário que seja feito o controle tecnológico de pilhas, visando promover a segurança e prevenção de acidentes. O controle tecnológico é uma forma de acompanhar parâmetros a fim de verificar que eles atendam a determinações de projeto. Os testes efetuados para controle tecnológico de pilhas visam avaliar características físicas e mecânicas do rejeito, indicando comportamentos das pilhas a seco e prevenindo condições de desestabilização. Também, uma das vertentes desse meio é a busca por inclusões que possam melhorar essas características, seja pela técnica de reforço, quando se introduz fibras, fitas metálicas, geossintéticos (Sotomayor, 2018; Souza, 2021; Moreira, 2011), seja pelo processo de estabilização química, como é o caso da adição de matéria orgânica, biocarvão e polímeros sintéticos (Klein et al., 2015; Pellizaro & França, 2020).

Nesse contexto, tem-se os chamados polímeros superabsorventes, que podem otimizar os processos de filtração por apresentar a capacidade de trazer a água para o interior de sua estrutura, liberando-a gradativamente ao meio. Juntamente com outras substâncias, pode melhorar as características físico-químicas dos rejeitos para empilhamento, mas faz-se necessário o entendimento de cada parâmetro, material e projeto de pilha específico.

Geralmente são realizadas análises de parâmetros de resistência e de compressibilidade das amostras de rejeitos, contudo, análises quanto à dinâmica hidromecânica em meios porosos saturados, como sucção e transporte de sedimentos, embora muito importantes para o entendimento do comportamento dos materiais com diferentes condições de saturação, são avaliadas com menor frequência.

A curva de retenção de água, de acordo com Embrapa (2017) é um parâmetro determinado a partir da relação entre a massa/volume de água e a força mátrica no solo analisado. Este parâmetro é capaz de fornecer informações sobre a quantidade de água retida no solo e, conseqüentemente, sua estabilidade frente as variações de temperatura e umidade no ambiente.

Visando todas essas questões, o presente artigo visa avaliar o potencial do polímero superabsorvente HPA (High Performance Agglomerate) em uma dosagem de 300 g/t no aumento da capacidade de retenção da água em um rejeito de minério de Zinco compactado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Rejeito de Minério de Ferro

Na presente pesquisa, o rejeito utilizado para o estudo foi um rejeito de minério de ferro, o qual suas amostras foram coletadas após o processo de desaguamento em três filtros prensas. Com uma umidade de campo de 22,93%, o rejeito estava na forma de polpa. Inicialmente, o estudo visava analisar suas propriedades para transporte e empilhamento. No entanto, surgiu a oportunidade de expandir a pesquisa para incluir a avaliação da capacidade de transporte de fluidos tanto do rejeito em sua forma pura quanto quando misturado com o polímero superabsorvente.

2.2 Polímero Superabsorvente (HPA)

O superabsorvente utilizado nesta pesquisa se trata de um tipo de solidificante chamado de High Performance Agglomerate (HPA). Ele é uma mistura de cinzas vulcânicas, compostas em sua maioria por sílica e alumina, e um polímero orgânico do tipo poliácrlato de sódio. Nesta pesquisa os compósitos foram formados por misturas de 20% de cinzas vulcânicas (polímero inorgânico) e 80% de poliácrlato de sódio (polímero orgânico), tal dosagem foi baseada nos estudos realizados por Oliveira (2023).

A composição química (80%) do polímero orgânico utilizado nesta pesquisa é apresentada na Figura 1.

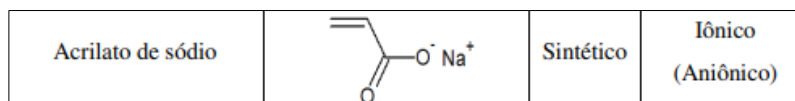


Figura 1. Composição química do acrilato de sódio

As cinzas vulcânicas utilizadas na mistura (20%) provém da consolidação do magma de vulcões e são extraídas na cidade de Kagoshima, no Japão. O processo de extração é bem simples e consiste, inicialmente, em separar com uma pá escavadeira o material de interesse. A extração das cinzas é feita por meio de cortes verticais nas montanhas de rochas vulcânicas evitando, desta forma, o acúmulo de água e consequente desmoronamento. A cor das cinzas varia conforme a montanha em que foram extraídas.

Em seguida é feita uma seleção apenas das cinzas que possuem granulometria menor que 590 micromilímetros. Este processo é realizado por meio da passagem das cinzas por peneiras imersas em água. Por fim, a fração selecionada de cinzas passa por uma centrifuga e passa por um processo de secagem à temperaturas entre 400 e 500 °C.

A mistura, na proporção 80/20, que forma o HPA utilizado nos ensaios, é proveniente de fábrica e não foram feitas alterações em sua composição. O poliácrlato tem uma solidificação surpreendentemente rápida quando homogeneizado ou sob aspersão de um rejeito com determinada umidade. Já as cinzas vulcânicas ajudam na cimentação, que pode alterar as características mecânicas dos rejeito. Além disso, elas possuem a função de quebrar algumas ligações do poliácrlato na mistura e permitir que a evaporação da água seja mais rápida, uma vez que impede que o poliácrlato reabsorva água após liberá-la. A Figura 2 contém um esquema que representa a ação das cinzas vulcânicas sobre o comportamento do poliácrlato de sódio.

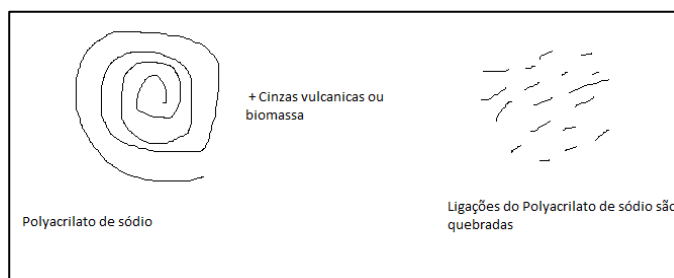


Figura 2. Ação das cinzas sobre o poliácrlato de sódio

Quando o HPA é introduzido em meio aquoso, as unidades iônicas se dissociam e geram densidade de carga ao longo da cadeia, resultando em repulsão eletrostática, que expande o gel e promove o inchamento. Além disso, uma alta concentração de íons é gerada no gel, o que leva a uma diminuição da pressão osmótica devido à diluição da carga, ou seja, ao inchamento do gel (KIATKAMJORNWONG, 2007).

Este polímero possui como característica a alta capacidade de absorção da umidade. De acordo com Jensen (2011), a evaporação da água retida pelo HPA ocorre apenas quando sob o sol e, após esta evaporação o produto é capaz de absorver mais água no meio. A Figura 3 ilustra a reação do PSA com água.

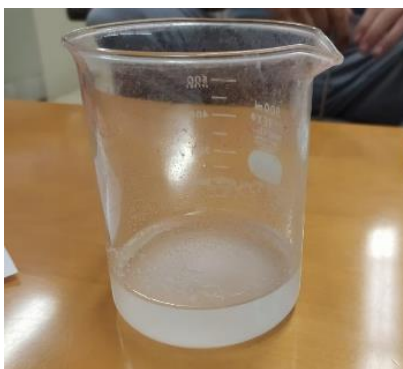


Figura 3. Reação do HPA em contato com a água.

Pacheco (2020) explica que isso ocorre pela grande afinidade que têm pela água, absorvendo-a pelo mecanismo de osmose na tentativa de equilibrar a concentração de íons sódio dentro e fora do polímero. Em aplicações de engenharia, em sua maioria, os polímeros superabsorventes são poliacrilatos interligados por ligações covalentes cruzadas, ou poliacrilatos/poliacrilamidas copolimerizados (FRIEDRICH, 2012 apud CUNHA E SANTOS, 2016). Os polímeros superabsorventes podem apresentar uma absorção de água de até 5000 vezes o seu próprio peso, mas, em soluções salinas diluídas, sua capacidade de absorção dos produtos comerciais é de aproximadamente 50 g/g (JENSEN E HANSEN, 2001).

Como mencionado anteriormente (item 2.1), o rejeito inicialmente estava na forma de polpa. Devido à reação imediata do HPA com a água e à necessidade de uma mistura homogênea do rejeito com o polímero, o material passou por um processo de secagem em estufa para deixar de ser polpa. Dessa forma, o polímero foi misturado ao rejeito já seco antes da adição de água. A Figura 4 ilustra a mistura resultante do rejeito com HPA.



Figura 4 - Rejeito de minério de ferro e polímero superabsorvente

O polímero HPA é adicionado na matriz de rejeito no seu estado puro e seco, e posteriormente é adicionada água de acordo com a umidade ótima obtida pelo ensaio de compactação. Nesta etapa do estudo, foram feitas dosagens de 1% de polímero em relação à massa de sólidos da matriz de rejeito. A adição do polímero tem como objetivo melhorar as propriedades da matriz de rejeito, como a capacidade de retenção de água e a resistência mecânica. A dosagem do polímero é um fator importante a ser considerado, pois uma dosagem muito baixa pode não ter o efeito desejado, enquanto uma dosagem muito alta pode resultar em problemas de processamento e pode afetar negativamente as propriedades da matriz de rejeito.

2.3 Caracterização do Rejeito

Estudos anteriores conduzidos por Oliveira (2023) investigaram algumas propriedades fundamentais do rejeito de minério de ferro utilizado para esta pesquisa, como granulometria, limites de Atterberg, bem como a curva de compactação com energia Proctor Normal, tanto para o rejeito puro quanto para o compósito (rejeito + polímero). Esses dados serão apresentados neste item com o objetivo de compreender o comportamento dos materiais em análise.

A curva granulométrica do o rejeito puro é apresentada na Figura 5. Observa-se a presença de 17,0% de argila, 70,6% de silte, 11,9% de areia e 0,6% de pedregulho. Desta forma, o rejeito foi classificado como silte argiloso com pouca areia.

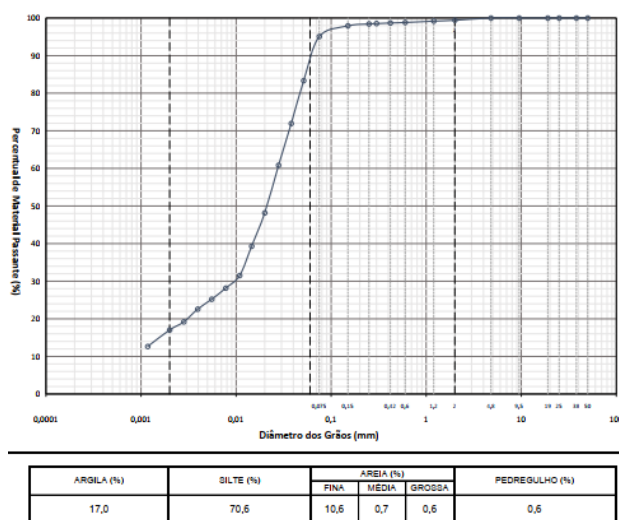


Figura 5– Curva granulométrica do rejeito (Oliveira, 2023)

No ensaio de densidade real dos grãos, realizado apenas para o rejeito puro, a massa específica real dos grãos dos rejeitos de minério de ferro resultou em 3,348 g/cm³. Quanto ao teor de umidade, foi calculado os teores das amostras coletadas do filtro prensa 01, filtro prensa 02 e filtro prensa 03. Por sim, realizou-se um blend dos rejeitos coletados nos filtros e, assim, calculou-se média das umidades. Sendo assim, teor de umidade natural médio da amostra virgem de rejeito de minério de ferro apresentado nos ensaios de laboratório foi de 22,93%.

2.4 Curva de Retenção de Água

As análises das propriedades de retenção de água das amostras não tratadas e tratadas com HPA foram conduzidas utilizando o método do papel-filtro conforme norma D5298-03 (ASTM [14]). Este método consiste na avaliação do potencial matricial e total de água em amostras de solo, empregando papéis-filtros específicos em contato com o material contido em um recipiente hermético. O equilíbrio de umidade é alcançado quando a pressão do vapor de água no ar atinge uma equivalência com a pressão de vapor da água nos poros das amostras. Os potenciais são determinados por meio da pesagem dos papéis-filtros no topo e na base da amostra, utilizando uma curva de calibração do papel que correlaciona o potencial com o teor de umidade.

Para a realização dos ensaios, foi adotada a massa específica seca máxima obtida nas curvas de compactação geradas a partir da energia de Proctor Normal. Um total de 22 amostras de solo foi preparado, incluindo 11 amostras não tratadas e 11 amostras com adição de HPA. O processo de obtenção da Curva de Retenção começou com a saturação gradual das amostras, de 0% a 100% (grau de saturação), em incrementos de 10%. Especificamente, a primeira amostra foi mantida no teor de umidade higroscópico, a segunda foi saturada a 10%, a terceira a 20%, e assim sucessivamente até a última amostra, que foi saturada a 100%. A saturação foi aplicada simultaneamente pelo topo e pela base das amostras, sendo o topo por gotejamento, e

base por capilaridade através de uma pedra porosa. Após a saturação, as amostras foram envoltas em papel filme e papel alumínio e armazenadas em uma caixa térmica por 7 dias para equalização. O controle da saturação antes e depois da equalização foi realizado por meio da pesagem dos corpos de prova.

Uma vez que as umidades foram igualadas, um papel filtro seco foi colocado em contato com cada lado dos corpos de prova, uma vez que o interesse era medir a sucção matricial. As amostras foram regularmente pesadas para monitorar sua saturação durante o processo de secagem. A equalização ocorreu ao longo de 10 dias, com os corpos de prova envoltos em plástico filme e papel alumínio, e armazenados em uma caixa térmica. Após a equalização, os papéis-filtro foram removidos usando pinças e pesados em intervalos menores ou iguais a 5 segundos, sendo colocados em recipientes metálicos lacrados com papel filme. Os papéis-filtro foram pesados por meio de leituras de massa a cada 10 segundos no primeiro minuto e a cada 30 segundos nos próximos 4 minutos.

Com os dados obtidos, foi plotado um gráfico do peso total do papel filtro em relação à raiz do tempo, permitindo a determinação da sua massa no tempo zero, ou seja, no momento em que o papel entrou em contato com a amostra. Posteriormente, foi traçada a curva de retenção utilizando a calibração do papel filtro pela equação proposta por Chandler et al. [15], conforme as equações fornecidas a seguir.

$$S \text{ (kPa)} = 10^{4,84-0,0622w}, \text{ para } w \leq 47\% \quad (1)$$

$$S \text{ (kPa)} = 10^{6,05-2,48 \cdot \log w}, \text{ para } w > 47\% \quad (2)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos gráficos plotados do peso total do papel filtro em relação à raiz do tempo podem dar um indicativo do comportamento de ambas as matrizes estudadas, isso porque é possível analisar a perda de massa, ou seja, de água, no papel filtro mediante ao tempo ao qual ele fica exposto ao ar após ser retirado das cápsulas. A água que o papel filtro absorve pode ser usada como um indicador da sucção, sendo que, em geral, quanto mais seco o papel filtro na umidade de equilíbrio, maior a sucção do solo. Através do gráfico e da experiência do contato com as amostras em laboratório, foi possível perceber que os papéis filtros das amostras com polímero, tanto para sucção mátrica quanto total, saíram do ensaio com mais umidade quando comparado ao rejeito puro, o que pode indicar que, a adição do polímero superabsorvente contribuiu para diminuir a sucção do rejeito.

No caso da disposição de rejeitos de mineração e do transporte de fluidos e contaminantes, a sucção elevada no solo ou rejeito pode resultar em uma maior resistência ao cisalhamento, aumentando a estabilidade do material. No entanto, sucção excessiva pode dificultar a permeabilidade, principalmente no caso materiais com percentual de areia, que tem sua permeabilidade diminuída quando no estado não saturado, o que pode influenciar negativamente o comportamento a longo prazo da pilha de rejeitos, como problemas de drenagem inadequada. A Figura 6 apresenta a comparação entre a relação de perda de massa pela raiz do tempo de ambas as matrizes estudadas. Nela, fica evidente que o papel filtro que esteve em contato com o composto absorveu mais água do que o papel filtro em contato com o rejeito puro.

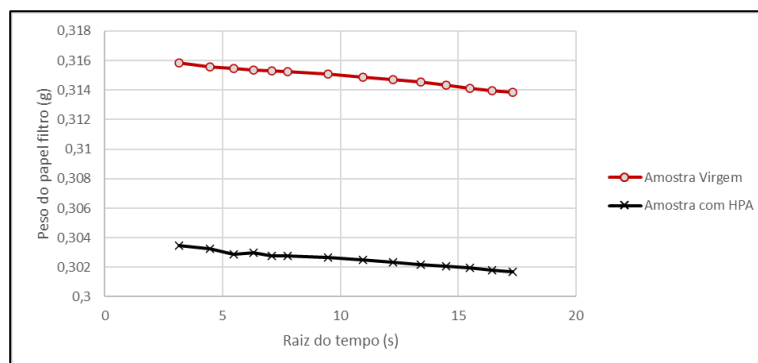


Figura 6 – Comparação da perda de massa pela raiz do tempo de ambas as matrizes do rejeito

A utilização das umidades medidas no papel filtro para determinar a sucção fornece a base necessária para construir a curva de calibração. Conforme mencionado, foi utilizada as formulações disponíveis para o papel filtro Whatmann, baseando-se na metodologia de Van Genuchten (1980) para calibrar a curva e determinar a sucção. Assim feito, obteve-se as curvas que é apresentada na Figura .

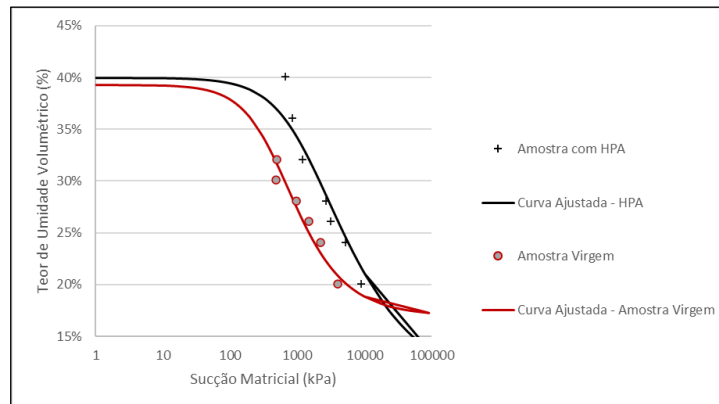


Figura 7 – Curva característica do rejeito para ambas as matrizes

Conforme já se esperava, tendo em vista o comportamento das duas matrizes estudadas nos gráficos de perda de massa pela raiz do tempo, a análise a partir da curva característica do rejeito confirma as diferenças na sucção dos materiais para um mesmo teor de umidade volumétrica. Os resultados indicaram que a matriz de rejeito com adição de polímero superabsorvente apresentou maior sucção em comparação com a matriz pura, o que é um resultado interessante. Este aumento na sucção observada na matriz com adição de polímero pode ser atribuída à capacidade do polímero de reter água, limitando assim a disponibilidade de água livre no sistema, além de atribuir ao rejeito uma coesão aparente que está atrelada aos hidrogéis formados pela ação da água com o polímero.

A partir da premissa de resistência cisalhante de solos não saturados, seguindo a equação do modelo constitutivo de Mohr Coulomb, foi proposto por Fredlund e Morgenstern (1978) uma extensão da equação para solos não saturados que inclui os efeitos das poropressões negativas no solo. A equação é expressa por:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\tan\phi_b$$

Onde $(u_a - u_w)\tan\phi_b$ indica a parcela de coesão aparente devido à sucção mátrica. Neste modelo, o solo tem sempre o mesmo ângulo de atrito, e o intercepto de coesão aumenta, à medida que sucção aumenta, dando ao solo uma maior resistência.

Com a maior sucção, e o respectivo aumento da coesão, resultando em uma maior resistência ao cisalhamento, observa-se uma diminuição na mobilidade das partículas de sedimentos, reduzindo o transporte de sedimentos dentro do rejeito. Como resultado, a disposição em pilha de rejeito drenado pode ser influenciada positivamente, pois a maior estabilidade do material contribui para a formação de pilhas mais estáveis e menos suscetíveis à erosão e deslizamentos. Além disso, a menor mobilidade das partículas pode ajudar a minimizar o risco de poluição hídrica, já que menos sedimentos são transportados para as águas superficiais ou subterrâneas adjacentes.

4 CONCLUSÕES

Ainda há muito a se avaliar sobre os comportamentos dos rejeitos de mineração e sua interação com o polímero superabsorvente. Contudo, os ensaios realizados já evidenciam certas tendências que merecem estudos mais aprofundados. Especificamente, o comportamento da sucção do rejeito com adição do polímero, quando comparado com observações na literatura, sugere a possível capacidade de encapsulamento de substâncias tóxicas pelo novo material geotécnico, além de conferir maior resistência ao cisalhamento, possibilitando o empilhamento do rejeito com maior segurança geotécnica.

No entanto, durante a condução deste estudo, diversas dificuldades foram encontradas devido à sensibilidade do ensaio. Conforme evidenciado por Ridley & Burland (1993), a curva de calibração para a

medição da sucção total mostrou-se altamente sensível a fatores como a distância entre o solo e o papel filtro, a área superficial exposta do solo, a temperatura absoluta nas medições e o tempo de equalização. Essas variáveis podem ter influenciado na dificuldade em encontrar uma curva totalmente representativa. O coeficiente de determinação (R^2) do ajuste da curva para o rejeito com polímero ficou ligeiramente abaixo do esperado, o que pode indicar limitações na representação do comportamento desse material.

Além disso, como o uso de polímeros superabsorventes tem sido estudado recentemente, recomenda-se a realização de estudos mais aprofundados, variando os teores de polímero no rejeito e os tipos de rejeito, para avaliar a ionização entre partículas e determinar o tempo de cura ideal. Também é importante investigar a condutividade hidráulica não saturada e realizar modelagem computacional com os resultados obtidos para verificar a estabilidade da disposição do rejeito em pilha com os parâmetros encontrados em ensaios. Esses estudos fornecerão uma compreensão mais abrangente dos efeitos do polímero no comportamento do rejeito e ajudarão a otimizar sua aplicação em práticas de disposição de rejeitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente (MME – 2017). *Curso de Introdução à Mineração Para as Embaixadas Brasileiras*, 32p.
- CRUZ, R. C. A. (2023) *Análise da disposição de rejeito a seco relacionada ao projeto, estruturas de empilhamento e métodos de desagendamento do rejeito*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto/UFOP, 7 p.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – 2007). *Determinação da Curva de Retenção de Água No Solo Em Laboratório*, 2p.
- FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R. Stress state variables for unsaturated soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, v. 103, n. 5, p. 447-466, 1977
- Klein, C., Klein, V.A. (2015) *Strategies to improve the retention and availability of soil water*. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/14990>>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- MOREIRA, T. B. G. (2011). *Avaliação de Sistemas de Drenagem Com Geossintéticos Para Diminuição da Umidade No Minério de Ferro da Serra de Carajás*. Pós-graduação (Mestre em Geotecnia e Transportes), Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 232p.
- OLIVEIRA, G, A, O. *Estabilização química de rejeito de minério de ferro com polímero superabsorvente*. 2023. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.
- RIDLEY, A.M.; BURLAND, J.B. (1993). *A new instrument for measuring soil moisture suction*. Technical Note. *Géotechnique*, v. 43, n. 2, p.321-324
- SOTOMAYOR, J. M. G. (2018). *Avaliação do comportamento mecânico drenado e não drenado de rejeitos de minérios de ferro e de ouro reforçados com fibras de polipropileno*. Pós-graduação em Engenharia Civil (Tese de doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 184p.