

**TUBOS GEOTÊXTEIS PARA DESSECAGEM E CONFINAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO**

Eduardo Guanaes <sup>1</sup>; Lizeth Ardila <sup>2</sup>; Denise Urashima<sup>3</sup>; Matheus Muller<sup>4</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho é apresentar o estudo para a implementação de um sistema de disposição de rejeitos de minério de ferro por meio da técnica de dessecação e confinamento utilizando módulos têxteis tubulares. De modo geral, foram destacados aspectos relevantes do sistema, entre os quais a caracterização do geotêxtil, o dimensionamento dos módulos, a superfície disponível para disposição dos rejeitos, os testes para escolha do floculante, o volume de rejeitos tratados e os resultados obtidos em campo. Além disso, os dados operacionais do sistema foram compilados em campo e analisados para determinar a eficiência da dessecação.

**Abstract** – The objective of this work is to present the study for the implementation of an iron ore tailings disposal system by means of the dewatering and confinement technique using tubular geotextile modules. In general, relevant aspects of the system were highlighted, among which are the characterization of the geotextile, sizing of the modules, the surface available for tailings disposal, tests for flocculant selection, the volume of tailings treated, and results obtained in the field. Also, the operational data of the system were compiled in the field and analyzed to determine the dewatering efficiency.

**Palavras-Chave** – Tubos geotêxteis, rejeitos, dessecação de rejeitos, descarte de rejeitos.

---

<sup>1</sup> Eng., MSc, Huesker Ltda, Brasil, eduardo@huesker.com.br

<sup>2</sup> Eng., MSc, Huesker Ltda, Brasil

<sup>3</sup> Eng., MSc, PhD, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil

<sup>4</sup> Eng., MSc, PhD, Salus, Brasil

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é um conjunto de atividades que permite a extração de commodities minerais da natureza para uso em produtos manufaturados utilizados por seres humanos. Esse processo compreende três estágios principais. O primeiro é o estágio de extração, em que os materiais de rocha residual são removidos para acessar o minério. O segundo estágio é o de beneficiamento, em que o minério é tratado para separá-lo dos elementos considerados secundários ou contaminantes, geralmente descartados como rejeitos. As operações de beneficiamento podem incluir processos mecânicos simples, como esmagamento, lavagem e classificação do tamanho das partículas. O terceiro e último estágio é a utilização do produto ou material de interesse e sua comercialização [1].

Atualmente, um dos grandes desafios do setor de mineração é justamente o descarte da grande quantidade de rejeitos gerados durante a produção mineral [2]. A água é utilizada no processamento de 80% a 90% dos minérios, o que implica que a fração de rejeitos é uma massa mineral com alto teor de umidade [3]. Essa massa de material úmido também é conhecida como lama de rejeitos. Esses altos teores de umidade geram problemas de estabilidade geotécnica nas massas de rejeitos e dificuldade no controle da disposição dessas polpas.

Nesse sentido, uma das alternativas viáveis para a disposição de rejeitos é a utilização de geotêxteis tubulares para o confinamento e dessecação de rejeitos de mineração, reduzindo o teor de umidade e o volume total. Os tubos elaborados com geotêxtil têm sido usados desde a década de 1980 como uma estrutura de gravidade, preenchida hidraulicamente com areia. No entanto, a partir dos anos 2000, um novo uso para essas formas foi concebido, desta vez como um sistema de confinamento de resíduos para desidratação de lodo e lama [4].

O processo de confinamento e dessecação com tubos têxteis ocorre em dois estágios principais: primeiramente, o resíduo úmido é bombeado para o interior da forma, onde ocorrerá uma filtragem forçada devido à pressão do bombeamento; uma vez terminado o bombeamento, o tubo entra na fase de dessecação, na qual, por meio da força gravitacional, ocorre a consolidação do material, fazendo com que a água escape pelos poros do tecido. Nesse segundo estágio, o processo de evaporação também está presente, o que contribui para a redução do teor de umidade. Pode-se observar que o mecanismo de desidratação da filtração forçada é de ação rápida, enquanto a consolidação e a transpiração são mais lentas e ocorrem continuamente [5].

Para o uso correto dessa técnica de desidratação, os tubos geotêxteis devem ser colocados em uma base drenante, que é responsável por coletar a água filtrada dos tubos, permitindo sua reutilização ou seu correto retorno ao corpo hídrico correspondente [5].

O objetivo deste trabalho é apresentar o processo de concepção, implementação e os resultados obtidos em um estudo de caso utilizando a técnica em rejeitos de minério de ferro em uma mina a céu aberto localizada no sudeste do Brasil..

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO

Neste caso, os rejeitos são gerados a partir do processo de mineração de minério de ferro. Em geral, os rejeitos de ferro dos processos de mineração no sudeste do Brasil são compostos de areia de sílica (fortemente enriquecida em quartzo) e minerais de óxido e hidróxido de ferro que não foram segregados durante o processo de mineração. Outros componentes menores são óxidos de manganês, carbonatos de cálcio, minerais ricos em fósforo e alumínio.

O material de estudo é um rejeito de minério de ferro ultrafino com um tamanho de grão predominantemente fino. A massa seca específica dos rejeitos é de 1,6 g/cm<sup>3</sup>. A polpa de rejeitos obtida do processo de extração e beneficiamento é descartada com um teor médio de sólidos de 30%. A curva de tamanho de partícula dos rejeitos é apresentada na figura 1.

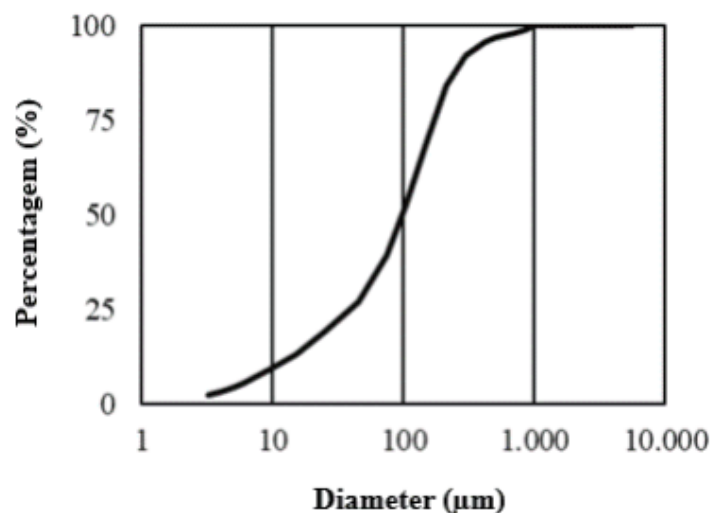


Figura 1: Granulometria do Rejeito

### 3. CARACTERÍSTICAS TUBOS GEOTÊXTIL

Nesse projeto, foi selecionado o tubo geotêxtil SoilTain® DW, que é uma geoforma linear feita de geotêxteis tecidos cujas características de resistência à tração, permeabilidade e abertura de filtragem permitem a implementação de sistemas de dessecação de alto desempenho.

Com relação às propriedades do geotêxtil para a fabricação dos tubos, foi utilizado o tecido de polipropileno 105/105 DW, ultraestabilizado e resistente a raios UV. As propriedades do geotêxtil são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Características do Geotextil

| Propriedades                                                                                     | SoilTain 105/105 DW       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| Matéria prima principal                                                                          | Laminetes PP              |
| Massa por área (ISO 9864)                                                                        | ≥ 440 g/m <sup>2</sup>    |
| Resistência tração nominal (EN ISO 10.319 / ASTM D-4595)- Longitudinal e transversal             | ≥ 105 kN/m                |
| Deformação nominal (EN ISO 10.319 / ASTM D-4595) Longitudinal e transversal                      | ≤ 10,0 %                  |
| Abertura aparente de poros O90 (EN ISO 12.956) (Tolerância ± 0,05 mm)                            | 0,20 mm                   |
| Índice de permeabilidade normal ao plano (EN ISO 11.058) (Tolerância ± 2 x 10 <sup>-3</sup> m/s) | 20 x 10 <sup>-3</sup> m/s |

#### 4. SISTEMA IMPLEMENTADO

O sistema interno promove a sedimentação do conteúdo de sólidos; geralmente, é necessária a aplicação de floclantes e, em seguida, a água é filtrada pelo contorno da geoforma, conforme ilustrado na figura 2.

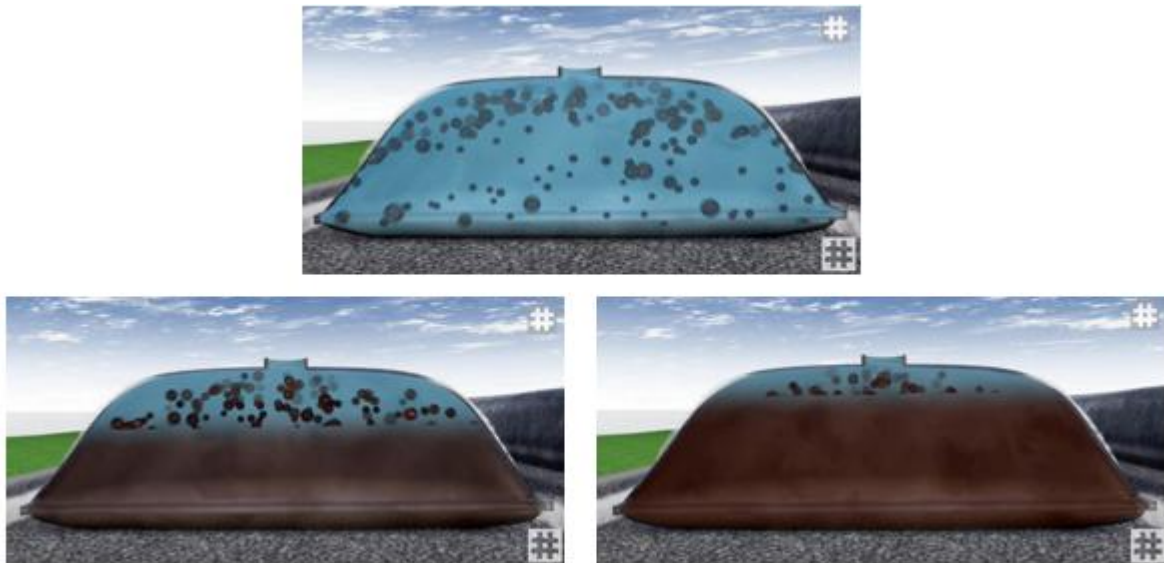


Figura 2: Seção transversal no processo de confinamento e dessecação do tubo geossintético SoilTain – Huesker

Uma área específica de superfície plana regularizada foi selecionada para a operação de dessecação de rejeitos com o objetivo de reduzir os volumes de rejeitos por meio de filtração e retenção de partículas sólidas, encapsulando a lama de rejeitos em tubos geossintéticos. A superfície foi previamente regularizada e adequada com cascalho que atua como base de drenagem. O sistema implementado é apresentado na figura 2.



Figura 3: Área de Estudo e Implantação

Essa técnica proporciona manejo e transporte muito mais fáceis e eficientes do que no caso de material úmido. Quando os tubos tiverem cumprido sua função e um saco for obtido, os tubos serão abertos, a massa seca será removida e depositada in situ, em uma área adjacente.

À medida que os tubos usados são exumados e removidos, novos sacos podem ser instalados no local, permitindo um ciclo que otimiza o uso do espaço disponível na mina.

Durante o processo de dessecagem de rejeitos, também foi aplicada a técnica de polimerização, cujo objetivo é agregar as partículas finas em flocos para que possam ser retidas pelo saco têxtil. Para definir essa dosagem, há vários testes aplicáveis, como o teste do saco suspenso, o teste do travesseiro e o teste de dessecagem em cone, sendo este último usado para definir o tipo e a dosagem ideal de polímero aplicado à lama para promover a floculação.

Para esse teste, as amostras de rejeitos são selecionadas e uma quantidade inicial de polímero é pulverizada. Dosagens insuficientes são percebidas pela formação de flocos pequenos e quebradiços com uma qualidade de sobrenadante turva ou nenhuma formação de flocos. Dosagens próximas à dosagem ideal resultam em flocos homogêneos e resistentes com boa separação do sobrenadante. Dosagens excessivas são percebidas como flocos muito grandes, de tamanho heterogêneo, com um sobrenadante espesso e viscoso. Em seguida, um corpo de prova é cortado do tecido em um círculo com 25 cm de diâmetro e um cone é formado com a ajuda de um clipe de papel. O cone é colocado em um recipiente Becker e o lodo, que foi quimicamente condicionado com diferentes dosagens de polímeros, é despejado no cone. Por fim, são avaliadas a retenção das partículas sólidas (flocos), a ligação entre o material retido e a superfície do tecido, a qualidade do fluido filtrado e o tempo de secagem. O procedimento de teste é ilustrado na figura 4.



Figura 4: Ensaio de cone para eficiência de dessecado

Como resultado dos testes, foi determinado o polímero floculante catiônico K111 com uma dosagem de 80 ppm por tonelada de massa seca de rejeitos.

O cálculo e o projeto para o dimensionamento dos tubos foram realizados com o software GeoCoPS 3.0. A formulação considera como premissas a natureza bidimensional do problema, a pressão de bombeamento como base de análise, a flexibilidade e o peso desprezível por unidade de comprimento do tubo geossintético e um estado hidrostático de tensões dentro do tubo [6]. Os resultados dessa formulação fornecem tanto a resistência à tração circunferencial quanto a geometria do tubo, conforme apresentado na figura 5.

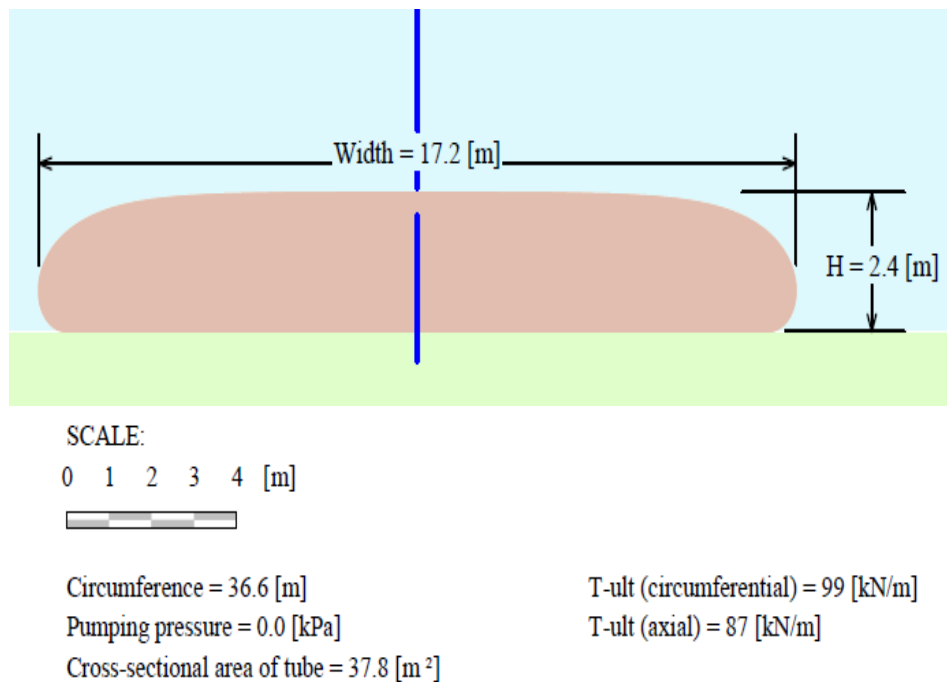


Figura 5: Dimensionamiento tubo geosintéticos con GeoCoPS

O cálculo indica uma tensão circunferencial máxima de 99 KN/m e ocorre onde está a maior curvatura do tecido. Para que o sistema funcione, a resistência à tração do tecido deve ser maior do que a tensão limite final.

Com relação à geometria da solução, os resultados obtidos indicam um perímetro de 36,6 metros e uma área de seção transversal de 37,9 metros quadrados. Assim, estima-se um volume de 1.134 m<sup>3</sup> quando o tubo atinge a altura máxima de 2,4 m.

Para esse estudo específico, foi analisado o enchimento de 25 tubos geossintéticos preenchidos durante 45 dias. Um período de bombeamento equivalente a 140 horas foi registrado com uma taxa de fluxo média de 2,75 m<sup>2</sup> por hora.

Durante esse período, 57.253 m<sup>3</sup> de rejeitos foram depositados nos tubos com uma dosagem de polímero de 80 gramas por tonelada. Foi utilizado um total de 1.870 litros de polímero.

Assim, é possível calcular o teor de sólidos usando a equação 1:

$$\rho_{lodo} = \frac{100 \times \rho_w \times G_s}{(100 \times G_s) - tspf \times (G_s - 1000)} \quad (1)$$

Onde  $\rho_{lodo}$  é o peso específico dos rejeitos dessecados equivalente a 1,6 g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_w$  é o peso específico da água equivalente a 1 g/cm<sup>3</sup>,  $G_s$  é o peso específico dos grãos nos rejeitos equivalente a 3,469 g/cm<sup>3</sup>. O teor de sólidos após dessecado  $tspf$  foi de 52,69%.

Uma vez obtido o volume de sólidos nos rejeitos dessecados, é possível obter o coeficiente de eficiência de dessecação (*Dewaring Efficiency*), definido por [7] por meio da equação 2:

$$DE = \frac{tspf - tspi}{tspi} \quad (2)$$

Onde  $tpsi$  é o conteúdo inicial de sólidos equivalente a 31% e  $tpsf$  é o conteúdo final de sólidos calculado com a equação 1 e equivalente a 52,69%. Assim, obteve-se uma eficiência de dessecação de 70%. Esse coeficiente mostra a diminuição da água nos rejeitos estudados e, portanto, o aumento do teor de sólidos.

Por fim, observou-se que o volume de rejeitos tratados passou de 57.253 m<sup>3</sup> para 14.424 m<sup>3</sup>, tendo sido reduzido em aproximadamente quatro vezes, demonstrando a pertinência da técnica para atender ao objetivo de redução do volume de rejeitos para disposição final.



Figura 6: Registro fotográfico dos tubos em operação.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a técnica de dessecação por meio de tubos geotêxteis aplicada a rejeitos gerados no processo de mineração de minério de ferro. Os resultados mostraram uma implementação adequada do sistema, atingindo níveis de teor de sólidos nos rejeitos de 52,7%,

demonstrando uma dessecação ótima em relação ao teor inicial de sólidos de 18,45%. Do ponto de vista operacional, o sistema demonstrou sua eficiência, tendo dessecado 57.253 m<sup>3</sup> em 45 dias de operação. Em termos de eficiência de secagem, o ganho foi significativo, com um coeficiente de eficiência de secagem de 70%, indicando um ganho no teor inicial de sólidos por peso do resíduo.

Além dos benefícios de eficiência, segurança e controle na disposição do material, destaca-se a possibilidade de utilização dos rejeitos para reprocessamento para obtenção de ferro e como material para terraplenagem, após uma adequada caracterização em termos de teor mineral e parâmetros geotécnicos, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, R. K. A. Codisposição e disposição compartilhada de rejeitos e estéreis em cava exaurida. 2014 (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal de Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Ouro Preto).
- [2] SOARES, L. (2010). Barragem de rejeitos. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 19 – pág. 831–896. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Silvia Cristina A. França.
- [3] DAHLSTROM, D. A. Dewatering methods. in DARLING, P. (2011). Mining Engineering Handbook. Third Edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. (U.S.)
- [4] VERTEMATTI, J.C. et al. (2015). Manual brasileiro de geossintéticos. 2. ed., Blucher, São Paulo, BR, 570 p. ABNT. Associação brasileira de normas técnicas.
- [5] MÜLLER, M. et al. (2020). Dewatering of sludge from a sewage treatment plant with geotextile tubes. GeoAmericas2020 – 4th Pan American Conference on Geosynthetics
- [5] MÜLLER, M. et al. (2020). Dewatering of sludge from a sewage treatment plant with geotextile tubes. GeoAmericas2020 – 4th Pan American Conference on Geosynthetics
- [6] LESHCHINSKY, D., LESHCHINSKY, O. (1996). GeoCoPs 2.0 Supplemental Notes. ADAMA Engineering, USA. 24 p.
- [7] MOO-YOUNG, Horace K.; GAFFNEY, Douglas A.; MO, Xinghua. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes. Geotextiles and Geomembranes, v. 20, n. 5, p. 289-303, 2002