XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/17

ANÁLISE PARAMÉTRICA DE GEOTUBOS PARA DESAGUAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Leonardo Freitas Diamantino
Engenheiro Geotécnico, EESC USP, Belo Horizonte, Brasil, leonardo.diamantino@usp.br

Rogério Pinto Ribeiro
Professor, EESC USP, São Carlos, Brasil, rogerioprx@sc.usp.br

Lucas Almeida Campos
Engenheiro Geotécnico, WALM BH ENGENHARIA, Belo Horizonte, Brasil,
lucas.campos@walmengenharia.com.br

Jefferson Lins Da Silva
Professor, EESC USP, São Carlos, Brasil, jefferson@sc.usp.br

RESUMO: Este trabalho apresenta uma avaliação técnica do desempenho de geotubos confeccionados com geotêxteis aplicados ao desaguamento de rejeitos de minério aurífero, minério de ferro e bauxita. O estudo compara métodos clássicos de dimensionamento baseados na teoria das membranas para estimativa das tensões atuantes, a partir da caracterização físico-geotécnica dos rejeitos e da análise de dois geossintéticos com propriedades distintas. Foram determinadas as tensões circunferenciais e axiais sob diferentes condições de enchimento, bem como verificados os critérios de retenção, permeabilidade, permissividade e colmatação. Os resultados indicam que as propriedades granulométricas e o peso específico dos rejeitos influenciam diretamente as solicitações mecânicas e o desempenho hidráulico, destacando a importância da seleção adequada do geotêxtil e do controle da pressão de enchimento para a segurança das geoformas.

PALAVRAS-CHAVE: geotubos, desaguamento de rejeitos, bauxita, minério de ferro, ouro, sustentabilidade.

ABSTRACT: This study presents a technical and geotechnical evaluation of the performance of geotextile tubes applied to the dewatering of gold, iron ore, and bauxite tailings. The research compares classical design methods based on membrane theory for estimating the stresses acting on the tubes, considering the geotechnical characterization of the tailings and the analysis of two geosynthetics with distinct properties. Circumferential and axial stresses were determined under different filling conditions, and filtration criteria including retention, permeability, permissivity, and clogging were assessed. The results indicate that grain size distribution and specific weight significantly influence both the mechanical demands and hydraulic performance of the system, highlighting the importance of proper geotextile selection and filling pressure control to ensure safe performance of geotextile tubes.

KEYWORDS: geotextile tubes, tailings dewatering, bauxite, iron ore, gold, sustainability

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por soluções eficientes e ambientalmente seguras para o manejo de rejeitos tem impulsionado o uso de geotubos confeccionados com geotêxteis de alta resistência. Esses sistemas promovem a separação sólido-líquido por meio da filtração e do confinamento da polpa mineral, reduzindo volume e umidade e oferecendo maior flexibilidade operacional à mineração. Estudos recentes demonstram seu desempenho satisfatório tanto para rejeitos convencionais quanto ultrafinos, consolidando-os como alternativa técnica viável para a gestão de resíduos minerais (Kiffle et al., 2023).

O funcionamento dos geotubos baseia-se na atuação do geotêxtil como elemento simultaneamente filtrante e estrutural, retendo partículas finas enquanto permite a drenagem da fase líquida. Essa configuração proporciona vantagens como redução de umidade, simplicidade construtiva e aplicabilidade a diferentes tipos de rejeitos, desde materiais arenosos até lamas finas e coesivas (Palmeira, 2018).

Além do desempenho hidráulico, a segurança do sistema depende do comportamento mecânico da geoforma durante o enchimento, uma vez que as tensões mobilizadas estão diretamente relacionadas às propriedades do rejeito e às condições operacionais. Nesse contexto, o uso de modelos teóricos para estimativa da tração no geotêxtil é essencial ao dimensionamento adequado e à seleção do material (Oliveira et al., 2025).

Este trabalho apresenta uma avaliação paramétrica da resistência à tração de geotubos aplicados ao desaguamento de rejeitos de bauxita, minério de ferro e minério aurífero. São analisadas as propriedades geotécnicas dos materiais e sua influência nas solicitações internas, destacando a importância da compatibilidade entre geotêxtil e rejeito para o desempenho seguro do sistema (Lawson, 2008).

2 REJEITOS ESTUDADOS: PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO E CARACTERIZAÇÃO

Os rejeitos analisados são provenientes de processos típicos de beneficiamento mineral e apresentam características granulométricas e físicas distintas, com influência direta nas solicitações mecânicas e no desempenho hidráulico dos geotubos.

2.1 REJEITO DE MINÉRIO AURÍFERO

O rejeito de minério de ouro é gerado após etapas de britagem e moagem intensiva, seguidas de concentração por flotação ou cianetação, conforme a mineralogia do depósito. A elevada energia de cominuição necessária para liberação do ouro resulta na produção de material predominantemente fino, composto por partículas silto-argilosas e minerais de canga remanescentes (Marsden et al., 2006).

Quanto à granulometria, apresenta valores típicos de D10 entre 0,002 e 0,006 mm, D30 entre 0,01 e 0,03 mm e D60 entre 0,05 e 0,10 mm. O peso específico natural situa-se entre 16 e 18 kN/m³ e o saturado entre 19 e 21 kN/m³. Trata-se de material de baixa permeabilidade, elevada fração de finos e tendência significativa à colmatação quando submetido a sistemas filtrantes. Essas características tornam o controle dos critérios de retenção e permeabilidade particularmente crítico em aplicações de desaguamento por geotubos.

2.2 REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO

O rejeito de minério de ferro é originado de operações de britagem, moagem, classificação e concentração, usualmente por separação magnética e flotação reversa em depósitos itabiríticos. Após a remoção do minério rico em ferro, permanecem predominantemente partículas silicosas, como quartzo, além de fragmentos micáceos e filíticos (Braga et al., 2020).

A granulometria típica apresenta D10 entre 0,01 e 0,02 mm, D30 entre 0,05 e 0,08 mm e D60 entre 0,12 e 0,20 mm, com coeficiente de uniformidade variando entre 8 e 12. O peso específico natural encontra-se entre 18 e 20 kN/m³ e o saturado entre 20 e 22 kN/m³. Comparativamente aos rejeitos mais finos, apresenta drenabilidade moderada e menor suscetibilidade à colmatação, embora a variabilidade textural possa influenciar o comportamento hidráulico e a distribuição de tensões durante o enchimento das geoformas.

2.3 REJEITO DE BAUXITA

O rejeito de bauxita é resultante de etapas de britagem e lavagem para remoção de frações argilosas, podendo também incluir resíduos associados ao processo Bayer quando destinado à produção de alumina. Esse material

apresenta elevada finura e composição heterogênea, com predominância de óxidos de ferro, sílica residual e minerais argilosos (Paramguru et al., 2005; Villar, 2002).

Os valores granulométricos típicos situam-se entre 0,005 e 0,015 mm para D10, 0,02 e 0,05 mm para D30 e 0,06 e 0,12 mm para D60, com coeficiente de uniformidade entre 10 e 15. O peso específico natural varia entre 17 e 19 kN/m³ e o saturado entre 19 e 21 kN/m³. Caracteriza-se por baixa a moderada permeabilidade, elevada concentração de finos e maior propensão à colmatação progressiva do meio filtrante, especialmente em condições de altas concentrações de sólidos.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada para avaliar diferentes formulações de dimensionamento de geotubos aplicadas ao desaguamento de rejeitos de minério de ouro, minério de ferro e bauxita, analisando simultaneamente o desempenho mecânico e hidráulico dos geossintéticos.

Inicialmente, foram adotadas as propriedades físico-geotécnicas representativas de cada rejeito, incluindo peso específico natural e saturado, distribuição granulométrica e parâmetros derivados necessários ao cálculo das tensões induzidas pelo enchimento.

Em seguida, aplicaram-se as formulações clássicas baseadas na teoria das membranas propostas por Lawson (2006), Kazimierowicz (1994), Liu, Goh e Silvester (1997) e Leshchinsky e Leshchinsky (1996), para estimativa das tensões circunferenciais e axiais em diferentes geometrias e pressões de enchimento.

Foram avaliados dois geossintéticos com propriedades mecânicas e hidráulicas distintas. As resistências à tração foram reduzidas por fatores associados a danos de instalação, costuras, degradação química e ambiental e fluência, obtendo-se a resistência admissível de cálculo. As tensões solicitantes foram então comparadas às resistências disponíveis, nas direções longitudinal e transversal.

Paralelamente, foram verificados os critérios hidráulicos de retenção, permeabilidade, permissividade e suscetibilidade à colmatação, utilizando parâmetros granulométricos dos rejeitos e propriedades hidráulicas dos geotêxteis.

Por fim, realizou-se análise comparativa integrando os resultados mecânicos e hidráulicos, permitindo identificar o geossintético mais adequado para cada tipo de rejeito e as limitações operacionais relacionadas à pressão de enchimento.

4 RESULTADOS

4.1 LAWSON (2006)

Baseando no perímetro já fornecido pela fabricante (S=36 m) e Diâmetro Teórico = S/π (11,5 m), verificou-se pelos estudos Lawson (2006) a relação simplificada entre os elementos geométricos principais das geoformas de geotêxtil, conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação simplificada entre elementos geométricos avaliados

Parâmetro (em função de:)	Sigla	Expressão	S=36 m	S=18 m	S=9 m
Altura Máxima (D)	H	H=0,6D	6,88	3,44	1,72
Altura Máxima (S)	H	H=0,19S	6,84	3,42	1,71
Largura (D)	b	b=1,4D	16,04	8,02	4,01
Largura (S)	b	b=0,45S	16,2	8,1	4,05

Parâmetro (em função de:)	Sigla	Expressão	S=36 m	S=18 m	S=9 m
Base (D)	B	B=0,9D	10,31	5,16	2,58
Base (S)	BS	B=0,29S	10,44	5,22	2,61
Área da seção (D)	A	$A=0,65D^2$	85,35	21,34	5,33
Área da seção(S)	A	$A=0,07S^2$	90,72	22,68	5,67
Tensão média na base Px (D)	Px	$0,72\gamma D$	214,52	107,26	53,63
Tensão média na base Px (S)	Px	$0,24\gamma S$	224,64	112,32	56,16

4.2 KAZIMIEROWICZ (1994 APUD MARTINS E VIDAL 2006)

Segundo o autor, o dimensionamento à tração de um tubo preenchido com material de densidade natural ($\gamma_{\nu\alpha\tau}$), pode ser calculado em função da pressão de enchimento e da altura de sua seção transversal, baseando-se no estado plano de deformação.

Para todas estas relações é considerado o γ como o peso específico do material, H a altura do tubo preenchido, p0 a pressão de bombeamento, como apresentado na Figura 1.

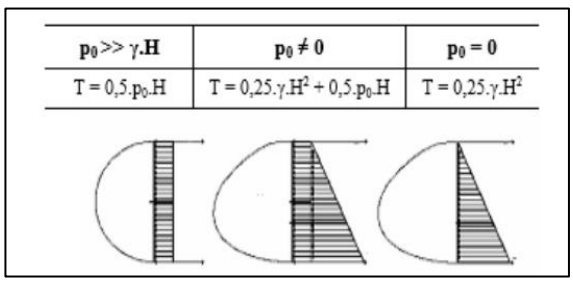


Figura 1 - Análise das tensões atuantes proposta por Kazimierowicz (1994 apud Martins e Vidal 2006)

O cenário intermediário é o que mais se aplica a situação aqui estudada, pois é relevante a pressão de enchimento assumida, além de considerar o peso próprio do rejeito em função da altura de tubo preenchido. Portanto, tem-se que:

- Pressão de enchimento definido (p0) = 1 bar =100 kPa
- Altura externa máxima (H) = 1,2 m
- Peso específico do material (γ) = 26 kN/m³ (Minério de Ferro), 20,9 kN/m³ (Minério Aurífero) e 22,0 kN/m³ (Bauxita)

Sendo assim, a tensão (T) calculada é igual a **69,36 kN/m** para o minério de ferro, **67,92 kN/m** para a Bauxita e **67,52 kN/m** para o minério aurífero. Os resultados mostraram que o peso específico pouco influencia para essa formulação, podendo ser aplicada para a verificação de ambos os materiais a fim de obter o valor de tensão atuante nas geoformas.

4.3 LIU, GOH E SILVESTER (1997)

Essa formulação é baseada no equilíbrio de uma casca flexível, calculando a força de tração na circunferência sob diferentes pressões. A estimativa de altura inicial e utilização do ábaco sugerido (ver Figura 2), permite variações para convergir a um valor de H sob o dado de entrada b1/S, calculado com a seguinte equação:

$$b1 = \frac{(\rho o + \gamma material \times H)}{\gamma água}$$

Sendo a pressão de enchimento da geoforma igual a 1bar (100kPa), temos que b1 = 13,12 m.c.a. Considerando S=36m (linha vermelha), tem-se que b1/S = 13,12/36 = 0,37. Para S=18m (linha rosa), tem-se que b1/S = 13,12/18 = 0,74 e por fim, para S=9m (linha azul), tem-se que b1/S = 13,12/9 = 1,49 conforme indicado na Figura 2.

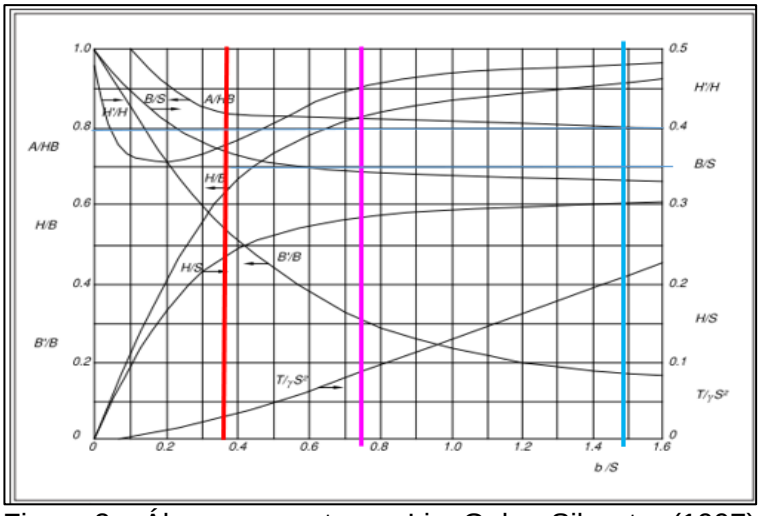


Figura 2 – Ábaco proposto por Liu, Goh e Silvester (1997)

Legenda: Linha vermelha S = 36,0 m, Linha Rosa S = 18,0 m e Linha Azul Claro S = 9,0 m

Através do ábaco acima é possível extrair os dados apresentados na Tabela 2, considerando peso específico da água (γ_w) para o cálculo de tração através desse mesmo ábaco é o da água, ou seja, γ_w = 9.8 kN/m³.

Tabela 2 – Valores avaliados a partir do ábaco

Valores extraídos do Ábaco	**Valores calculado com base nas relações (S=36m)**	**Valores calculado com base nas relações (S=18m)**	**Valores calculado com base nas relações (S=9m)**
B/S = 0,37	B = 0,37*36 = **13,3 m**	B = 0,37*36 = 13,3 m	B = 1,49*9 = 13,4 m
B'/B = 0,54	B' = 13,32*0,54 = **7,2 m**	B' = 13,3*0,31 = 4,1 m	B' = 13,32*0,54 = **2,1 m**
H'/H = 0,38			
H/S = 0,23	H= 0,23*36 = **8,3 m**	H= 0,28*18 = **5,0 m**	H= 0,23*36 = **2,7 m**
H/B = 0,63			
T/□S² = 0,03	T =0,03*9,8*36² = **381,2 kN/m***	T =0,09*9,8*18² = **285,8 kN/m**	T =0,03*9,8*36² = **166,7 kN/m**
A/HB = 0,84	A = 0,84*8,3*13,3 = **50,2 m²**	A = 0,84*8,3*13,3 = **92,6 m²**	A = 0,84*8,3*13,3 = **29,0 m²**

Considerando a geoforma confecionada com geotêxtil não tecido, tem-se resistência à tração longitudinal de 29 kN/m, e a transversal de 31 kN/m, com base em valores de catálogos de mercado para este tipo de material. Aplicando os fatores de redução citados no item 3, obtém-se a seguinte resistência admissível a tração.

$$Tadm = \left(\frac{T}{(FRPpi \times FRPct \times FRPaq \times FRPma \times FRPfl \times FRcreep)}\right) = \left(\frac{31}{6{,}35}\right) = 4{,}9\ kN/m$$

Como os valores obtidos de 381,2 kN/m, 285,8 kN/m e 166,7kN/m são muito maiores que 4,9 kN/m, conclui-se que a resistência a tração longitudinal para geossintético não tecido não atende segundo a formulação proposta.

4.4 LESHCHINSKY E LESHCHINSKY (1996)

As formulações acima apresentadas indicadas: por Lawson (2006) apresenta diretamente relação entre elementos geométricos em geoformas confeccionadas com geotêxteis que resultam na resposta de Tensão vertical média na base; a tensão retirada pelo ábaco sugerida pelo autor Liu, Goh e Silvester (1997), bem como a apresentada por Kazimierowicz considera fatores que relacionam alguns parâmetros de geometria do material.

Portanto, optou-se por adotar a metodologia de Leshchinsky e Leshchinsky (1996) mencionada por Vertematti (2018) e Notas Suplementares do GEOCOPS 2.0, assumindo como conhecida a densidade do material γ, e a relação entre a geometria da fôrma têxtil, y(x), onde é necessário conhecer ao menos uma das três variáveis a seguir: a força de tração circuferencial (T_{req}), a pressão de bombeamento, $p_{0,}$ e a altura da forma, H.

Portanto, para o cálculo da tensão axial (T_{axial}) tem-se ainda que considerar a força P, que atua nos planos verticais das extremidades da fôrma têxtil, que é distribuída da direção z (ao longo de todo o perímetro) e considerando $h_{máx}$=1,2m para que seja calculada a maior tensão suportada pela geforma:

$$Taxial = \frac{2}{S}(p0 + \gamma h) = \frac{2}{36}(100 + 26 * 1{,}2) = 7{,}3\ kN/m$$

As resistências apresentadas na ficha técnica deste material é de 29 kN/m para a tração na longitudinal e de 31 kN/m de tração na transversal.

$$Tult = \frac{Taxial}{FRT} = \frac{29}{6{,}3} = 4{,}6\ kN/m$$

A resistência à tração longitudinal nominal de 29 kN/m, após a aplicação dos fatores de redução recomendados para geotêxteis, resulta em resistência última de cálculo de 4,6 kN/m, valor inferior à tensão axial solicitante de 7,35 kN/m, não atendendo à condição de segurança.

Embora tenha sido adotada pressão de enchimento de 100 kPa, o GRI Test Method GT11 Standard Practice for "Installation of Geotextile Tubes used for Coastal and Riverine Structures" recomenda monitoramento contínuo da pressão interna e estabelece limite de aproximadamente 35 kPa (5 psi) na porta de enchimento.

Ressalta-se que a pressão e as tensões podem variar ao longo do comprimento do tubo, especialmente em costuras e conexões, de modo que o simples controle da pressão de bombeamento não elimina o risco de concentrações locais de tensão. Considerando que essas recomendações se aplicam para geoformas tubulares de geotêxteis usadas para estruturas costeiras e fluviais e que a informação de 100kPa pode ser alta o suficiente para elevar as tensões nas paredes do tubo, recomenda-se que seja acompanhada as pressões de enchimento para evitar possível rompimentos dos tubos, conforme Figura 3.

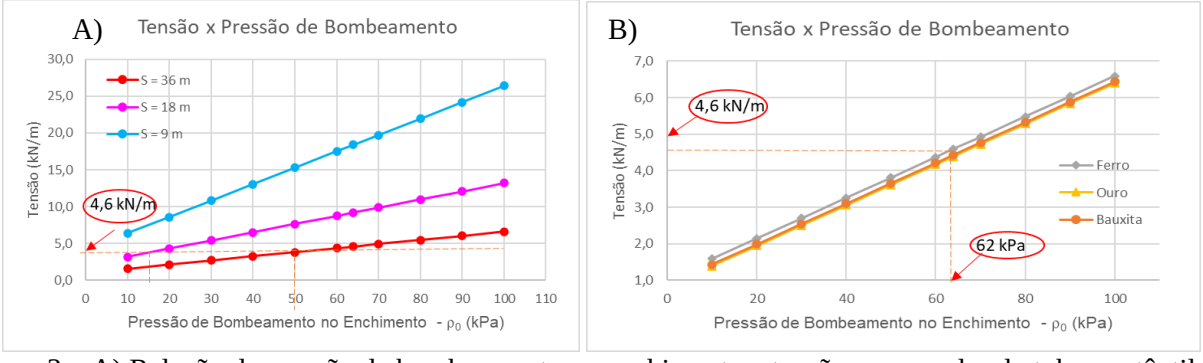


Figura 3 – A) Relação de pressão de bombeamento no enchimento *x* tensão nas paredes do tubo geotêxtil. B) Pressão de bombeamento no enchimento *x* tensão nas paredes do tubo geotêxtil diferentes tipos de rejeitos

Os resultados indicam que, para atender à tensão admissível do geotêxtil, a pressão máxima de bombeamento deve ser limitada a aproximadamente 50 kPa para S = 36 m e 15 kPa para S = 18 m. Para S = 9 m, o geotêxtil não tecido não atende às solicitações durante o enchimento. Para S = 36 m, verificou-se que a variação do peso específico dos rejeitos (20,9 a 26 kN/m³) não influencia significativamente as tensões mobilizadas.

5 AVALIAÇÕES HIDRÁULICAS E DE FILTRAGEM/RETENÇÃO

A avaliação dos critérios de filtração indica que o desempenho do geotêxtil não tecido de 31 kN/m depende fortemente da granulometria dos rejeitos. No critério de retenção, o rejeito de ferro, por ser mais arenoso e apresentar D85 mais elevado, mostra maior compatibilidade com a condição O95 < 0,5·D85. Já os rejeitos de ouro e bauxita, mais finos e silto-argilosos, tornam o critério restritivo, indicando risco de perda de finos com aberturas típicas da ordem de 0,1 mm.

Quanto à permeabilidade, o geotêxtil apresenta elevada capacidade drenante; contudo, a verificação da relação kGT > n·kS é limitada pela ausência de dados específicos, sendo mais crítica para os rejeitos finos, que apresentam maior suscetibilidade à colmatação. O rejeito de ferro tende a apresentar melhor compatibilidade hidráulica.

No critério de permissividade, não há restrições para os três materiais. Entretanto, sob o aspecto de anticolmatação, os rejeitos de ouro e bauxita apresentam maior risco de entupimento progressivo, enquanto o rejeito de ferro configura o cenário mais favorável, condicionado à verificação experimental.

6 GEOSSINTÉTICO MAIS ADEQUADO

A análise comparativa dos modelos de dimensionamento e dos critérios de filtração indicou que o geotêxtil não tecido com resistência à tração longitudinal de 31 kN/m é inadequado para o enchimento das geoformas. As tensões estimadas pelos métodos de Lawson (2006), Kazimierowicz (1994) e Liu, Goh & Silvester (1997) superam significativamente a resistência admissível após aplicação dos fatores de redução, evidenciando risco de ruptura. Do ponto de vista hidráulico, apesar da elevada permeabilidade, sua abertura de poros é excessiva para os rejeitos finos de ouro e bauxita, favorecendo perda de sólidos e colmatação.

Dessa forma, recomenda-se a utilização de geotêxteis tecidos de alta resistência, com valores de tração superiores a 200 kN/m e abertura aparente de poros controlada ($O_{95} \approx 0{,}04$ mm ou inferior), capazes de atender simultaneamente aos critérios mecânicos e de retenção. Esses materiais oferecem maior segurança estrutural e permitem ajuste do desempenho hidráulico conforme a granulometria do rejeito, com opções mais abertas para o rejeito de ferro e mais fechadas para os rejeitos finos.

7 CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a escolha do geossintético é determinante para a eficiência e a segurança de geoformas utilizadas no desaguamento de rejeitos de mineração. Os modelos analisados evidenciaram que o geotêxtil não tecido com resistência de 31 kN/m é inadequado para as tensões mobilizadas durante o enchimento das geoformas e que sua abertura de poro não atende ao critério de retenção para rejeitos finos. A seleção de geotêxteis tecidos de alta resistência, com elevada capacidade de tração, abertura aparente controlada e alta permeabilidade, mostra-se a solução mais apropriada, permitindo ajustar o desempenho hidráulico e estrutural ao tipo de rejeito e proporcionando maior segurança frente a rupturas e colmatação.

Adicionalmente, destaca-se que, na prática operacional, é comum a realização de empilhamento de geotubos com o objetivo de otimizar a área necessária para disposição do material desaguado. Nesse contexto, o uso de geotêxteis não tecidos pode representar um fator adicional de risco, uma vez que sua menor resistência à tração torna o sistema mais suscetível às cargas decorrentes da sobreposição de geoformas empilhadas. Dessa forma, a gestão adequada das pressões de enchimento e a realização de ensaios específicos para cada tipo de rejeito tornam-se fundamentais para validar o comportamento do sistema em campo.

Com essas medidas, os geotubos podem se consolidar como uma alternativa eficiente e sustentável para o desaguamento de rejeitos, reduzindo o volume de material a ser disposto em estruturas convencionais de contenção e contribuindo para a otimização da gestão de resíduos nas operações de mineração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, M. A.; VILLAR, L. M.; PIRES, A. B.; FERREIRA, C. D. Comportamento geotécnico de rejeitos de minério de ferro. *Geotecnia*, n. 130, p. 45–64, 2020.

GRI – GEOSYNTHETIC RESEARCH INSTITUTE. GRI-GT11: Standard Practice for Installation of Geotextile Tubes used for Coastal and Riverine Structures. Folsom, PA: Geosynthetic Research Institute, 2016.

KAZIMIEROWICZ, J. Geotextile tube dewatering: theoretical considerations and design implications. In: PROCEEDINGS OF GEOSYNTHETICS CONFERENCE. Vancouver: IFAI, 1994.

KIFFLE, Z. B.; BHATIA, S. K.; LEBSTER, G. E. Dewatering of mine tailing slurries using geotextile tube: case histories. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, v. 9, 2023.

LAWSON, C. R. Geotextile tube technology: an overview of dewatering theory and applications. *Geosynthetics International*, v. 15, n. 6, p. 384–395, 2008.

LESCHCHINSKY, D.; LESCHCHINSKY, O. Geosynthetic containers: seepage, consolidation and stability. *Geosynthetics International*, v. 3, n. 5, p. 655–684, 1996.

LIU, S. J.; GOH, K. S.; SILVESTER, M. J. Geotextile tubes for the containment and dewatering of dredged sediments. In: PROCEEDINGS OF GEOSYNTHETICS CONFERENCE. Long Beach: IFAI, 1997.

MARSDEN, J.; HOUSE, C. *The Chemistry of Gold Extraction*. 2. ed. Littleton: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), 2006.

OLIVEIRA, L. F.; SANTOS, M. A.; PEREIRA, R. J.; CARVALHO, D. S. Toward sustainable tailings disposal: a geotechnical overview of Brazilian research. ResearchGate Preprint, 2025.

PALMEIRA, E. M. *Geossintéticos em sistemas de desaguamento de lodos e rejeitos: mecanismos, projeto e desempenho*. Brasília: Universidade de Brasília, 2018.

PARAMGURU, R. K.; RATH, P. C.; MISRA, V. N. Trends in red mud utilization: a review. *Minerals and Metallurgical Processing*, v. 22, n. 2, p. 75–83, 2005.

VERTEMATTI, P. C. (org.). *Manual de geossintéticos e geossistemas*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

VILLAR, L. M. *Caracterização e gestão do resíduo de bauxita (red mud)*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.