DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/52

Uso de geossintéticos para reforço de galeria sob pilha de estéril: análise técnica, econômica e ambiental

Bruna Todescan
Engenheira Civil, TDM Geossintéticos Brasil, Jaguariúna, Brasil, btodescan@tdmbrasil.com.br

Renilson Sousa Costa
Coordenador de Geotecnia, GEOCOBA, Rio de Janeiro, rsc@geocoba.com

Patricia Martins Lopes
Engenheira Geotécnica Sênior, GEOCOBA, Rio de Janeiro, pml@geocoba.com

Luiz Antonio Maranhão Pereira
Gerente de Produto, ARMCO STACO S.A., Rio Janeiro, Brasil, lamp@armcostaco.com

RESUMO: Sistemas de drenagem são fundamentais para a estabilidade e a segurança operacional de estruturas de disposição em mineração, garantindo o escoamento adequado das águas e prevenindo processos de erosão, saturação e perda de desempenho geotécnico. Quando drenagens naturais são interceptadas pelo avanço de pilhas, torna-se necessária a implantação de galerias enterradas capazes de suportar elevados carregamentos verticais, frequentemente em condições logísticas desafiadoras. Tradicionalmente executadas em concreto armado, essas estruturas podem ser substituídas por soluções flexíveis. Avaliou-se um caso real de galeria com aproximadamente 680 m de extensão, submetida a tensões da ordem de 1.500 kPa, comparando-se a solução convencional a uma alternativa composta por tubo metálico corrugado reforçado com geogrelhas e geocélulas. A análise considerou custos diretos de materiais e transporte, além das emissões de CO_2 associadas à implantação. Observou-se redução de cerca de 11,6% nos custos diretos e diminuição aproximada de 44% nas emissões, principalmente pelo aproveitamento de solo local e menor dependência de insumos industrializados.

PALAVRAS-CHAVE: galeria de drenagem, pilha, tubo metálico, geossintéticos, geocélulas.

ABSTRACT: Drainage systems are essential to the stability and operational safety of disposal structures in mining, ensuring proper water conveyance and preventing erosion, saturation, and loss of geotechnical performance. When natural drainages are intercepted by the advance of waste dumps, the installation of buried galleries capable of withstanding high vertical loads becomes necessary, often under challenging logistical conditions. Traditionally constructed in reinforced concrete, these structures may be replaced by flexible solutions. A real case study involving a gallery approximately 680 m long, subjected to stresses on the order of 1,500 kPa, was evaluated by comparing the conventional solution with an alternative composed of a corrugated steel pipe reinforced with geogrids and geocells. The analysis considered direct material and transportation costs, as well as the CO_2 emissions associated with installation. Results showed a reduction of about 11.6% in direct costs and an approximate 44% decrease in emissions, mainly due to the use of locally available soil and reduced dependence on industrialized materials.

KEYWORDS: drainage gallery, waste dump, corrugated steel pipe, geosynthetics, geocells.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de drenagem constituem elementos fundamentais na infraestrutura de empreendimentos de mineração, sendo responsáveis por garantir o escoamento adequado das águas superficiais e subterrâneas, preservar a estabilidade geotécnica das estruturas de disposição e garantir condições operacionais seguras ao longo da vida útil das instalações. Em áreas destinadas à formação de pilhas de estéril, a necessidade de transposição de drenagens naturais, interceptadas pelo avanço da disposição de material, impõe desafios

adicionais de projeto, uma vez que essas estruturas passam a ser submetidas a elevadas cargas verticais e condições construtivas frequentemente associadas a locais remotos e de difícil acesso.

Tradicionalmente, soluções baseadas em galerias moldadas em concreto armado têm sido empregadas nesses contextos, devido à sua robustez estrutural e ao comportamento consolidado frente a solicitações elevadas. Entretanto, a execução dessas estruturas demanda o fornecimento contínuo de grandes volumes de concreto, aço e materiais auxiliares, além de mão de obra especializada e significativa mobilização logística. Em empreendimentos de mineração, especialmente em regiões afastadas dos grandes centros urbanos, essas características podem resultar em elevados custos de implantação, aumento dos prazos executivos e maior impacto ambiental associado ao transporte e à produção dos insumos empregados.

Nesse cenário, cresce o interesse por soluções estruturais capazes de conciliar desempenho técnico, otimização construtiva e sustentabilidade. A utilização de tubos metálicos corrugados, associados a sistemas de reforço com geogrelhas e geocélulas, permite mobilizar materiais disponíveis na própria mina como parte integrante do sistema estrutural, promovendo redistribuição de tensões, confinamento do aterro e redução da dependência de materiais externos. Além disso, essa abordagem apresenta potencial para simplificar os processos construtivos, reduzir demandas logísticas e minimizar impactos ambientais associados à implantação das obras.

Diante desse contexto, o presente trabalho apresenta uma avaliação comparativa entre uma solução convencional em concreto armado e uma alternativa composta por tubo metálico corrugado, associado ao uso de geogrelhas e geocélula, no maciço de envolvimento da estrutura, desenvolvida para um projeto de galeria de drenagem sob pilha de estéril em mina a céu aberto localizada na região norte do Brasil. A comparação considera aspectos técnicos de concepção, econômicos e ambientais das soluções propostas, buscando avaliar o potencial da utilização de geossintéticos como alternativa para obras de infraestrutura mineira submetidas a elevados carregamentos.

2 O PROJETO

O estudo foi desenvolvido a partir de um caso real de implantação de sistema de drenagem sob pilha de estéril em empreendimento de mineração a céu aberto, localizado na região norte do Brasil. A obra tem como objetivo garantir a continuidade do escoamento hidráulico de uma drenagem natural interceptada pela pilha. Além disso, estabeleceu-se como requisito de projeto que a galeria possibilitasse acesso interno para inspeção e eventuais intervenções de manutenção, em atendimento aos critérios de segurança operacional da mina.

As soluções avaliadas demandaram o estudo de uma galeria enterrada, com aproximadamente 680 metros de extensão linear, implantada sob a pilha onde, ao longo de sua vida útil, a estrutura será submetida a carregamentos verticais elevados, decorrentes da disposição de material estéril, atingindo tensões da ordem de 1.500 kPa.

Desta forma, foram estudadas duas abordagens, sendo elas:

- CA – Galeria em Concreto armado, representando a solução convencional;
- TG – Tubo metálico corrugado envolvido com reforço com geossintéticos (geogrelhas e geocélulas de PEAD).

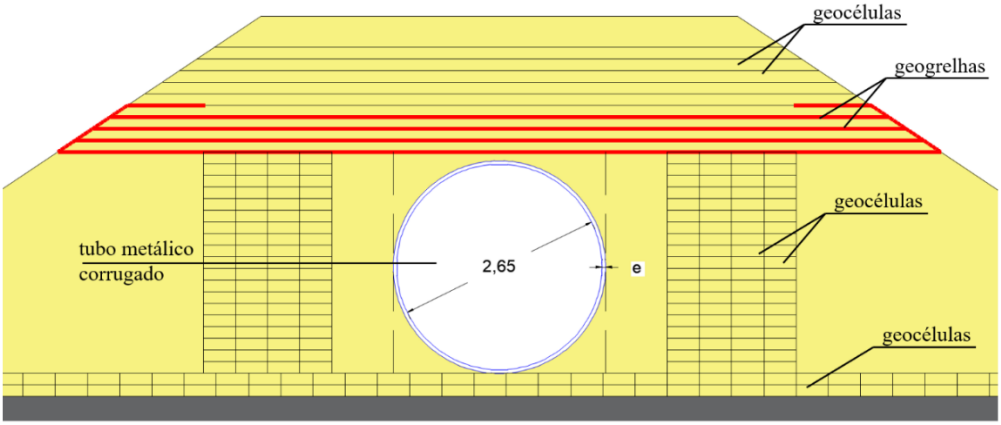
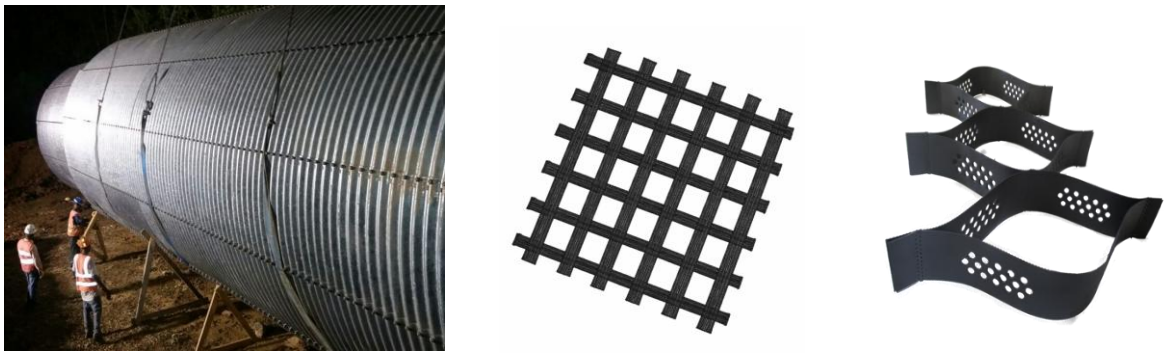


Figura 1. Seção típica – Solução em tubo metálico com reforço em geossintéticos (TG).

2.1 Materiais Empregados na Solução proposta

A solução proposta é composta pela associação entre um tubo metálico corrugado e sistemas de reforço do maciço com geogrelhas e geocélulas de PEAD, materiais que atuam de forma complementar no desempenho estrutural do conjunto. A Figura 2 apresenta os principais materiais empregados na solução proposta.



(a) (b) (c)

Figura 2. Materiais empregados: (a) tubo metálico corrugado, (b) geogrelha e (c) geocélula.

Os tubos metálicos corrugados são estruturas formadas por chapas de aço perfiladas e parafusadas, constituindo anéis estruturais contínuos capazes de conduzir o fluxo hidráulico e suportar solicitações.

As geogrelhas são geossintéticos poliméricos constituídos por uma estrutura em malha aberta, projetados para promover a interação mecânica com o material (solo) adjacente. No sistema estudado, são dispostas em camadas sucessivas no aterro de envolvimento do tubo, contribuindo para a redistribuição das tensões e para o aumento da estabilidade do conjunto.

As geocélulas de PEAD são estruturas tridimensionais de confinamento celular, formadas por faixas poliméricas interligadas por soldas ultrassônicas. Quando preenchidas com solo ou material granular, promovem o aumento do intertravamento entre partículas, da resistência ao cisalhamento e da rigidez do maciço. Na solução proposta, são empregadas como elemento de confinamento do solo de envolvimento do tubo metálico, contribuindo para o desempenho mecânico do sistema.

3 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES

Tomando-se como base o projeto estudado, foram realizadas análises para comparação da efetividade e as vantagens do uso de tubo metálico corrugado, combinado à geossintéticos, como estrutura de drenagem sob pilha.

Para a solução convencional em concreto armado (CA), foram considerados itens usuais de execução de galeria moldada *in loco*, incluindo fôrmas, aço para armação e fornecimento de concreto usinado de 30 MPa, obtido em central localizada a 60 km da obra.

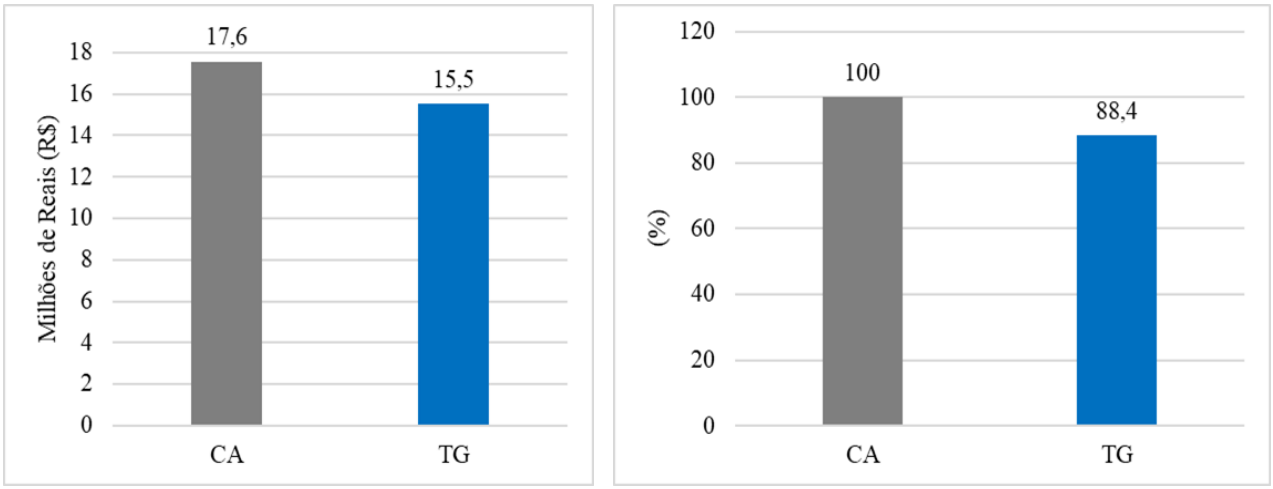
Para a solução em tubo metálico com reforço em geossintéticos (TG), foi considerada tubulação metálica corrugada com diâmetro de 2,65 metros, com variação de espessura de parede em função da variação da sobrecarga exercida pela pilha ao longo da linha de drenagem, associada à utilização de geogrelhas com resistência de 1.000 e 1.600 kN/m, bem como geocélulas de PEAD de abertura máxima de 416 x 374 mm e altura de 150 mm. O material de aterro empregado entre as camadas de reforço e preenchimento das geocélulas correspondeu a um solo disponível na própria mina, previamente caracterizado para uso geotécnico.

Além disso, ressalta-se que todos os elementos adotados foram previamente dimensionados para atender às solicitações estruturais e hidráulicas previstas para o projeto, garantindo condições equivalentes de desempenho entre as soluções avaliadas.

3.1 Avaliação de Custo

Os custos analisados referem-se exclusivamente ao fornecimento e transporte dos materiais considerados em cada solução, não sendo incluídas, nesta etapa, despesas relativas à mão de obra, equipamentos ou encargos executivos.

Com base nessas premissas, verificou-se que a solução TG apresentou economia aproximada de R$ 2,1 milhões em custos diretos de materiais quando comparada à solução convencional, conforme apresentado na Figura 3, demonstrando uma redução de 11,6% do orçamento de material.



(a) (b)

Figura 3. Estimativa de custo de galeria em concreto armado (CA) *versus* tubo metálico corrugado com reforço em geogrelhas e geocélulas (TG): (a) em reais (b) em porcentagem.

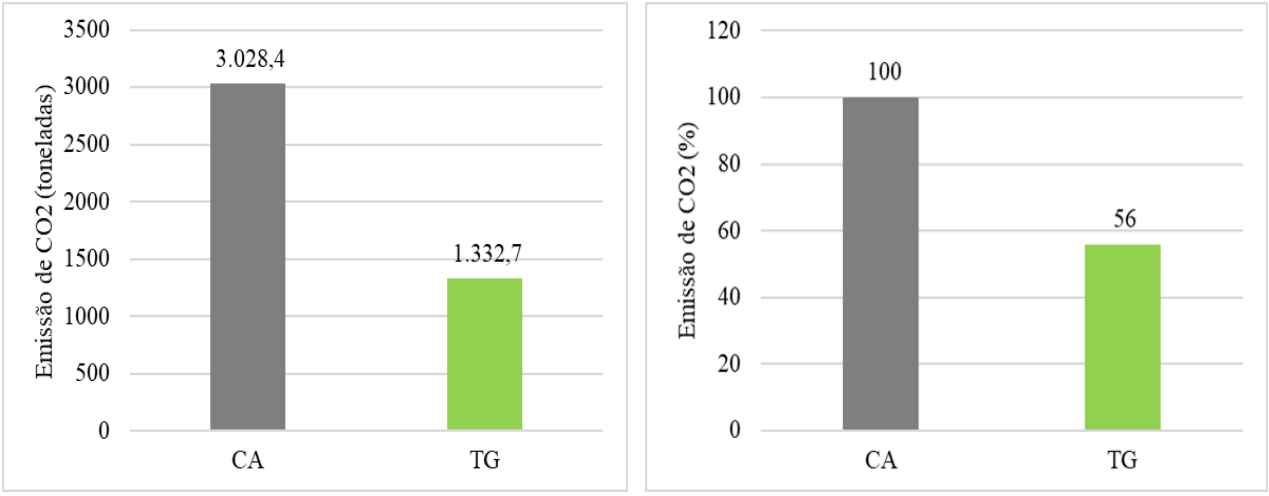
Ressalta-se que a avaliação econômica apresentada neste trabalho considera exclusivamente os custos diretos de fornecimento e transporte dos materiais. Entretanto, estudos prévios indicam que soluções que empregam geossintéticos tendem a apresentar ganhos adicionais quando analisadas sob a ótica executiva, incluindo aspectos de instalação e prazos construtivos. Segundo Caressato Junior (2025), sistemas com geossintéticos podem proporcionar reduções de custo de até 66% quando comparados a estruturas convencionais em concreto armado. De forma complementar, Andrade (2024) demonstra que obras executadas com geossintéticos podem alcançar produtividades significativamente superiores, chegando a ser até 15 vezes mais rápidas que soluções equivalentes em concreto moldado *in loco*.

3.2 Avaliação de Impacto Ambiental

Constatadas as vantagens técnicas e econômicas do uso de tubo metálico corrugado combinado a geossintéticos, se faz importante analisar de forma aprofundada as vantagens ambientais dessa solução, uma vez que também favorece a sustentabilidade em projetos de mineração.

A Figura 4 evidencia que, a adoção da solução TG representa uma diminuição de cerca de 44% nas emissões de gases de efeito estufa. Essa redução está diretamente relacionada à menor dependência de materiais industrializados de alta intensidade energética, como cimento e aço estrutural, cuja produção é reconhecidamente uma das principais fontes de emissões no setor da construção pesada.

Além disso, a utilização predominante de material granular disponível na própria área da mina reduziu significativamente a necessidade de transporte de insumos externos, contribuindo para a diminuição das emissões associadas à logística de obra.



(a) (b)

Figura 4. Estimativa de emissão de carbono para execução de galeria em concreto armado (CA) *versus* tubo metálico corrugado com reforço em geogrelhas e geocélulas (TG): (a) em toneladas (b) em porcentagem.

4 CONCLUSÕES

A análise comparativa desenvolvida demonstrou que a solução composta por tubo metálico corrugado associado a reforço com geogrelhas e geocélulas atende aos requisitos técnicos de desempenho estrutural e hidráulico exigidos para implantação de galeria sob pilha de estéril, configurando-se como alternativa viável à solução convencional em concreto armado.

Do ponto de vista econômico, mesmo considerando apenas custos diretos de materiais e transporte, observou-se redução de aproximadamente 11,6%, indicando potencial adicional de economia quando incorporados aspectos executivos, como produtividade e prazos construtivos, conforme evidenciado por estudos da literatura.

Sob o aspecto ambiental, a solução alternativa apresentou redução expressiva nas emissões de CO_2, da ordem de 44%, principalmente em função da menor utilização de insumos industrializados de alta intensidade energética e do aproveitamento de material local no maciço estrutural.

Esses resultados evidenciam o papel dos sistemas reforçados com geossintéticos como soluções alinhadas aos princípios de sustentabilidade, racionalização construtiva e eficiência operacional em obras de infraestrutura mineira submetidas a elevados carregamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, L.T., Todescan, B., Caressato Junior, W. (2024) *The Use of HDPE Geocells for Drainage Channel Coating to Replace Reinforced Concrete Structures*. In: Pan-American Conference on Geosynthetics – GeoAmericas, Toronto, Canada.

CAMARCO – Cámara Argentina de la Construcción; INTI – Instituto Nacional de Tecnología Industrial; HINS (2024). *Calculadora de Huella de Carbono en Obras*. Buenos Aires, Argentina.

Caressato Junior, W., Fierro, G. (2025) *Cost, Time and Environmental Benefits of Channel Lining with Geocells*. In: Proceedings of the 41st IAHR World Congress, Singapore.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2023). *SICRO – Sistema de Custos Referenciais de Obras*. Disponível em: https://www.dnit.gov.br. Acesso em: outubro/2025.

Geosynthetic Institute – GRI (2016) *GRI GS15: Test Methods, Test Properties and Frequency for Geocells Made from High Density Polyethylene (HDPE) Strips*. Folsom, PA, USA.

Koerner, R.M. (2005) *Designing with Geosynthetics*, 5th ed., Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA.

SEDOP – Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas do Pará (2024). *Tabelas de Composições de Custos Unitários*. Governo do Estado do Pará, Belém, Brasil.

Vertematti, J.C. (2015) *Manual Brasileiro de Geossintéticos*, 2ª ed., Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos (ABINT), São Paulo, Brasil.