



## Uso de Tubos de Geotêxtil em Barragens de Rejeitos

Carolina Moraes Mattos

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, cmattos03@hotmail.com

Carolina Moreira Pollan

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, carolmp9685@hotmail.com

Rodrigo Vasconcelos Medea

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, medearodrigo@gmail.com

Vanessa Flavia Bellotto Goitia

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, vani.goitia@hotmail.com

Fernando Luiz Lavoie

Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, fernando.lavoie@maua.br

**RESUMO:** A exploração da mineração no Brasil representa 5% do PIB nacional, e os rejeitos do processo de extração dos minérios são descartados em barragens. Neste contexto, há a necessidade da busca por novas tecnologias, como o uso de tubos de geotêxtil, que têm como função principal o confinamento dos estéreis com segurança em áreas perimetrais às barragens. No presente trabalho foi possível determinar a altura crítica dos tubos de geotêxtil, para duas formas geométricas diferentes de empilhamento, em diferentes condições de contorno dos parâmetros dos rejeitos, sendo que a menor altura encontrada dentre todas as análises foi de 6 m para o Modelo 1 e 10 m para o Modelo 2. Com o uso de geogrelhas, foi possível atingir alturas maiores de empilhamento, de 14 m e 16 m, respectivamente, para o Modelo 1 e para o Modelo 2.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barragem de Rejeitos; Tubos de Geotêxtil; Geossintéticos; Empilhamento; Mineração; Estabilidade.

### 1 INTRODUÇÃO

Conceitualmente, rejeito de mineração é toda sobra do processo de beneficiamento de minério, independentemente do tipo de metal explorado, ou seja, é resultante de um processo de mineração. De acordo com Araujo (2006), sua constituição é caracterizada pela presença de uma fração líquida e sólida, com concentração de 30% a 50% em peso.

O mesmo é descartado, pois não possui valor econômico, porém, não significa que não possa ser reutilizado. O rejeito pode ser aproveitado para outras finalidades em outros tipos de indústrias, já que não é tóxico, corrosivo e nem

inflamável.

Geralmente, composto por minério de ferro, areia e água, o rejeito pode ser reaproveitado de acordo com suas características físicas e químicas como matéria prima para diversos produtos, tais como blocos pré-moldados, ladrilhos hidráulicos, sais férricos para saneamento básico, pigmentos para tintas, entre outros produtos.

A maioria dos rejeitos, porém, não são reaproveitados e não devem ser descartados na natureza segundo a legislação vigente. Necessitam ser descartados de forma adequada em barragens de rejeitos.

A exploração de minérios por si só gera



grande volume de rejeito com água e, com o aumento dessa exploração, o volume de descarte tende a ser cada vez maior. Essa situação está gerando uma superexploração do uso das barragens, na qual muitas delas já se encontram em seu estado crítico. Com isso, está mais susceptível a ocorrência de acidentes de grandes proporções com consequências irreparáveis. Um exemplo é o caso do rompimento da barragem de Fundão, em 2015 no estado de Minas Gerais.

Para um aumento da manutenção da segurança das barragens deve-se ter um grande monitoramento com a utilização de diversas técnicas, principalmente um plano de emergência em caso de acidentes. A imprudência dessa administração pode causar grandes impactos socioambientais.

Além da manutenção das barragens, é importante atentar-se aos tipos de rejeito e como seu descarte é realizado. Os rejeitos produzidos podem ser separados em dois tipos, arenoso e lama. Já seu descarte pode ser feito de duas formas distintas, forma sólida (pasta ou granel) e forma líquida (polpa). No Brasil, o método mais utilizado é a polpa, nessa metodologia o rejeito passa por alguns processos previamente ao descarte final, sendo estes o espessamento, filtração e ciclonagem respectivamente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade de diques construídos com tubos de geotêxtil, de forma a aumentar a capacidade de confinamento de rejeitos em áreas adjacentes ao dique principal de uma barragem de rejeitos.

## 2 BARRAGENS DE REJEITOS

### 2.1 Definição

As barragens de rejeitos apresentam certas peculiaridades quando comparadas com as outras estruturas de contenção convencionais, uma vez que conseguem ser construídas em etapas. A questão financeira da construção e do serviço é facilitada e, além disso, o rejeito, que é o material a ser armazenado pela barragem, também é utilizado como o principal material de

construção da mesma.

Para a construção das barragens, sempre se leva em conta dois princípios como base. Estes seriam: realizar a construção de uma forma econômica e garantir a segurança da estrutura, sendo que para isso deve-se evitar o transbordamento, o *piping*, a ruptura de taludes, o efeito das ondas e a erosão causada pela água. Desta maneira a barragem de rejeitos é dividida em diversos setores como representado na Figura 1.



Figura 1. Diversos Setores de uma Barragem de Rejeitos (Samarco, 2018).

Sendo que:

1. Dique principal ou barramento;
2. Crista;
3. Reservatório de rejeito arenoso;
4. Reservatório de rejeito fino (lama);
5. Diques auxiliares;
6. Ombreira;
7. Vertedouro;
8. Drenagem interna.

### 2.2 Métodos de Construção das Barragens de Rejeitos

#### 2.2.1 Método de Alçamento à Montante

É considerado em curto prazo o método mais econômico, e, por consequência, menos seguro. Também é o modelo construtivo mais antigo e o



menos avançado tecnologicamente. Consiste basicamente na construção de alteamento do barramento sempre à montante sobre o rejeito já consolidado.

Este método em sua etapa inicial consiste na construção de um dique de partida, formado geralmente por materiais argilosos ou enrocamento compactado. Após esta etapa, os rejeitos são depositados hidraulicamente a partir da crista do dique de partida, formando uma praia de rejeitos que, com o tempo, adensará e servirá de fundação para futuros diques de alteamento, estes executados com o próprio material de rejeito. O processo é repetido até atingir à cota de ampliação prevista (Rafael, 2012). A Figura 2 ilustra o processo de construção e alteamento deste método.

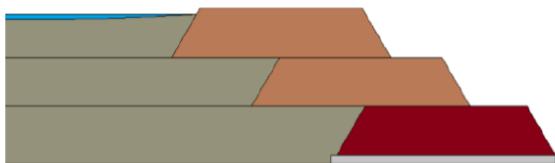


Figura 2. Processo de Construção e Alteamento do Método à Montante (Cardozo et al, 2016).

### 2.2.2 Método de Alteamento à Jusante

É considerado o modelo construtivo com menor deficiência em relação às superfícies freáticas, é mais conservador do que o método à montante e foi desenvolvido para reduzir os riscos de liquefação em zonas de atividade sísmicas.

Depois da construção do dique de partida, os alteamentos subsequentes são realizados à jusante do mesmo, até atingir a cota de projeto. Neste processo construtivo, cada alteamento é estruturalmente independente da disposição do rejeito, melhorando assim a estabilidade da estrutura. Todo o alteamento da barragem pode ser construído com o mesmo material do dique de partida (Rafael, 2012). A Figura 3 ilustra o processo de construção e alteamento deste método.

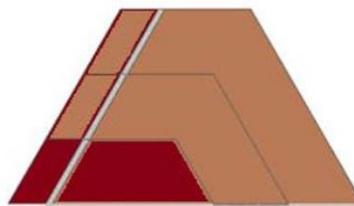


Figura 3. Processo de Construção e Alteamento do Método à Jusante (Cardozo et al, 2016).

### 2.2.3 Método de Alteamento por Linha de Centro

É um método que une os dois citados anteriormente (Montante e Jusante) mantendo suas vantagens e diminuindo suas desvantagens. Consiste na construção do barramento à jusante e à montante, sendo que os alteamentos são feitos acompanhando um eixo vertical, chamado de linha de centro, que coincide com o eixo do dique de partida. O sistema de disposição é análogo ao método à montante, a construção prossegue de modo similar, porém, permanecendo o eixo de simetria (linha de centro) da barragem constante.

A Figura 4 a seguir indica o barramento pelo método de linha de centro.

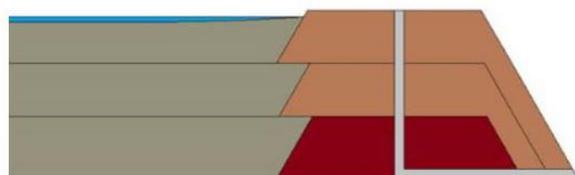


Figura 4. Processo de Construção e Alteamento por Linha de Centro (Cardozo et al, 2016).

## 3 TUBOS DE GEOTÊXTIL

Tubos de Geotêxtil, também denominados de Fôrmas Têxteis Tubulares, de acordo com Vertematti et al. 2015, são estruturas tubulares, lineares, constituídas de geossintéticos com o objetivo de reter materiais, de maneira permanente ou provisória.



Popularmente são chamados de “salsichões”, sendo que, para o caso de barragem de rejeitos, são preenchidos com rejeito do próprio reservatório e têm como principal finalidade a retenção dos finos.

O rejeito é bombeado para dentro dos tubos de geotêxtil até sua máxima capacidade, com isso permitindo a saída da água presente no resíduo, dando início ao processo de adensamento. Dentre suas vantagens pode-se citar o ganho de volume da barragem e a obtenção de uma maior estabilidade global da estrutura.

A Figura 5 ilustra um tubo de geotêxtil preenchido.



Figura 5. Tubo de Geotêxtil Preenchido com Rejeito de Mineração (Ober S.A., 2018).

Os tubos de geotêxtil podem então ser empilhados e posicionados nos locais mais adequados das barragens, formando assim diques auxiliares. Esses diques, são compostos pelo próprio rejeito adensado nos tubos, diminuindo assim o volume desse material presente na barragem. A Figura 6 exemplifica o empilhamento dos tubos de geotêxtil após o preenchimento com rejeito.



Figura 6. Tubos de Geotêxtil Preenchidos com Rejeito de Mineração e Empilhados (Ober S.A., 2018).

Os diques delimitam uma área restrita dentro da barragem, separando esta da área que contém o maior volume de rejeito. A finalidade desses diques é funcionar como uma barreira contendo o rejeito que será retirado da área com maior volume e colocado na área que foi delimitada.

O empilhamento dos tubos pode ser realizado de diversas maneiras, por isso foi realizado um desenho simplificado para ilustrar como os diques no presente trabalho foram considerados.

As Figuras 7 e 8 ilustram, respectivamente, a seção transversal do dique e a seção longitudinal do mesmo.

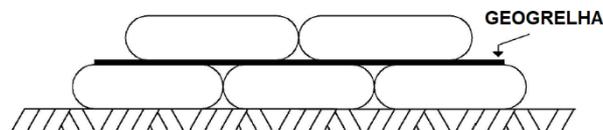


Figura 7. Seção Transversal Representativa do Dique.

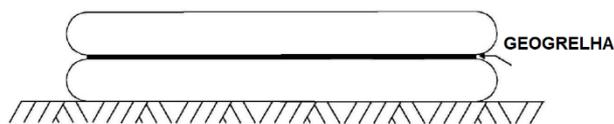


Figura 8. Seção Longitudinal Representativa do Dique.



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Geossintéticos Utilizados

Para o estudo em questão, foram consideradas as características do geotêxtil não-tecido de poliéster (PET) para a composição dos tubos, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Características do Geotêxtil que Compõe o Tubo.

Propriedade	Norma	Unidade	Valor
Resistência à Tração Faixa Larga	ABNT NBR ISO 10319	kN/m	31
Permeabilidade Normal	ASTM D4491	cm/s	0,39
Abertura Aparente	ASTM D4751	mm	0,12

Para a análise de estabilidade dos diques com reforço, foram consideradas geogrelhas tecidas de poliéster (PET), cujas características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características das Geogrelhas Utilizadas Como Reforço.

Modelo Geogrelha	$T_{ult}$ (kN/m)	$T_{adm}$ (kN/m)
GG 35	35	20,20
GG 55	55	31,75
GG 80	80	46,18
GG 110	110	63,49
GG 200	200	115,44

Foi utilizado o valor de 1,73 para o fator de redução global da geogrelha (FR), sendo este composto pelo  $f_{cr}=1,50$  (fator de redução parcial para fluência em tração),  $f_{mr}=1,10$  (fator de redução parcial para danos mecânicos de instalação),  $f_a=1,05$  (fator de degradação ambiental), e  $f_m=1,0$  (fator de redução parcial para incertezas estatísticas na determinação da resistência do geossintético).

### 4.2 Rejeito Utilizado

Os parâmetros do rejeito utilizado para este estudo foram fornecidos pela Empresa Samarco, e se referem aos dados da Barragem de Germano, em Minas Gerais. A Tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados neste trabalho.

Tabela 3. Parâmetros do Rejeito Utilizados neste Estudo.

Rejeito	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Rejeito Não Drenado	20	0	31,9
Rejeito Drenado	20	5	34,5

### 4.3 Modelos de Empilhamento Utilizados

Os modelos utilizado neste estudo, chamados de Modelo 1 e Modelo 2, foram considerados com as suas bases inferiores (B) compostas por quatro tubos um ao lado do outro, formando assim uma base de 18,4 m. No topo do dique, foi estipulado que haveria apenas um tubo com 4,6 m, sendo que a incógnita avaliada foi a altura do empilhamento (H). As Figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, as seções transversais dos Modelos 1 e 2.

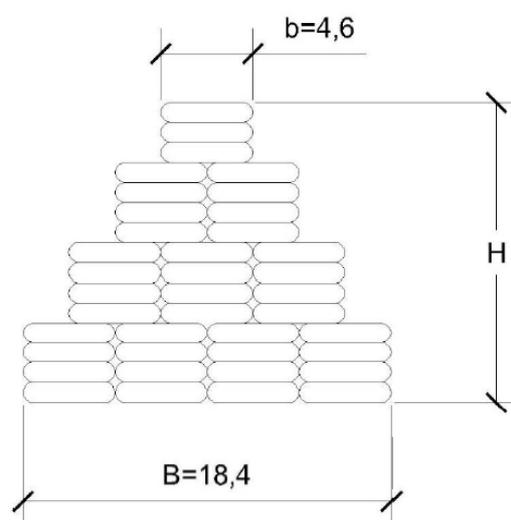


Figura 9. Seção Transversal do Modelo 1, com as dimensões em metros.

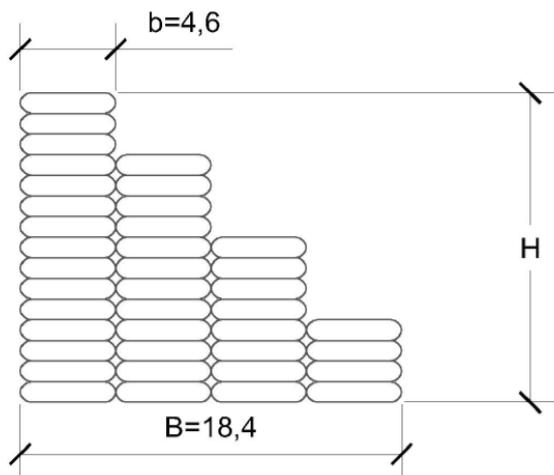


Figura 10. Seção Transversal do Modelo 2, com as dimensões em metros.

#### 4.4 Análises Realizadas com os Modelos

As análises realizadas foram feitas considerando as seguintes configurações descritas nas Figuras 11 e 12.

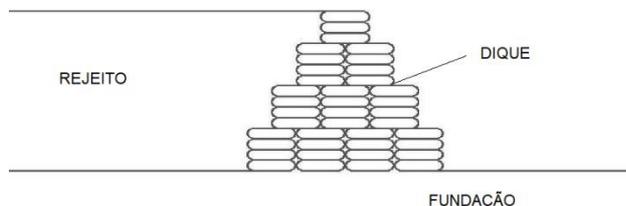


Figura 11. Configuração de Análise da Estrutura do Modelo 1.

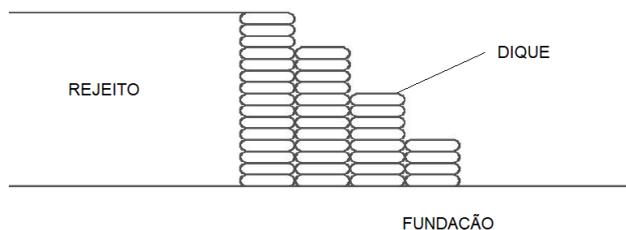


Figura 12. Configuração de Análise da Estrutura do Modelo 2.

Em que:

a) Dique: É o conjunto de tubos de geotêxtil preenchidos pelo rejeito bombeado;

b) Rejeito: É o material inserido à montante do dique de tubos de geotêxtil;  
 c) Fundação: É a camada de rejeito sob a estrutura do dique.

A Tabela 4 apresenta as análises realizadas para cada uma das configurações dos Modelos 1 e 2.

Tabela 4. Análises Realizadas para as Estruturas Dimensionadas.

Análises Realizadas	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Situação 1 – Sem Reforço			
Rejeito (não drenado)	20	0	31,9
Dique (drenado)	20	5	34,5
Fundação (não drenada)	20	0	31,9
Situação 2 – Com Reforço			
Rejeito (não drenado)	20	0	31,9
Dique (drenado)	20	5	34,5
Fundação (não drenada)	20	0	31,9

#### 4.5 Análises de Estabilidade Realizadas

##### 4.5.1 Análise de Estabilidade Externa

Foram realizadas análises de estabilidade externa com relação as seguintes possibilidades:

- Deslizamento da Estrutura;
- Tombamento da Estrutura;
- Capacidade de Carga da Fundação;
- Estabilidade Global da Estrutura.

Com relação a análise de estabilidade global, foi utilizado o método tradicional Fellenius (método das lamelas), por meio do *software* Slide da Rocscience.

##### 4.5.2 Análise de Estabilidade Interna

Para as análises realizadas com a inclusão de reforços (geogrelhas), foi utilizada a metodologia de Mitchell & Villet 1987, nos seguintes estados limites críticos:



- Ruptura do Reforço;
- Arrancamento do Reforço.

Foi considerado espaçamento entre inclusões de 1,0 m (valor estimado da altura entre tubos de geotêxtil no dique), variando-se no dimensionamento a resistência das geogrelhas ao longo da profundidade da estrutura, além do cálculo do comprimento mínimo necessário da inclusão.

## 5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 Situação 1 – Sem Reforço

Os resultados das análises realizadas no Modelo 1 para a situação 1 referentes a altura crítica da estrutura (H), bem como os fatores de segurança adotados (deslizamento, tombamento e capacidade de carga da fundação) e obtidos (estabilidade global) estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Alturas Críticas Obtidas das Análises e Fatores de Segurança Adotados e Obtidos para o Modelo 1 na Situação 1.

Análises de Estabilidade	H (m)	FS
Deslizamento	14,6	1,5
Tombamento	22,03	2,0
Capacidade de Carga de Fundação	17,98	2,0
Estabilidade Global (Fellenius)	6,0	1,59

A Figura 13 apresenta a análise de estabilidade global realizada para o Modelo 1 na situação 1, considerando a altura crítica de 6,0 m para um fator de segurança mínimo  $\geq 1,5$ .

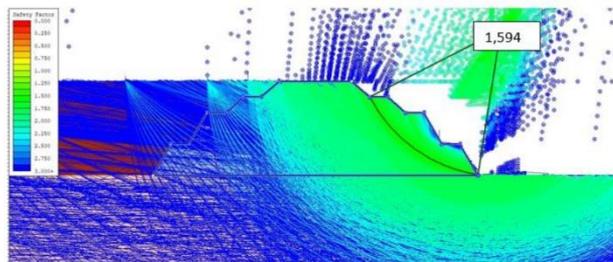


Figura 13. Análise de Estabilidade Global do Modelo 1 para a Situação 1, com Altura Crítica de 6,0 m.

Os resultados das análises realizadas no Modelo 2 para a situação 1 referentes a altura crítica da estrutura (H), bem como os fatores de segurança adotados (deslizamento, tombamento e capacidade de carga da fundação) e obtidos (estabilidade global) estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Alturas Críticas Obtidas das Análises e Fatores de Segurança Adotados e Obtidos para o Modelo 2 na Situação 1.

Análises de Estabilidade	H (m)	FS
Deslizamento	14,6	1,5
Tombamento	18,43	2,0
Capacidade de Carga de Fundação	17,98	2,0
Estabilidade Global (Fellenius)	10,0	1,64

A Figura 14 apresenta a análise de estabilidade global realizada para o Modelo 2 na situação 1, considerando a altura crítica de 10,0 m para um fator de segurança mínimo  $\geq 1,5$ .

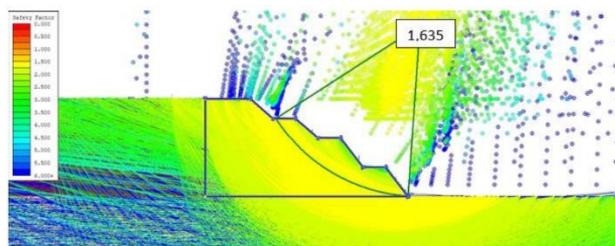


Figura 14. Análise de Estabilidade Global do Modelo 2 para a Situação 1, com Altura Crítica de 10,0 m.

### 5.2 Situação 2 – Com Reforço

As análises de estabilidade interna do Modelo 1 com relação a ruptura dos reforços e também



com relação ao arrancamento das inclusões ao longo da profundidade da estrutura são mostradas, respectivamente, nas Tabela 7 e 8.

Tabela 7. Análise de Ruptura dos Reforços para o Modelo 1 na Situação 2.

z (m)	$\sigma'_v$ (kPa)	$\sigma'_h$ (kPa)	$T_{adm}$ (kN/m)	GG
1,0	10	2,77	4,15	35
2,0	20	5,54	8,30	35
3,0	30	8,30	12,46	35
4,0	40	11,07	16,61	35
5,0	50	13,84	20,76	55
6,0	60	16,61	24,91	55
7,0	70	19,38	29,07	55
8,0	80	22,15	33,22	80
9,0	90	24,91	37,37	80
10,0	100	27,68	41,52	80
11,0	110	30,45	45,67	80
12,0	120	33,22	49,83	110
13,0	130	35,99	53,98	110
14,0	140	38,75	58,13	110

Em que:

z: Profundidade;  
 $\sigma'_v$ : Tensão Vertical no Reforço;  
 $\sigma'_h$ : Tensão Horizontal no Reforço;  
 $T_{adm}$ : Força Horizontal Admissível no Reforço;  
 GG: Modelo de Geogrelha Adotada.

Tabela 8. Análise de Arrancamento dos Reforços para o Modelo 1 na Situação 2.

z (m)	$L_i$ (m)	$L_a$ (m)	$L_a$ adotado (m)	L (m)
1,0	6,84	0,18	1,0	7,84
2,0	6,31	0,18	1,0	7,31
3,0	5,79	0,18	1,0	6,79
4,0	5,26	0,18	1,0	6,26
5,0	4,74	0,18	1,0	5,74
6,0	4,21	0,18	1,0	5,21
7,0	3,68	0,18	1,0	4,68
8,0	3,16	0,18	1,0	4,16
9,0	2,63	0,18	1,0	3,63
10,0	2,11	0,18	1,0	3,11
11,0	1,58	0,18	1,0	2,58
12,0	1,05	0,18	1,0	2,05
13,0	0,53	0,18	1,0	1,53
14,0	0	0,18	1,0	1,0

Em que:

z: Profundidade;  
 $L_i$ : Comprimento do Reforço na Zona Ativa;  
 $L_a$ : Comprimento do Reforço na Zona Ancorada;  
 L: Comprimento Mínimo do Reforço.

A Figura 15 mostra a análise de estabilidade global para o Modelo 1 na situação 2 com altura crítica de 14,0 m.

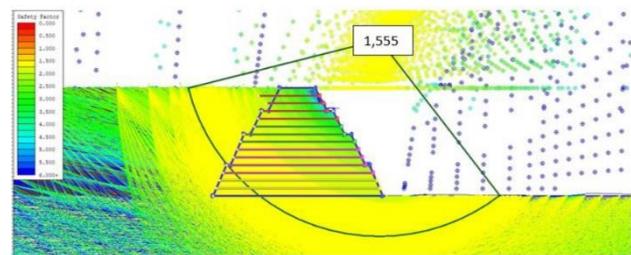


Figura 15. Análise de Estabilidade Global do Modelo 1 para a Situação 2, com Altura Crítica de 14,0 m.

As análises de estabilidade interna do Modelo 2 com relação a ruptura dos reforços e também com relação ao arrancamento das inclusões ao longo da profundidade da estrutura são mostradas, respectivamente, nas Tabela 9 e 10.

Tabela 9. Análise de Ruptura dos Reforços para o Modelo 2 na Situação 2.

z (m)	$\sigma'_v$ (kPa)	$\sigma'_h$ (kPa)	$T_{adm}$ (kN/m)	GG
1,0	10	2,77	4,15	35
2,0	20	5,54	8,30	35
3,0	30	8,30	12,46	35
4,0	40	11,07	16,61	35
5,0	50	13,84	20,76	55
6,0	60	16,61	24,91	55
7,0	70	19,38	29,07	55
8,0	80	22,15	33,22	80
9,0	90	24,91	37,37	80
10,0	100	27,68	41,52	80
11,0	110	30,45	45,67	80
12,0	120	33,22	49,83	110
13,0	130	35,99	53,98	110
14,0	140	38,75	58,13	110
15,0	150	41,52	62,28	110
16,0	160	44,29	66,43	200



Em que:

- z: Profundidade;
- $\sigma'_v$ : Tensão Vertical no Reforço;
- $\sigma'_h$ : Tensão Horizontal no Reforço;
- $T_{adm}$ : Força Horizontal Admissível no Reforço;
- GG: Modelo de Geogrelha Adotada.

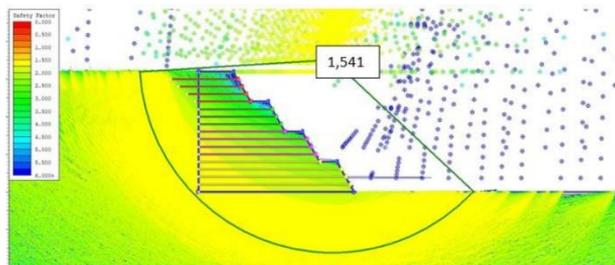


Figura 16. Análise de Estabilidade Global do Modelo 1 para a Situação 2, com Altura Crítica de 16,0 m.

Tabela 10. Análise de Arrancamento dos Reforços para o Modelo 2 na Situação 2.

z (m)	$L_i$ (m)	$L_a$ (m)	$L_a$ adotado (m)	L (m)
1,0	7,89	0,18	1,0	8,89
2,0	7,37	0,18	1,0	8,37
3,0	6,84	0,18	1,0	7,84
4,0	6,31	0,18	1,0	7,31
5,0	5,79	0,18	1,0	6,79
6,0	5,26	0,18	1,0	6,26
7,0	4,74	0,18	1,0	5,74
8,0	4,21	0,18	1,0	5,21
9,0	3,68	0,18	1,0	4,68
10,0	3,16	0,18	1,0	4,16
11,0	2,63	0,18	1,0	3,63
12,0	2,11	0,18	1,0	3,11
13,0	1,58	0,18	1,0	2,58
14,0	1,05	0,18	1,0	2,01
15,0	0,53	0,18	1,0	1,53
16,0	0	0,18	1,0	1,0

Em que:

- z: Profundidade;
- $L_i$ : Comprimento do Reforço na Zona Ativa;
- $L_a$ : Comprimento do Reforço na Zona Ancorada;
- L: Comprimento Mínimo do Reforço.

A Figura 16 mostra a análise de estabilidade global para o Modelo 2 na situação 2 com altura crítica de 16,0 m.

A Tabela 11 resume as alturas críticas (H) resultantes das análises realizadas com os Modelos 1 e 2 na situação 2.

Tabela 11. Resumo das Análises Realizadas com os Modelos 1 e 2 na Situação 2.

Modelo	H (m)	FS	GG
1	14,0	1,56	35, 55, 80 e 110
2	16,0	1,54	35, 55, 80, 110 e 200

## 6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o objetivo de descobrir as alturas críticas para os dois modelos de empilhamento foi alcançado. Dessa forma, é possível afirmar que a utilização de tubos de geotêxtil, como elemento de construção de diques auxiliares em barragem de rejeitos, aliviará as tensões no barramento principal, aumentando a segurança da barragem e evitando acidentes.

Após a comparação e verificação das diversas estabilidades, a altura crítica encontrada, para o Modelo 1 de empilhamento, foi de 6 m, sem a utilização de reforços geossintéticos. Com a utilização do reforço de geogrelha, foi possível encontrar um valor de 14 m. Para o Modelo 2 foi encontrada uma altura de 10 m de empilhamento sem a utilização de inclusões. Com o uso dos reforços, foi possível ganhar altura, atingindo 16 m.

Pode-se destacar que o Modelo 1 apresentou resultados de alturas inferiores, sendo o modelo mais crítico de análise. Já o Modelo 2 de empilhamento apresentou resultados mais elevados de altura, dessa forma sendo capaz de



armazenar mais rejeito, tanto dentro dos tubos como na região à montante do dique.

Vale ressaltar, que ambos os modelos analisados, foram calculados para uma base de 4 tubos de geotêxtil, possuindo aproximadamente 20 m de comprimento, sendo, então, uma dimensão pequena e de fácil aplicação para a construção de um dique auxiliar real. Caso a base dos diques auxiliares fossem maiores, ou menores, haveria uma alteração nos resultados obtidos; porém, é possível encontrar todas as alturas críticas, pelos mesmos métodos de cálculo e análise utilizados, para a base principal de 4 tubos de geotêxtil.

Em suma, os valores encontrados foram satisfatórios, por serem de grandes dimensões, fazendo com que os diques auxiliares possam barrar significativas quantidades de rejeito. É necessário ressaltar, que foi considerada uma altura de 1 m para cada tubo de geotêxtil, porém, esse valor pode oscilar levemente quando o mesmo é utilizado em obra.

Para trabalhos futuros, sugere-se um estudo voltado à trabalhabilidade da execução e empilhamento dos tubos de geotêxteis, destinados à barragem de rejeitos. Além disso, também é sugerido o estudo aprofundado dos recursos mecânicos para o preenchimento dos tubos, podendo haver, então, uma análise de viabilidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro Dr. Carlos Vinicius Benjamin, pela participação na banca examinadora do trabalho de conclusão do curso e contribuição com seus comentários, que ajudaram a melhorar o trabalho.

À engenheira Jocasta Lopes Demartini, pelo auxílio com o manuseio do software Slide.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 10319 (2013). Geossintéticos - Ensaio de Tração Faixa Larga, Rio de Janeiro.

- ASTM D4491 (2017). Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity, Philadelphia.
- ASTM D4751 (2016). Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile, Philadelphia.
- ARAUJO, C. B. de (2006). Contribuição ao Estudo do Comportamento de Barragens de Rejeito de Mineração de Ferro, Universidade do Rio de Janeiro.
- CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. (2016). Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração – uma revisão. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MITCHELL, J., & VILLET, W. (1987). Reinforcement of earth slopes and embankments. National Cooperative Highway Research Program Report n.290.
- OBER S.A. (2018). Fotografia fornecida pela empresa.
- RAFAEL, H. M. A. M. (2012). Análise do potencial de liquefação de uma barragem de rejeito. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ.
- SAMARCO. Barragens. Disponível em: <<http://www.samarco.com/barragens/>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- VERTEMATTI, J. C. (2015). Manual Brasileiro de Geossintéticos. 2. Ed. São Paulo, SP: Blucher.