

Received:
September 28, 2020

Accepted:
October 15, 2020

Published:
November 1, 2020

Study of alternative containment for an unstable rail slope in the state of Pará - Brazil

Cléber Moreira de Almeida¹ , Guilherme Jorge Brigolini Silva¹ , Thiago Bomjardim Porto² 

¹ Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.

² Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Curvelo, Brasil.

Email address

almeidacleber@yahoo.com.br (Cléber M. Almeida) – Corresponding author.

guilhermebrigolini@ufop.edu.br (Guilherme J.B. Silva)

thiago.porto@cefetmg.br (Thiago N. Porto)

Abstract

Studies on landfill containment, which support structures like a railroad, still have restricted alternatives in Brazil. In 2016, in the state of Pará/ Brazil, the construction of a railway was completed. In the following year, cracks were observed on the crest of the embankment slope. The objective was to evaluate, based on geotechnical investigation, the best engineering solution to contain the instability of the slope under study, through a containment solution. From this study, to cover stability, a retaining wall can be built as a solution, which represents the best cost of implementation and maintenance during the useful life of the asset. It is also suggested that periodic technical inspections be carried out on the surface of the access road and on the sides of the railway platform.

Keywords: Containment, Embankments, Instability, Railways, Stabilization solutions.

1. Introdução

A análise e o controle de instabilizações de taludes e encostas têm seu amplo desenvolvimento com grandes obras civis modernas, em paralelo à consolidação da Geotecnia e da Engenharia Civil (Carvalho, 1991; Chowdhury, 2010).

Os taludes ou encostas naturais são definidos como superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solos e rochas), originados de processos geológicos e geomorfológicos diversos. Podem apresentar modificações antrópicas, tais como cortes, desmatamentos, introdução de cargas (Griffiths e Lane, 1999; Magalhães, 2016).

As características técnicas de estradas e ferrovias exigem, em região montanhosa, predominância de estruturas de contenção atirantadas de grande porte e, por vezes, executadas em taludes de corte e aterros.

Estudos voltados para a contenção de aterros, que suportam estruturas como uma ferrovia, ainda possui no mercado brasileiro, alternativas restritas, sendo utilizadas soluções do tipo padrão na maioria

dos casos (Nelson Júnior, 1998). Para tanto, obras de contenção são caracterizadas por oferecer resistência à movimentação ou ruptura.

A escolha correta da solução a ser empregada é essencial para a segurança estrutural e a viabilidade econômica. Sendo assim, é necessário estabelecer uma interface entre os conhecimentos geotécnico, estrutural, orçamentista e de produção com o objetivo de obter uma solução segura e com o melhor custo-benefício (Oliveira, 2010; Riberio, 2012).

Sabe-se que a definição da técnica a ser adotada no tratamento da instabilidade deve sempre partir das soluções mais simples e de menor custo, só adotando outras mais complexas e caras quando as primeiras se mostrarem inviáveis ou inadequadas (Stochalak, 1984).

1.1. Aspecto situacional

Em dezembro de 2016, no sudeste do estado do Pará/Brasil, foi finalizada a construção de trecho de uma ferrovia. Já em fevereiro de 2017, foi

observado o aparecimento de trincas na crista do talude de aterro (Figura 1), entre a plataforma e o talude lateral esquerdo e abatimento da plataforma ferroviária.

Embora as escavações tenham sido de menor magnitude, ficou ainda assegurado que a plataforma ferroviária ficasse apoiada em solo competente.



Figura 1 – Vista panorâmica do ativo e trinca entre o talude lateral esquerdo e a plataforma. Pará, Brasil. 2020.

Ao avaliar condições como as descritas, é imperativo que seja traçado um projeto adequado às peculiaridades locais e que seja suficiente ao controle dos fenômenos envolvidos no caso que o demande. A adoção de técnica de estabilização sem o real conhecimento do problema, mesmo se suficiente ao momento, pode não resolver a situação de forma eficaz.

Neste sentido, o estudo de processos de estabilização de taludes e suas formas de contenção são cada vez mais necessários e têm sido desenvolvidos (Terzaghi, 1950; Ribeiro, 2012). Assim, este projeto apresenta alternativas de contenção de um talude ferroviário, resultante de uma intervenção antrópica para a construção de uma ferrovia localizada no sudeste do estado do Pará. O objetivo geral do estudo foi avaliar, com base em investigação geotécnica, uma alternativa de solução de engenharia para conter a instabilidade do talude em estudo, através de uma solução de contenção.

2. Descrição geral

No talude de estudo (Figura 2), o traçado da ferrovia foi implantado em uma encosta alta, já próximo à calha de um rio Parauapebas. A seção transversal de terraplenagem da via é de meia-encosta, com o corte, à esquerda da ferrovia, banqueteadado, com alturas totais máximas superiores a 60m.



Figura 2 – Foto panorâmica do local de estudo detalhando o talude de aterro instável. Pará, Brasil. 2020.

A implantação da via férrea atravessa talvegues (Figura 3) de alimentação da calha do Rio Parauapebas, sendo um deles de grande expressão.



Figura 3 – Canais de drenagem superficiais. Pará, Brasil. 2020.

As faces do corte se apresentam, predominantemente, em solo saprolítico e residual jovem. Está implantado nos taludes de corte um grande conjunto de obras de contenção em contrafortes e paredes/cortinas atirantadas.

No trecho em aterro da seção, lado direito da ferrovia (Figura 4), de grande altura e excessivamente íngreme, que o talude mostrava importantes sinais de instabilização, não por acaso, mais pronunciados no entorno da linha de travessia do talvegue, apareciam neste trecho, com nitidez, sinais de abatimento da plataforma ferroviária.

Nota-se, ainda, o talude do aterro para baixo da plataforma superficialmente em desagregação, podendo ser observadas inclinações de árvores, todo o cenário concordante com um quadro geral de instabilização.

A seção transversal em aterro foi palco de uma ocorrência de uma ruptura (Figuras 5 e 6), em que a trinca se encaminha na direção do ombro de lastro, indicando mobilização da massa até junto da linha férrea.



Figura 4 – Plataforma com abatimento de formação de superfície de ruptura em foto à esquerda e talude do aterro excessivamente íngreme à direita. Pará, Brasil. 2020.

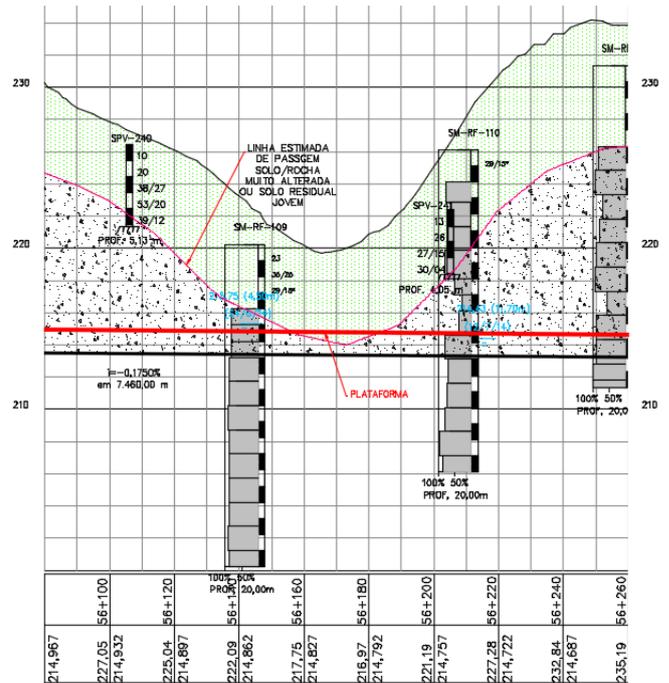


Figura 7 – Perfil Longitudinal estimado, obtido com a empresa responsável pela operação da ferrovia. Pará, Brasil. 2020.



Figura 5 – Ruptura do talude do aterro. Pará, Brasil. 2020.



Figura 6 – Trinca na plataforma. Pará, Brasil. 2020.

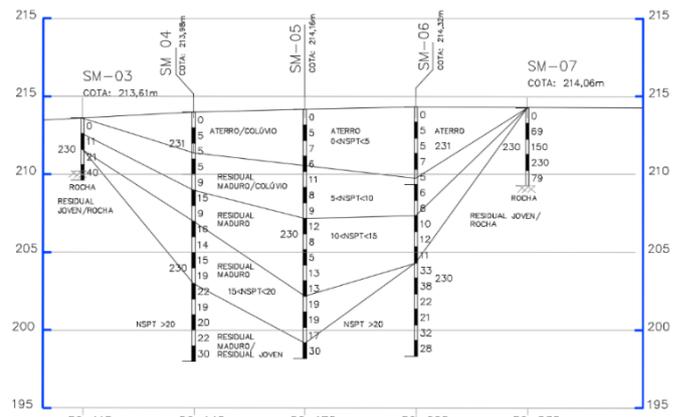


Figura 8 – NSPTs realizados no talude de estudo. Pará, Brasil. 2020.

3. Descrição da solução proposta

Estruturas de contenção são destinadas a contrapor-se a tensões geradas em maciço cuja condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação, corte ou aterro. Diante disso, para se garantir a estabilidade da área foi proposto um estudo de execução de um muro de contenção como solução (Figura 9).

Além da execução do muro, também será proposto o tratamento do topo da contenção com solo-cimento compactado, isto servirá de selo impermeável e dificultará a percolação de água no tardo do muro. Esta solução, como descrita em literatura, consiste em reforçar o talude, evitando assim a degradação na zona crítica face à

Ainda, foram realizadas injeções de calda de cimento em 126 pontos na plataforma ferroviária, junto à pista de acesso rodoviário, na região de ruptura.

Considerando o histórico descrito e os resultados das sondagens mais recentes (Figuras 7 e 8), feitas para caracterizar o aterro, ficou constatado que o mesmo tem valores baixos de Nspts, ou seja, da ordem de 5 golpes, isso caracteriza o aterro como sendo pouco compactado.

Após a ruptura, o talude remanescente encontrou uma nova geometria de estabilização e é necessário admitir que o mesmo apresenta estabilidade não satisfatória.

estabilidade e servindo como resistência adicional (Terzaghi, 1950).

Na frente da contenção, o platô remanescente deverá ser protegido com cobertura vegetal. Além disso, em uma faixa de 1 metro do pé do muro, deverá ser executado um calçamento de concreto armado para proteger o terrapleno contra a ação da água.

3.1. Dimensionamento da contenção

A contenção será executada por meio de metálicos, que na primeira fase de execução trabalharão em balanço com um desnível de no máximo 2 metros (Figura 10).

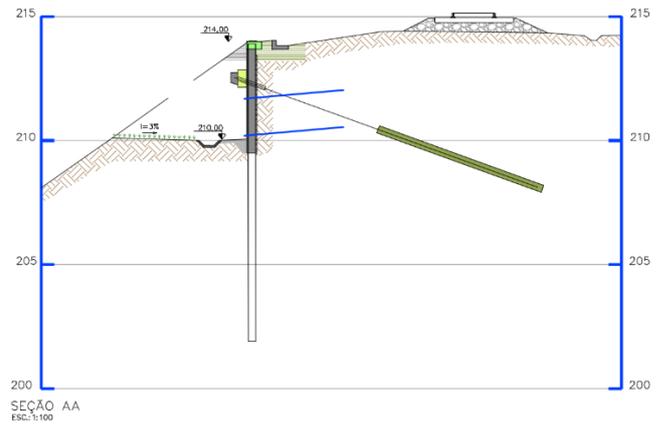


Figura 9 – Seção esquemática da solução a ser considerada para contenção. Pará, Brasil. 2020.

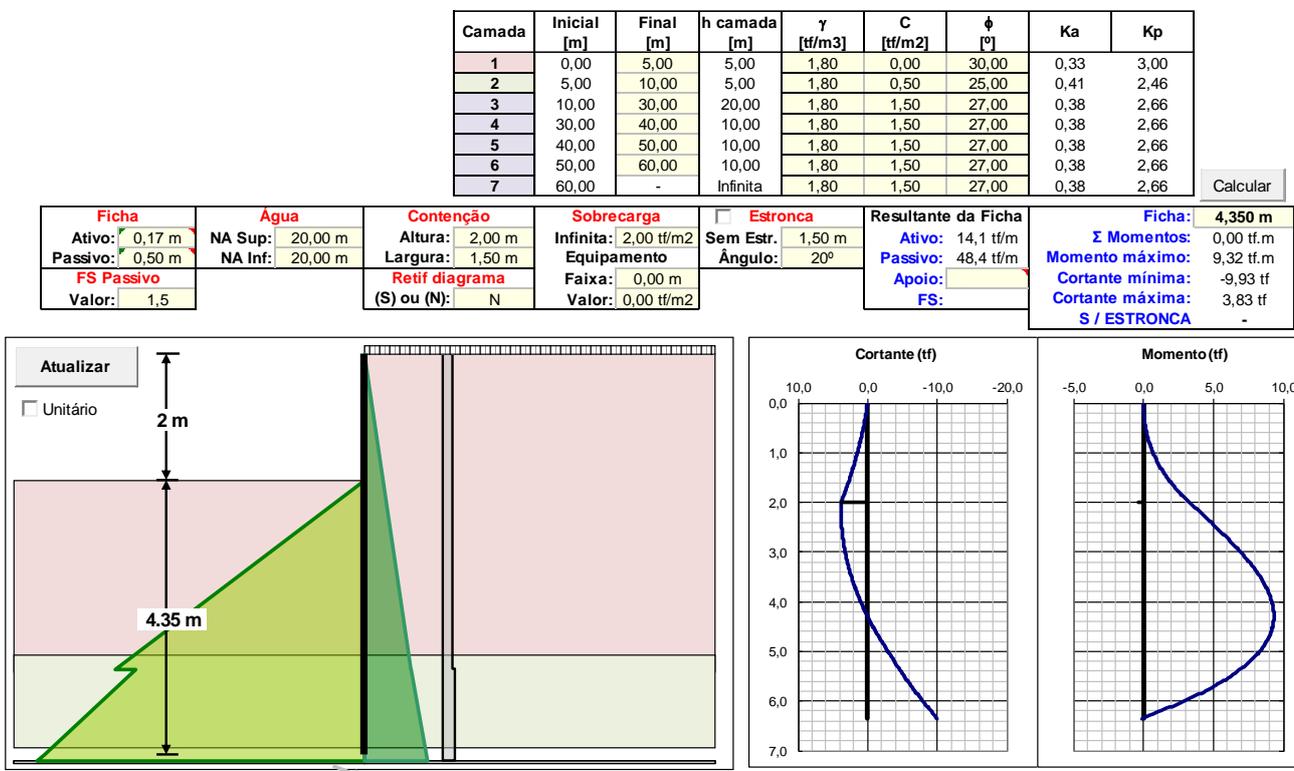


Figura 10 – Fase 1: Contêncões em balanço com altura de 2 metros. Pará, Brasil. 2020.

Legenda: $M_k = 9,32\text{tf.m}$ ($10 K_n = 1\text{tf}$); $V_k = 3,83\text{tf}$; Ficha mínima = $4,36 * 1,2 = 5,23\text{m}$; Comprimento mínimo do perfil = $2 + 5,23 = 7,23\text{m}$ - adotado $7,50\text{m}$

Na segunda fase, a parte superior do paramento será concretada e os tirantes serão executados e incorporados ao muro. A contenção da situação final terá 4 metros de altura (Figura 11), contudo, devido a necessidade de embutir 50cm do paramento abaixo do pé da contenção, o processamento será realizado com 4,5 metros de altura.

Os tirantes gerarão um nível de travamento a 1,5 metros de altura, o que permitirá o avanço da

escavação por mais dois metros e a finalização do muro, que terá no total 4 metros de altura.

Para o dimensionamento dos elementos que compõem a contenção - paramento, perfil metálico, e viga longarina - empregou-se o método de Blum com ficha descontínua. Neste método, determina-se o comprimento da ficha no trecho de perfil abaixo da parede de contenção, necessário para equilibrar os esforços horizontais gerados pelos empuxos de solo (passivo e ativo).

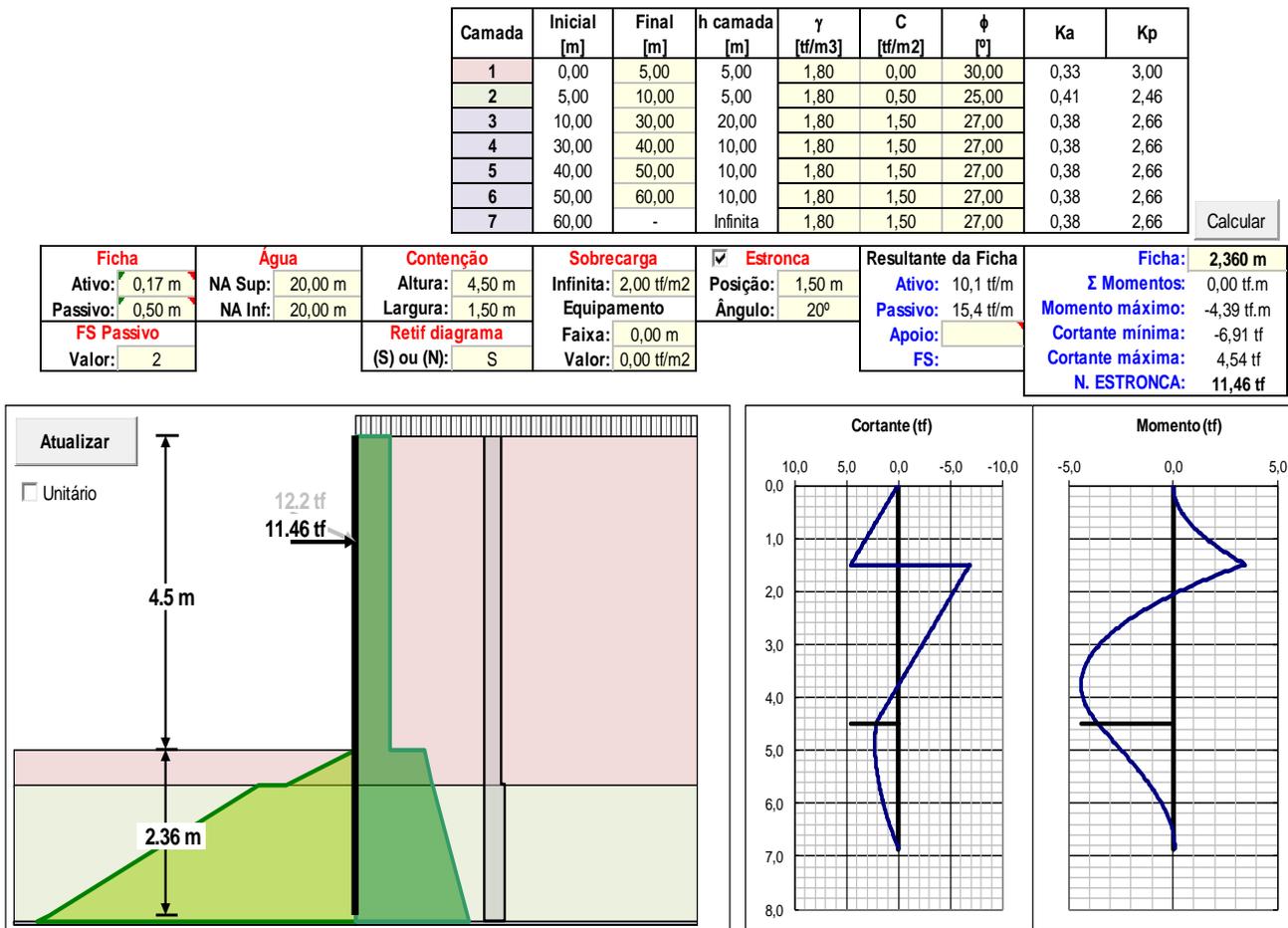


Figura 11 – Fase 2: Contenção travada a 1,5 metro do topo e com 4 metros de altura. Pará, Brasil. 2020.

Legenda: $M_k = 4,39$ tf.m (10 Kn=1tf); $V_k = 6,91$ tf; $Q_{tir} = 12,2$ tf/1,5m = 8,13tf/m; Ficha mínima = 2,36 ~2,5m; Comprimento mínimo do perfil = 4,5+2,5 = 7,0 m.

Do resultado do processamento, obtém-se o comprimento mínimo de ficha, os esforços solicitantes no paramento e os esforços no nível de travamento.

Por se tratar de um método iterativo, os cálculos foram feitos por meio de planilha eletrônica. É importante salientar que não foram feitas análises de estabilidade da condição inicial, visto que o local já apresenta sinais claros de fator de segurança insuficiente, contudo, será realizada análise de estabilidade na condição final para verificar a estabilidade global da contenção.

4. Parâmetros geotécnicos e verificação da estabilidade global

Os parâmetros de resistência foram tomados com base em solos correlatos. A respeito da camada de aterro, obteve-se o N_{spt} (golpes) de 5 a 7, peso específico de 1,80 tf/ m³, zero de coesão e ângulo de atrito correspondendo a 30°.

Devido ao afastamento da ferrovia em relação a contenção, não ocorrerá interferência com o bulbo de propagação de tensões gerado pela passagem do trem. Dessa forma, a sobrecarga de ferrovia será desconsiderada no dimensionamento do muro e será admitido apenas a sobrecarga da pista de manutenção de 20kPa.

A sobrecarga ferroviária foi calculada considerando o peso do vagão carregado majorado pelo fator de impacto e distribuído em uma área de influência de dois truques consecutivos de dois vagões (Figura 12), sendo:

Peso da composição:

Peso por eixo do vagão tipo GDT – 40tf

Peso total considerando 4 eixos de dois truques consecutivos = 1600Kn

Fator de impacto = 1,43

Peso total = 1600 Kn * 1,43 = 2288,0 Kn

O peso dos truques será distribuído em uma faixa cuja largura equivale ao comprimento do dormente – 2,8m. Para o comprimento de influência será considerada a distância entre os truques consecutivos de 2 vagões e mais 4 dormentes para frente e 4 para trás, ou seja:

$$L=4,37+1,83+2*(0,61*3+0,265/2)=10,125m$$

$$\text{Área de distribuição}=10,125*2,8=28,35m^2$$

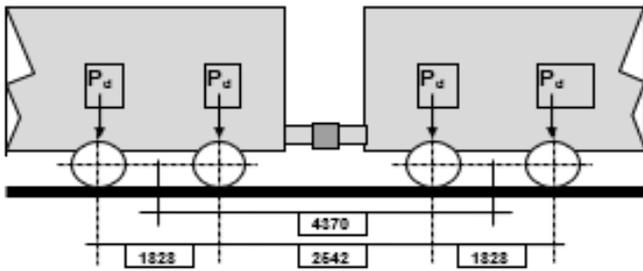


Figura 12 – Truques e vagões. Pará, Brasil. 2020.

A análise de estabilidade será verificada pelos métodos de Bishop, Morgenstern Price e Spencer,

nas condições com e sem a presença de uma linha freática fictícia gerada pela infiltração da água de chuva no terreno (Figura 13).

Também, foi analisado que a linha freática estabelecida pela água de chuva satura uma camada de solo com espessura de 2 metros, além disso, foi considerado que os DHPs drenam a água que infiltra dentro do maciço evitando que ela gere tensões hidrostáticas contra a contenção. Na figura 14, a camada de solo saturada é representada na análise pelas cores verdes mais intensas posicionadas logo abaixo da linha freática. Na Figura 15 temos as atividades de execução do muro de contenção e na Figura 16 a conclusão da sua construção.

Há que se comentar que esta verificação guarda um certo conservadorismo, visto que entre a rocha e o solo residual existe uma zona de transição de rocha decomposta e muito fraturada que é altamente permeável. Esta zona, é um dreno natural que permite que o fluxo principal de percolação seja no sentido vertical/subvertical, de modo que parte da água infiltrada seja drenada antes chegar na contenção.

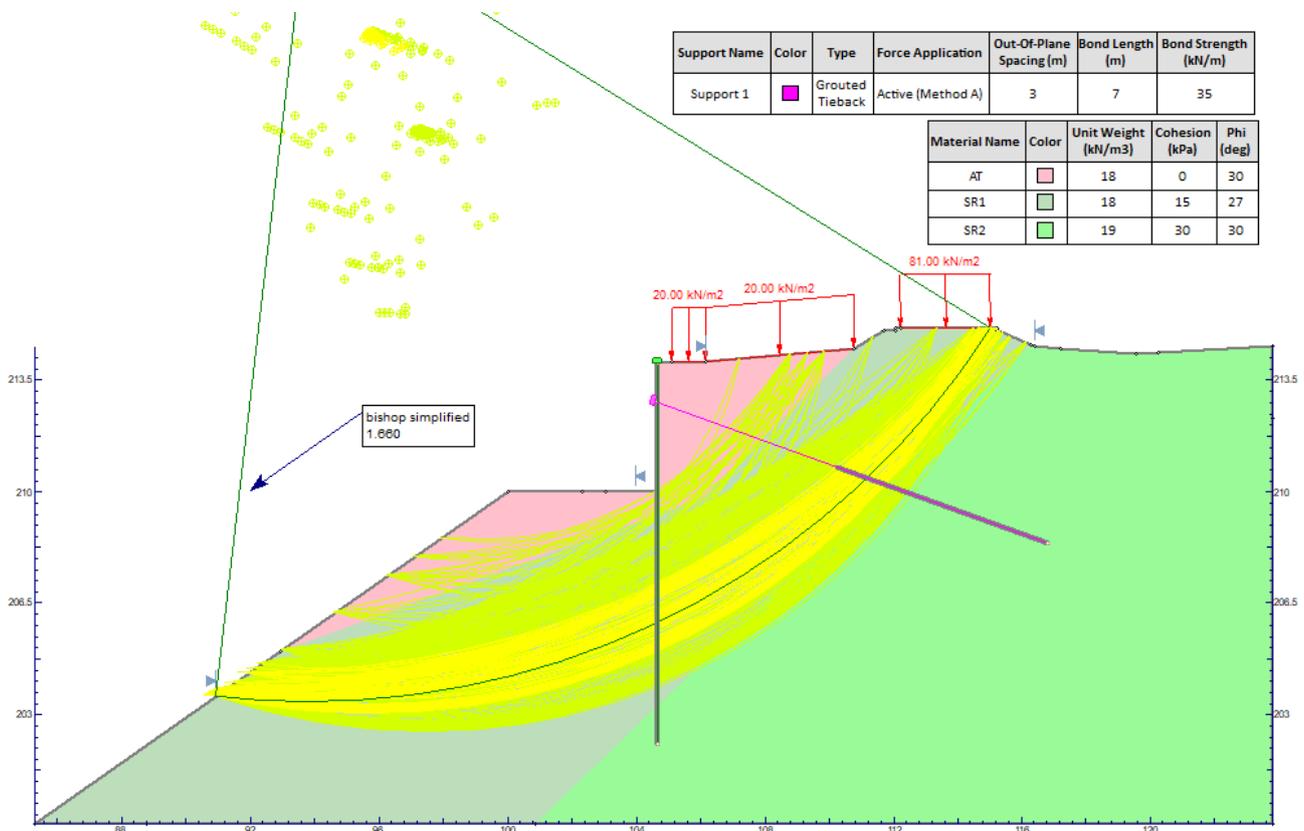


Figura 13 – Condição sem nível d'água. Pará, Brasil. 2020.

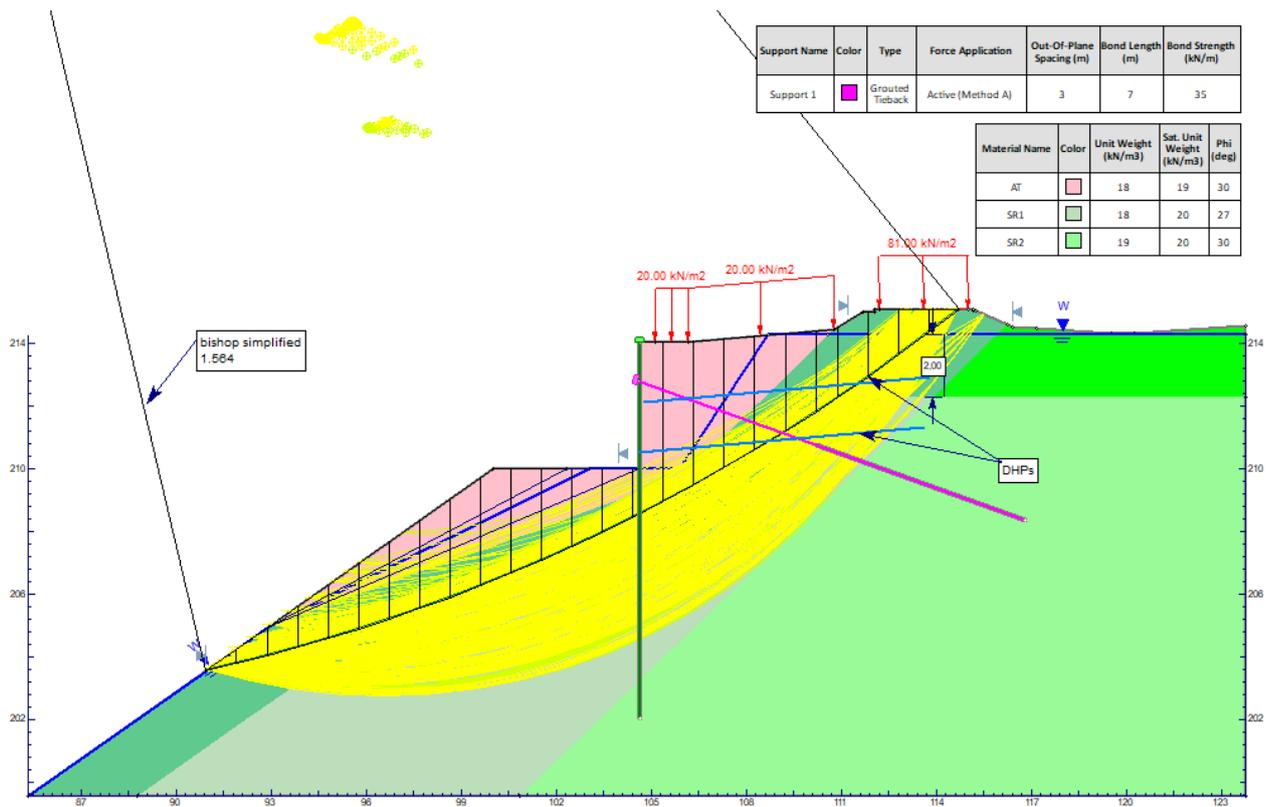


Figura 14 – Condição com nível d’água fictício. Pará, Brasil. 2020.



Figura 15 – Atividades de execução do muro de contenção. Pará, Brasil. 2020.



Figura 16 – Muro de contenção concluído, Pará, Brasil. 2020.

4. Execução da obra

Após validação do projeto pela empresa responsável pela operação da ferrovia, foi realizada a contratação dos serviços necessários à execução das obras civis. As obras foram iniciadas em março de 2020 e duram 6 meses. O efetivo médio utilizado

foi de 45 pessoas, trabalhando de segunda a sábado (44 horas semanais), contatando com veículos de apoio, equipamento de Bate Estaca e Perfuratrizes para a construção dos tirantes.

O investimento inicial previsto era de R\$ 8.156.900,00, no momento da contratação dos serviços. Este valor foi revisado em função do

cenário de pandemia que o Brasil passou no ano de 2020, exigindo o pagamento adicionais por conta de mobilização de mão de obra extra, para suprir a equipe afastada por Covid 19.

A conclusão da obra antes do próximo período chuvoso era condição para garantir estabilidade e segurança à operação ferroviária, fato que o adicional de aproximadamente R\$ 1.000.000,00 foi absorvido pela empresa responsável pela operação da ferrovia.

5. Resultado obtido

A conclusão da obra do muro de contenção possibilitou o confinamento do aterro que sustenta a ferrovia em questão. A obra robusta garantirá maior segurança operacional à ferrovia, evitando que movimentos de massa possam causar recalques diferenciais ao longo do trecho, empenos horizontais da linha, que poderiam provocar um acidente ferroviário (descarrilamento) de grande magnitude, interrompendo da circulação de trens, provocando danos ambientais ou mesmo a perda de vidas humanas.

Durante os próximos 36 (trinta e seis) meses o local será instrumentado com piezômetros, medidores de nível de água e marcos topográficos. Com os resultados será possível avaliar a influência da água no solo sobre a estrutura e a movimentação lateral e vertical da estrutura construída, principalmente se os tirantes instalados estão exercendo sua função de ancoragem.

O cronograma de execução foi cumprido, uma vez que a estrutura está apta a passar pelo próximo período chuvoso que se inicia em outubro.

O orçamento inicial da obra foi sofreu um incremento de aproximadamente 12%, por conta de ajustes necessários, decorrentes do momento de pandemia pelo Covid 19.

A solução utilizada se mostrou adequada para a situação exposta. A estrutura não exigirá manutenção especializadas nos próximos 5 (cinco) anos. Este fato é relevante uma vez que a obra foi implantada em uma área remota, onde não há serviços especializados na região para atender uma demanda pontual de forma imediata.

Além da instrumentação, serão realizadas inspeções técnicas periódicas das equipes de manutenção de infraestrutura ferroviária para observar o comportamento do muro de contenção, a superfície da via de acesso e nas laterais da plataforma ferroviária considerando que toda

proposta de melhoria da estabilidade de um talude deve ser precedida pela identificação dos fenômenos reais ou potenciais de instabilização.

Referencias

Carvalho, P.A.S., 1991. *Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e solução de seus problemas*. São Paulo: IPT.

Chowdhury, R. and Rao, B.N., 2010. *Probabilistic stability assessment of slopes using high dimensional model representation*. Computers and Geotechnics, 37(7-8), pp.876-884. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.07.007>

Griffiths, D.V. and Lane, P.A., 1999. *Slope stability analysis by finite elements*. Geotechnique, 49(3), pp.387-403. <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.3.387>

Magalhães, T.A. and Azevedo, C.P.B., 2016. *Análise Técnica e Econômica de Estruturas de Contenção de Taludes*. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. COBRAMSEG.

Nelson Júnior, I.; Nilton Filho, F. *Processos de dinâmica superficial*. In: *Geologia de engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131–152.

Oliveira, N.C., 2010. *Soluções para a estabilização de taludes em linhas férreas*. Mestrado. Universidade do Porto.

Ribeiro, F.S., 2012. *Proposta de metodologia para estudos geotécnicos em projetos de pavimentos ferroviários*. Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.

Stochalak, J., 1974. *The classification of slope deposit from engineering geological point of view*. International Congress of Engineering Geology. São Paulo: IAEG. 2, 27, pp.1-12.

Terzaghi, K., 1950. *Mecanismos de escorregamento de terra*. Tradução de Ernesto Pichler. São Paulo: Grêmio Politécnico.