

Estudo comparativo entre estruturas de contenção em rocha fraturada.

Ary Franck Baia Cordeiro

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, ary@dinamiza.eng.br

Ana Carolina Portela Costa

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, ana.c@dinamiza.com.br

Julián Buriticá García

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, julian@dinamiza.com.br

Renato Pinto da Cunha

Universidade de Brasília-UnB, Brasília-DF, Brasil, rpcunha@unb.br

Leonardo Campos Dias

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, leocampos.enc@hotmail.com

Caio Henrique Gomes Moreira

Dinamiza Consultoria e Engenharia Ltda, Brasília-DF, Brasil, caio@dinamiza.eng.br

Marcus Vinicius da Costa Ferreira Tavares

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT, Brasília-DF, Brasil, marcus.vcft@gmail.com

RESUMO: O traçado ferroviário apresenta diversas diferenças quando comparado ao rodoviário, devido as características físicas das locomotivas e ao seu uso as ferrovias necessitam de trechos mais longos em tangente além de curvas verticais mais restritas para não prejudicar a capacidade de reboque da locomotiva. O presente trabalho refere-se a um estudo comparativo de diferentes alternativas para determinação de solução de contenção em uma obra destinada ao corpo de aterro ferroviário com taludes de altura máxima de nove metros assente em rocha fragmentada e friável, de espessura de quatro metros, coberto por um manto de silte arenoso com pouca argila e pedregulho. Neste segmento, o traçado ferroviário se desenvolve sobre um embasamento geológico composto por migmatitos e ortoderivados com expressivas intrusões da série máfica e ultramáfica. Em função de solicitações geológicas pretéritas, decorrentes dos sistemas de esforços geológicos atuante sobre o ambiente geotectônico em estudo, o embasamento gnáissico encontra-se fortemente fraturado, com presença de descontinuidades estruturais marcantes, tais como diáclases de corte e fraturas de cisalhamento, o que dificulta a solução de fundação adotada. A solução inicialmente concebida em projeto contempla um Muro em Terra Armada com aproximadamente 200 m de extensão, com uma altura variando entre 1,70 m a 9,00 m, porém existiam dificuldades construtivas decorrente da escavação para o escalonamento necessário para a viabilização de esta solução ser realizado a fogo, e esta técnica não possibilita um nível de acabamento adequado para o assentamento longitudinal das soleiras em patamares curtos da ordem de 1,5 m. Para a tomada de decisão foram considerados os dimensionamentos de um muro de arrimo e de uma contenção em terra armada, levando em conta a metodologia executiva, custo e prazos. Os cálculos foram realizados para a estrutura de terra armada com a sobrecarga gerada pelo trem carregado e sem essa sobrecarga. A análise das cargas e

dos empuxos de terra atuando sobre o muro foi realizada no software Geo4 da Fine Softwares com os módulos Earth pressures e Blockwall. A solução que melhor se adequou as condições do terreno, atendendo todos os requisitos de segurança foi a Terra Armada com patamares longos assente sobre um bloco de concreto ciclópico ancorado.

PALAVRAS-CHAVE: Terra Armada, Muro de Arrimo, Estruturas de CONTENÇÃO, Rocha Fraturada.

1 INTRODUÇÃO

Com frequência podem-se verificar prejuízos aos usuários e ao Poder Público causados por danos em taludes rodoviários. Danos esses devido a processos de instabilização de massas, como erosões, escorregamentos e recalques.

O estudo geológico-geotécnico fornece importantes ferramentas para o entendimento do terreno e dos fenômenos que ali podem ocorrer devido às intervenções que ocorrem neste tipo de obra, permitindo assim que sejam adotadas soluções que garantam a integridade da via e a segurança de seus usuários.

A escolha do tipo de intervenção é resultado de todo processo de estudo e caracterização do local, e as intervenções devem atuar no causador das instabilizações. A solução inicialmente adotada deve ser a mais simples e barata, porém deve ser implantada aquela que melhor atenda as necessidades do problema levantado (IPT, 1991).

Neste segmento, o traçado ferroviário se desenvolve sobre um embasamento geológico composto por migmatitos e ortoderivados com expressivas intrusões da série máfica e ultramáfica. Em função de solicitações geológicas pretéritas, decorrentes dos sistemas de esforços geológicos atuante sobre o ambiente geotectônico em estudo, o embasamento gnáissico encontra-se fortemente fraturado, com presença de descontinuidades estruturais marcantes, tais como diáclases de corte e fraturas de cisalhamento. Sobre este embasamento ocorrem solos predominantemente silteosos, ficando restritas às áreas de intrusão máfica a ocorrência de solos argilosos.

O material recuperado das sondagens (Figura 1) apresenta-se descolorido, com característica friável, cristais fissurados com texturas e estruturas preservadas e sinais de

decomposição, sendo assim classificado como Material Rochoso Extremamente Alterado com índice de qualidade da rocha muito pobre (RQD = 0), até a altura de 8,94 m.



Figura 1. Testemunho da sondagem

Na Figura 2 pode-se ver o terreno em questão, este apresenta grande inclinação, pouca vegetação, bastante afloramento de rochas e muitos blocos rolados, característicos de material bastante fraturado e alterado.



Figura 2. Vista real do terreno.

Inicialmente a solução concebia um Muro em Terra Armada com uma altura variando entre 1,77 m a 9,05 m, numa extensão aproximada de 213,72 m. Porém foram encontradas dificuldades na execução, decorrente do escalonamento necessário para a viabilização desta solução ser realizado a fogo. Conforme os dados de campo, e fotos ilustrativas (Figura 2), o solo configura-se como fragmentado do primeiro metro da sondagem, e evolui até os 8,94 m como material muito fraturado. A execução do escalonamento necessário para o assentamento das soleiras da Terra Armada torna-se uma prática extremamente morosa em materiais com este nível de fraturamento; já para patamares curtos, como os apresentados em projeto, este procedimento chega a ser inviável. Ocorre que, esta técnica de escavação não possibilita um nível de acabamento adequado para o assentamento longitudinal das soleiras, em

patamares curtos, da ordem de 1,5 m. Também foi estudada a possibilidade da construção de um muro de arrimo, porém este teria alturas superiores a 5m, o que tornou esta solução ineficiente.

Após análises geomorfológicas e geotécnicas, percebeu-se a necessidade de se realizar melhoria nas fundações das estruturas de contenção e optou-se por uma solução de muro de contenção em terra armada com patamares longos (comprimentos maiores a 6m), assente em base de concreto ciclópico ancorado.

2 ALTERNATIVAS ESTUDADAS

2.1 Muro de Arrimo

Os muros de arrimo são soluções relativamente simples e amplamente adotadas, eles podem ser robustos e usar seu peso próprio para segurar o terreno adjacente ou mais esbeltos e usarem o peso do aterro que se apóia sobre a sua base para resistirem aos empuxos por flexão.

A solução de muro aqui adotada foi um muro de concreto de 8,56m de altura com um bloco de concreto ciclópico de 2,56m, conforme a figura 3.

Devido a limitações no patamar não havia espaço suficiente para que a base do muro apresentasse as dimensões necessárias para garantir sua estabilidade, então utilizou-se chumbadores para ancorar a estrutura na rocha e

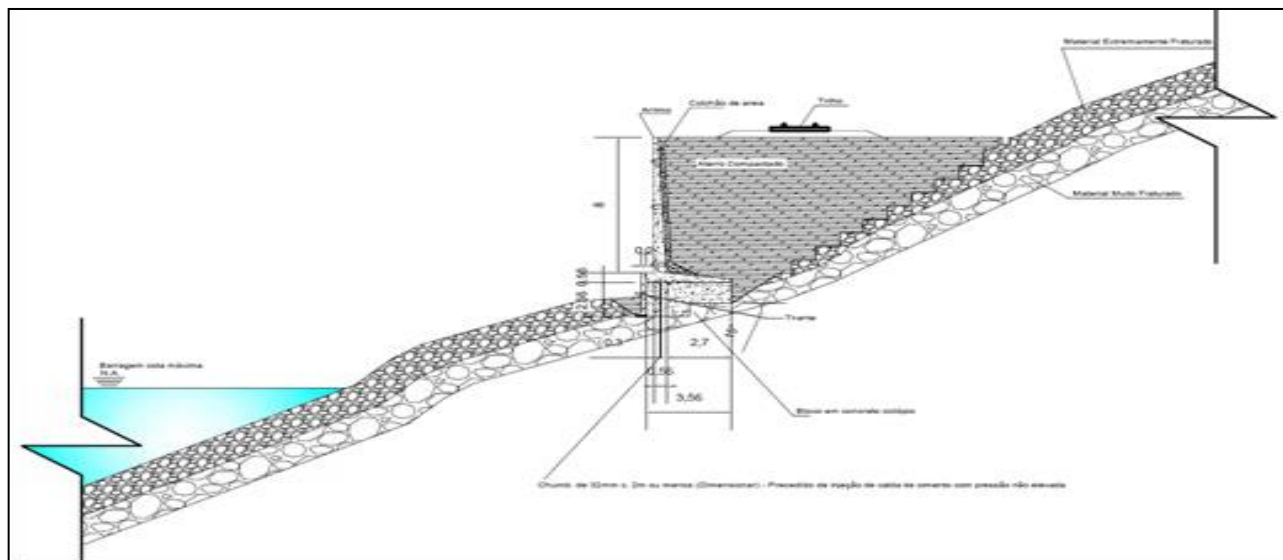


Figura 3. Muro de Arrimo pré-dimensionado como proposta alternativa de solução.

melhorar sua estabilidade.

Apesar de esta solução ser mais simples de executar e não necessitar de equipamentos muito sofisticados, não foi escolhida para ser implementada, pois muros de flexão com alturas acima de 5m tornam-se inviáveis porque sua base se torna muito grande e sua estrutura deve ser reforçada com vigas ou usa-se contrafortes armados, tornando a obra mais cara e acrescentando mais etapas em sua execução.

2.2 Terra Armada com Patamares Longos

A terra armada é um sistema construído pela agregação do solo de aterro, bem como suas propriedades geomecânicas adequadas, armaduras (tiras-metálicas ou não) flexíveis horizontais dentro do aterro e uma pele (face ou paramento também denominado) flexível externa, na qual se fixam as armaduras e limita-se o volume do aterro (ABNT, 1986). Ou seja, a terra armada (figura 4) é uma estrutura muito particular de solo reforçado, principalmente devido ao uso de tiras metálicas.

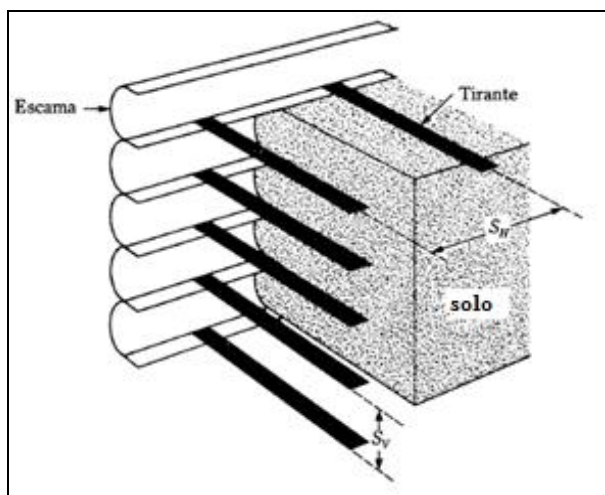


Figura 3. Seção típica de um Muro de Terra Armada (DAS, 2001).

Esta técnica permite que o solo tenha maior capacidade de resistir aos esforços de tração, pois as tiras metálicas distribuem uniformemente os esforços através do atrito, formando uma massa de solo estável. As tiras são presas às escamas por parafusos, as escamas adotadas nesta solução são constituídas por placas de concreto, pré-moldadas, que se encaixam nas demais para formar uma parede.

3 SOLUÇÃO ADOTADA

Os cálculos e dimensionamentos tomaram por base as diretrizes da Norma Brasileira 9286 (ABNT, 1986) Especificações Terra Armada, e as formulações citadas por Das (2001). Os cálculos foram realizados para a estrutura de terra armada com a sobrecarga gerada pelo trem carregado e sem essa sobrecarga. Segundo prescrições da norma NBR 7189 (ABNT, 1985) Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias. E seguindo as considerações para o trem tipo TB-360 para ferrovias sujeitas a transporte de minério de ferro ou outros carregamentos equivalentes. Para a análise das cargas se toma como trem padrão, a locomotiva de 8m e dois vagões carregados de 8,50m para um total de 25m. Foram escolhidas as propriedades geotécnicas menos favoráveis para serem usadas nas análises, pois não se tem certeza das propriedades geotécnicas do material onde vai ser assente o bloco em concreto ciclópico para o muro em terra armada.

A tabela 1 apresenta os fatores de segurança ao tombamento, deslizamento e capacidade de carga da fundação da seção mais crítica analisada para a condição sem e com sobrecarga gerada pelo trem.

Tabela 1. Fatores de segurança com e sem sobrecarga.

SOBRECARGA		
FS(Tombamento)	FS(Deslizamento)	FS(Cap. Carga)
11,4	3,1	6,5
SEM SOBRECARGA		
FS(Tombamento)	FS(Deslizamento)	FS(Cap. Carga)
14,1	3,5	5,5

Os fatores de segurança aceitos, tanto para a condição sem sobrecarga e com sobrecarga são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Fatores de segurança de referência.

FS(Tombamento)	FS(Deslizamento)	FS(Cap. Carga)
3	3	5

Pode-se observar que a condição mais desfavorável é quando se leva em consideração o efeito da sobrecarga gerada pelo trem.

A figura a seguir mostra a solução adotada.

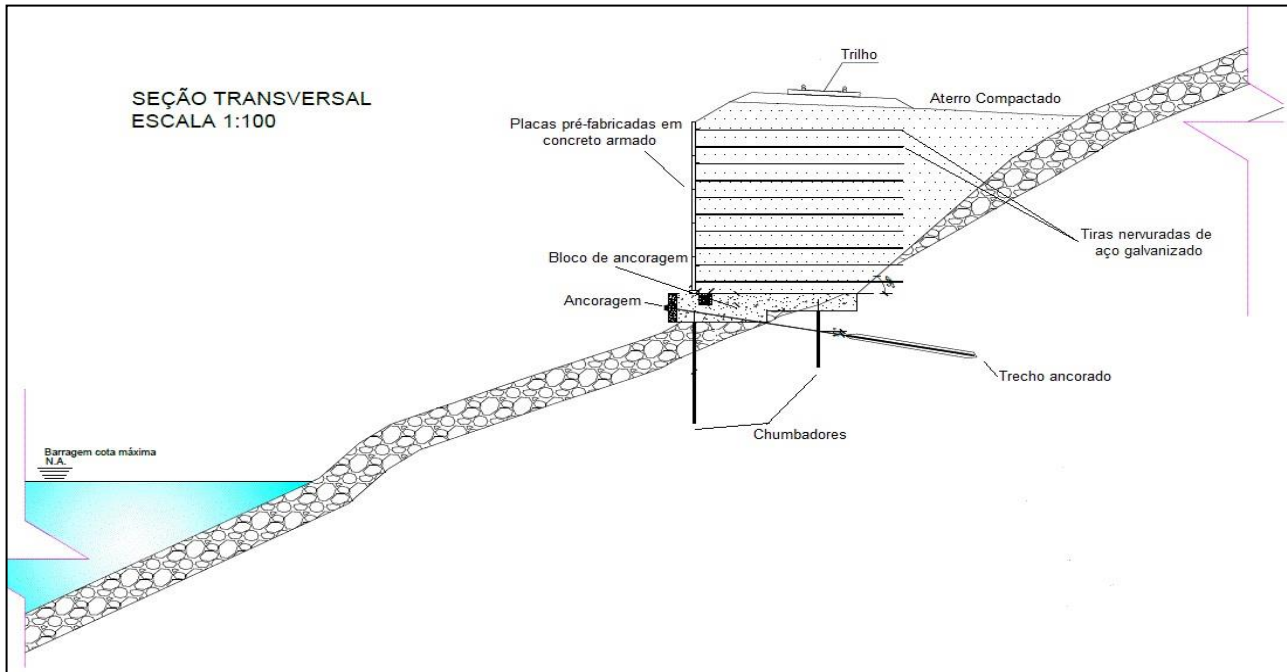


Figura 5. Esquema da solução em Terra Armada

3.1 Ancoragem do bloco

Como dito anteriormente o material que suportará a estrutura é muito fraturado e pode não ser competente, requisitando assim uma ferramenta que garanta a estabilidade da fundação.

Foram realizadas análises de estabilidade nas seções mais críticas, com superfícies de ruptura hipotéticas na interface entre o bloco de concreto ciclópico e material de fundação muito fraturado. Destaca-se que cinco das sete seções analisadas sem ancoragem apresentaram fatores de segurança menores a 1,5. Enquanto as seções analisadas com o tirante no bloco de concreto ciclópico apresentaram fatores de segurança favoráveis ($>1,5$).

As ancoragens ou tirantes, são elementos semi-rígidos ou flexíveis capaz de transmitir esforços de tração entres as suas extremidades. O dimensionamento do trecho ancorado é realizado com base na experiência de ensaios de arrancamento e recomendações apresentadas na NBR 5629/96. Segundo a norma a ancoragem em rocha é estimada a partir de uma tensão de aderência rocha-argamassa que dever ser o menor dos dois seguintes valores:

- $1/30$ da resistência à compressão simples da rocha

- $1/30$ a resistência à compressão simples da arga-massa.

Neste caso, considerando que os tirantes atingem a camada de rocha sã, o maior condicionante será a resistência da calda.

O tirante adotado é permanente do tipo GEWI ϕ 32mm para carga de trabalho de 210kN e carga de ensaio de 360 kN. Para este tirante a aderência necessária entre o bulbo e a rocha é 208 kPa. Para uma rocha solta a aderência é da ordem de 0,3 a 1,0 Mpa, ou seja a ancoragem adotada é satisfatória.

Também foram adotados chumbadores de 25mm de diâmetro (Aço CA50) de 5m e 3m de comprimento. Foram calculadas as aderências para cada um:

- 5m aderência de 254 kPa;
- 3m aderência de 152 kPa.

Se deve garantir uma aderência entre o chumbador e a rocha mínima de 254kPa, segundo dados encontrados na literatura (Bustamente e Doix, 1985), se pode conferir que para uma rocha fraturada com 40 golpes no SPT, a aderência é da ordem de 0,2 a 0,3 Mpa, ou seja, que é satisfatório tanto para o chumbador de 3m como de 5m.

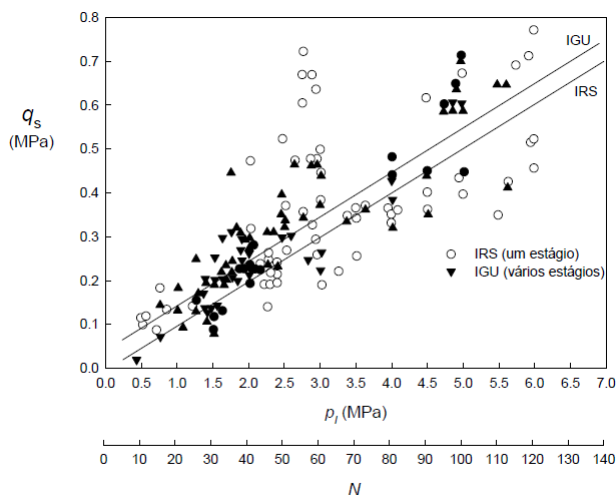


Figura 6. Valores de aderência para pedregulhos e rocha fraturada (Bustamente e Doix, 1985).

4 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou um estudo comparativo entre algumas soluções de estruturas de contenção em rocha extramente fraturada para o corpo de aterro ferroviário.

Devido à heterogeneidade do solo de fundação foram considerados os parâmetros obtidos a partir da sondagem mais crítica próxima do local das obras. Esta sondagem foi utilizada para dimensionamento do bloco de fundação, dos chumbadores, ancoragens e da verificação externa e interna de estabilidade.

A solução que melhor se adequou as condições do terreno, atendendo todos os requisitos de segurança foi a Terra Armada com Patamares longos assente sobre um bloco de concreto ciclópico ancorado.

REFERÊNCIAS

- ABNT. (1985). NBR 7189. Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias. ABNT, Rio de Janeiro, RJ.
- ABNT. (1986). NBR 9286. Especificações Terra Armada. ABNT, Rio de Janeiro, RJ.
- Bustament, M., Doix, B. (1985). Une méthode pour le calcul des tirant et des micropieux injectés. Bull, Liaison Lab. Ponts et Chaussées, Paris, n. 140, nov-déc. 1985 – Ref, 3047, pp. 75-92.
- Das, B.S. (2001). Principios de ingenieria de cimentaciones. Tradução da 4. Ed americana: Thomson Learning, 862p.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (1991). Manual

de Geotecnia: Taludes de rodovias: orientação para diagnósticos e soluções de seus problemas. São Paulo, 388p.