



2 0 2 5

Utilização De Viga Atirantada Como Reforço De Fundação Para TCLD

Alvaro Pereira

Engenheiro Geotécnico, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, alvaro@fgs.eng.br

Felipe Gobbi

Engenheiro Geotécnico, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, felipe@fgs.eng.br

Daniel Gomes

Engenheiro Geotécnico, FGS Geotecnia, Porto Alegre, Brasil, daniel@fgs.eng.br

Cesar Meira

Engenheiro Geotécnico, VALE, Belo Horizonte, Brasil, cesar.meira@vale.com.br

Pedro Aurélio

Engenheiro, VALE, Belo Horizonte, Brasil, pedro.aurelio@vale.com.br

RESUMO: Em decorrência de processos erosivos nas proximidades de um pilar de sustentação de uma correia transportadora de longa distância (TCLD), ocorreu a exposição do bloco de fundação, indicando um possível desconfinamento. A estrutura é composta por dois pilares circulares em tubo de aço, fixados em um bloco de concreto, sem patologias aparentes. A erosão visível nas imediações da estaca circular de fundação, com diâmetro superior a 60 cm, sugere contribuição de um dispositivo de drenagem rompido para a ruptura do bloco. Observações indicam que o processo erosivo foi causado pelo fluxo d'água e pela saturação do solo, resultando em uma ruptura de média proporção em um talude com altura entre 3,00 e 4,00 metros. Diante disso, o projeto de estabilização inicialmente proposto foi reavaliado, optando-se pela execução de uma grelha de concreto atirantada ao bloco de fundação como forma de compensar o desconfinamento. Devido à ausência de dados estruturais precisos, a estimativa de carga incidente foi realizada com base no volume de solo erodido. O monitoramento por meio de células de carga e deflectômetros durante a execução da grelha foi fundamental para assegurar a integridade da estrutura, permitindo a validação das premissas de projeto ao longo da fase de execução do reforço.

PALAVRAS-CHAVE: Conteção atirantada, Bloco de Fundação, Recuperação Estrutural.

ABSTRACT: As a result of erosive processes near a support pillar of a long-distance conveyor belt (TCLD), the foundation block was exposed, indicating a possible loss of confinement. The structure consists of two circular steel tube pillars anchored in a concrete foundation block, with no apparent structural damage. Visible erosion around the circular foundation pile, with a diameter greater than 60 cm, suggests that a damaged drainage device may have contributed to the failure of the block. Observations indicate that the erosive process was caused by water flow and soil saturation, resulting in a medium-scale failure on a slope with a height between 3.00 and 4.00 meters. Given this scenario, the initially proposed stabilization design was re-evaluated, and the implementation of a concrete grillage tied back to the foundation block was chosen as a solution to compensate for the loss of confinement. Due to the absence of detailed structural data, the estimated load was calculated based on the volume of eroded soil. Monitoring with load cells and deflectometers during the grillage installation was essential to ensure the structural integrity, allowing for the validation of design assumptions throughout the reinforcement execution phase.

KEYWORDS: Tie-back system, Foundation Block, Structural Rehabilitation.

1 INTRODUÇÃO

Durante as inspeções realizadas após o período chuvoso de 2019/2020, caracterizado por elevados volumes de precipitação, foi observado o desenvolvimento de processos erosivos junto às fundações de



2025

pilares da correia transportadora de longa distância (TCLD) que acabaram por expor o bloco de fundação e parte da estaca de um dos pilares de sustentação do elemento.

Um TCLD consiste de uma estrutura capaz de transportar grandes volumes de materiais a granel, como minérios, por longas distâncias, sendo comum em atividades de mineração e outras indústrias. Em detalhes, um TCLD é um sistema de transporte contínuo que utiliza uma correia para mover materiais ao longo de um percurso, frequentemente em terrenos acidentados ou de difícil acesso, onde o transporte por caminhões, trens ou teleféricos seria mais complicado ou caro, ou mesmo quando há interferência com a comunidade.

A estrutura em questão tem grande importância por ser a única ligação que não gera interferência direta com a comunidade (região densamente povoados) para o transporte da minério para um terminal ferroviário. A paralização de uma estruturas destas resulta em um impacto significativo na operação. Por esta razão é usual inspeções periódicas ao longo do percurso da estrutura. Durante umas destas inspeções foi observado a ocorrência de processos erosivos que atingiram parte de uma fundação do TCLD. A Figura 1 apresenta a localização aproximada do local em questão.



Figura 1. Localização aproximada do TCLD (imagem *Google Earth*) e do início da obra.

O objetivo deste trabalho é apresentar a alternativa proposta ao tratamento incialmente indicado para o local, com as premissas adotadas, assim como a sequencênciia executiva da intervenção proposta de modo a garantir a integridade do elemento de fundação do TCLD.

2 INSPEÇÃO DE CAMPO E DIAGNÓSTICO

Geomorfologicamente a região apresenta-se como uma talvegue com a concentração de fluxo direcionando ao alinhamento do TCLD, ainda a montante da região da erosão há uma via de tráfego interno, como pode ser observado na Figura 1. A vegetação na região é de média a grande porte, sendo no trecho de interesse predominante a de médio porte. A inclinação do terreno é variada, sendo considerada de média a baixa, com aumento da declividade a jusante da estrutura do TCLD

Durante a inspeção de campo foram verificadas as condições e o direcionamento do fluxo de drenagem da via, constatando-se que o sistema se encontrava funcional e não havia descarte de água diretamente sobre a região da fundação do TCLD. Entretanto, entre o talude e o alinhamento do TCLD, foi identificado um sistema de drenagem local assoreado, cujo ponto de lançamento se encontrava a jusante, próximo ao alinhamento da estrutura.



2025

Em relação a instabilidade nota-se características de processos erosivos, possivelmente gerados por fluxo de água (superficial e subsuperficial) dada as características geomorfológicas observadas e o sistema de drenagem superficial existente no local, que evoluíram para um instabilidade de médio porte. A região da ruptura, próximo ao bloco de fundação apresenta uma altura da ordem de 3 a 4 metros, inclinação elevada (praticamente vertical) e o solo saturado. A Figura 2 apresenta algumas imagens da região da instabilização.



Figura 2. Imagem da região do desconfinamento do bloco de fundação do TCLD.

Com base na avaliação em campo, a instabilidade parece ser consequência da evolução de um processo erosivo anterior, possivelmente iniciado por falhas no funcionamento dos sistemas de drenagem superficial. Como a drenagem localizada logo abaixo do bloco de fundação se encontra rompida e inoperante, considera-se que o descarte de água próximo à base do talude foi um dos fatores desencadeantes da instabilidade. A configuração geomorfológica também favorece o fluxo subsuperficial, intensificado pelo volume excessivo de chuvas. A Figura 3 apresenta imagens complementares da região instabilizada.



Figura 3. Contexto das instabilidades referente a região do desconfinamento do bloco de fundação do TCLD.

3 MÉTODO DE CÁLCULO PARA A RECOMPOSIÇÃO DO CONFINAMENTO

A análise técnica indicou que a ruptura por instabilidade do talude comprometeu o confinamento lateral do bloco de fundação. Observou-se a exposição de parte da estaca metálica e o surgimento de um vazio significativo, estimado com base em levantamento topográfico. As Figuras 4 e 5 mostram a condição da fundação no momento da inspeção.

Para o tratamento da instabilidade e preservação da fundação do TCLD estava previsto pelo cliente um projeto de intervenção que consistia de uma viga atirantada executada perpendicularmente ao alinhamento do TCLD, sendo esta apoiada nos dois blocos de fundação. O croqui da solução encontra-se apresentado na Figura 4.



Figura 4. Intervenção inicialmente proposta à região do desconfinamento do bloco de fundação do TCLD.

Para esta não foi disponibilizada a memória de cálculo do dimensionamento, não sendo possível obter informações relacionadas as premissas das soluções adotadas. De maneira geral a solução apresentada não atuava diretamente no tratamento do desconfinamento do bloco, pois considerava a aplicação de um carregamento aproximadamente a 90°, da direção do desconfinamento. Ainda a definição do comprimento de ancoragem ficou vinculada à execução, haverá necessidade de executar um tirante, ensaiar e não atendendo poderá ser necessária a execução de outro elemento.

Em função das incertezas citadas foi realizado um novo estudo para proposição de uma nova intervenção no local.

Levando em consideração que durante o desenvolvimento do presente estudo já havia uma empresa contratada para execução do serviço, com uma série de atividades e materiais já definidas, com o objetivo de manter o prazo da obra e custos, sem prejuízos técnico, optou-se por manter a mesma solução inicialmente considerada, ou seja, uma estrutura de concreto associada a tirantes. A solução dimensionada consiste de um sistema ativo, constituído de uma grelha atirantada para recuperação do confinamento no entorno do bloco. Conforme supracitado neste não foi considerada a estabilização da erosão.

Tendo em vista a indisponibilidade das informações estruturais (carregamentos e sua direção) e as características construtivas dos elementos (pilar metálico, blocos de fundação e fundação) adotou-se como premissas: (i) a recuperação do empuxo passivo anteriormente ao desenvolvimento dos processos erosivos (ou seja, a geometria do terreno anteriormente as instabilidades determinada pela comparação topográfica de uma seção próxima sem a ocorrência da instabilidade); (ii) estimativa das cargas estruturais do TCLD no bloco de fundação que pudessem influenciar no comportamento da estrutura no trecho desconfinado.

3.1 Carregamento Considerado

A definição do terreno existente foi baseada no levantamento topográfico disponibilizado, utilizando uma seção topográfica próxima a região instável como representativa da condição anterior ao desenvolvimento dos processos erosivos. A comparação da seção correspondente a condição anterior ao desenvolvimento do processo erosivo com a seção atual permitiu estimar a massa de solo necessário para garantir o confinamento da fundação.

Adotando-se uma aproximação mais conservadora considerou-se que o confinamento do solo à fundação é dado pelo empuxo passivo. O solo local consiste de filito, tendo sido adotado os seguintes parâmetros: (i) Peso específico natural de 20 kN/m³; (ii) Ângulo de atrito de 24 graus; (iii) Intercepto coesivo de 10 kPa. Estes definidos a partir de retroanálise e balizados por dados de ensaios realizados e recebidos pela projetista. Partindo-se desta premissa, estimou-se que a massa de solo, para uma altura de desconfinamento de 6,0



metros, ou seja, a altura de material erodido e exposição do bloco de fundação e da estaca, representa um empuxo de aproximadamente 852 kN/m. Levando em conta a largura do bloco de fundação de 1,1 metros e o diâmetro da estaca inferior a 1,0 metros, assume-se que o empuxo passivo entraria em carga após o início da movimentação da estrutura atuando ao longo desta extensão. Desta forma a carga, estimada, resultante do empuxo passivo seria da ordem de 950kN.

A definição das cargas atuantes na fundação do TCLD foi baseada em informações da estrutura encontradas na literatura técnica (Oliveria, J, 2012 e Relatório Técnico IEMA, 2013) e em observações de campo. A estrutura teve suas dimensões verificadas em campo sendo considerado o tabuleiro com 4 metros de largura, os pilares metálicos tubulares (diâmetro 35 cm) e altura de 23 metros, levemente inclinados (80 graus em relação a vertical) a conexão dos pilares ao bloco de fundação é feito através de parafusos, os blocos de fundação têm 1,10 por 1,10 metros de dimensão e encontram-se a uma distância 6 metros entre si. A fundação propriamente dita observada foi uma estaca (escavada) de concreto com diâmetro 35 centímetros. A distância longitudinal entre as fundações foi estimada em 40 metros.

3.2 Dimensionamento da Solução

Já os carregamentos atuantes foram definidos com base nos trabalhos de Oliveira, 2012 e IEMA, 2013, considerando: carga anual e horária de minério e velocidade de passagem, já em relação aos pesos das estruturas considerou-se as cargas típicas do peso próprio da correia e do tabuleiro. De forma a estimar os valores de carga para a fundação, foram realizadas uma série de análises estruturais que considerassem as cargas típicas do TCLD, sendo transmitidas ao bloco de fundação em diferentes situações. Não foram consideradas e nem verificados os esforços perpendiculares a estrutura. Com base nas diferentes simulações definiu-se como as cargas atuantes no bloco de fundação as menos favoráveis a condição atual do bloco, ou seja, o processo erosivo que resultou no desconfinamento do mesmo. A Figura 5 apresenta os valores de carregamento necessários para dimensionamento da viga e reabilitação do confinamento do bloco de fundação.

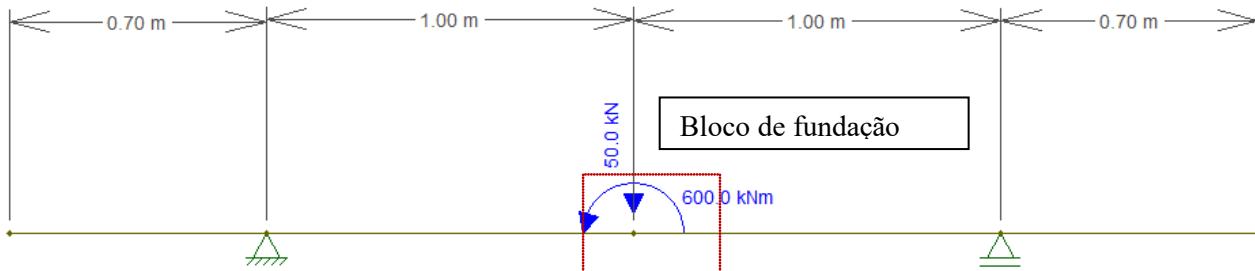


Figura 5. Esforços solicitantes para o dimensionamento da viga atirantada.

Para definição dos principais esforço a serem impostos à viga, e consequentemente que permitissem o cálculo da armadura foram realizadas diferentes simulações das condições de carregamento levando em conta cargas de incorporação e de ensaio dos tirantes. Para a simulação das cargas baseada nos empuxos, considerou-se que a carga de empuxo seria igualmente distribuída em cada tirante. para simplificação do cálculo.

As simulações de carregamento levaram em conta uma distribuição de pressão contato solo e bloco de fundação com a viga com valores variando de 188 kN/m (1 tirante durante o ensaio com 1,75 a carga de trabalho, e um tirante com carga mínima de 50 kN) a 271 kN/m (1 tirante durante o ensaio com 1,75 a carga de trabalho, e um tirante com carga de incorporação).

Com base no levantamento das cargas, pode-se calcular diferentes configurações para a viga de forma a se obter o cenário mais econômico. Com base nas análises das diferentes configurações, levando-se em conta os itens de materiais e serviço já disponíveis na planilha de quantidade, optou-se pelo dimensionamento de uma grelha atirantada composta por duas vigas de concreto armado e 4 tirantes. As dimensões da viga consideradas foram de 60 x50 cm, com comprimento de 3,4 metros. A distância entre as vigas foi fixada em



2025

1,0 metro, sendo os pilares com dimensões de 40x50 cm. A Figura 6 apresenta a solução dimensionada para a fundação.

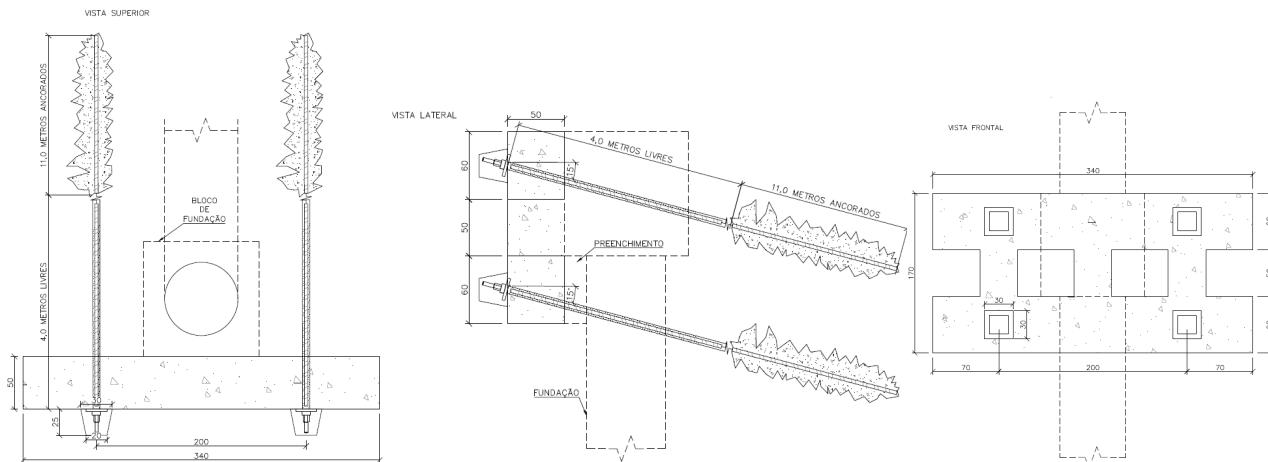


Figura 6. Solução dimensionada para recomposição da região da fundação.

4. PROCEDIMENTO EXECUTIVO

A execução da grelha de concreto seguiu uma sequência cuidadosamente planejada para garantir a integridade da fundação existente e a segurança da estrutura durante toda a intervenção. Tendo em vista as incertezas relacionadas as cargas atuantes na fundação e o comportamento desta frente ao desconfinamento lateral o metodologia executiva das vigas atirantadas levou em conta o comportamento da estrutura em termos de deslocamento, ou seja, instalou-se nos tirantes células de carga para monitorar o carregamento aplicado no tirantes e monitorou-se os deslocamentos da estrutura em si (bloco de fundação), sendo mantida uma carga de incorporação que não gerasse esforço horizontal suficiente para o deslocamento da estrutura para “dentro do talude”. A metodologia executiva sugerida para a recuperação do confinamento do bloco de fundação é baseada nos seguintes passos, representados graficamente pela Figura 7 e Figura 8:

- (i) Escavação do terreno até a base do bloco, mantendo-se os taludes de escavação com inclinação mínima de 45°;
- (ii) Escavação e regularização do terreno para execução da viga superior, conforme notas de serviço de projeto;
- (iii) Execução dos tirantes superiores;
- (iv) Montagem de armaduras e formas;
- (v) Concretagem da viga superior;
- (vi) Após cura do concreto aplicação de carga de incorporação dos tirantes;
- (vii) Instalação do sistema de monitoramento no bloco de concreto para avaliação de deslocamento da estrutura com a aplicação de carga;
- (viii) Avaliação do comportamento da estrutura com a carga aplicada;

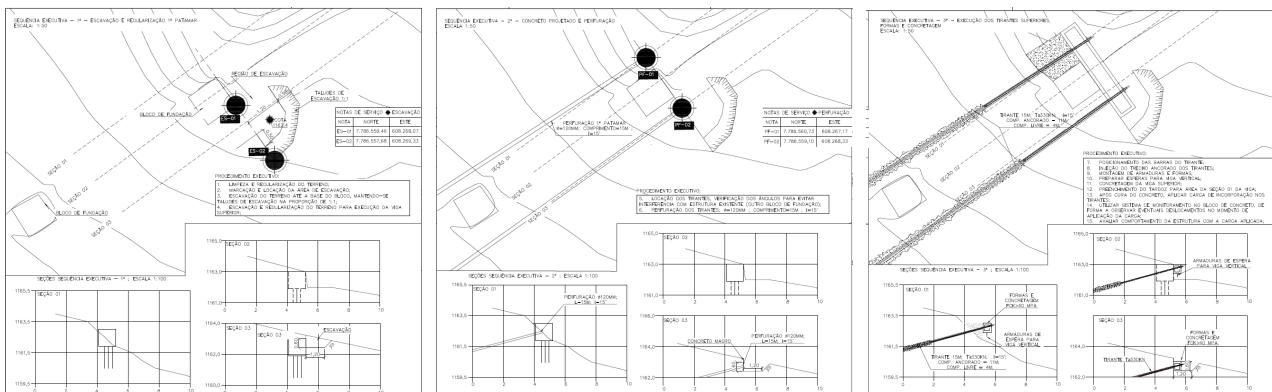


Figura 7. Detalhamento da solução para os itens i a viii.



- (ix) Continuidade da escavação do terreno para execução das vigas verticais e viga inferior;
- (x) Regularização do terreno para execução das vigas verticais;
- (xi) Posicionamento de armaduras e formas das vigas verticais;
- (xii) Concretagem das vigas verticais;
- (xiii) Perfuração e instalação dos tirantes inferiores;
- (xiv) Montagem de armaduras e formas para a viga inferior;
- (xv) Concretagem da viga inferior;
- (xvi) Após concretagem aplicação das cargas de incorporação conforme análise do monitoramento do bloco de fundação;
- (xvii) Monitoramento do bloco de fundação durante aplicação das cargas;
- (xviii) Execução da revegetação na face do talude;

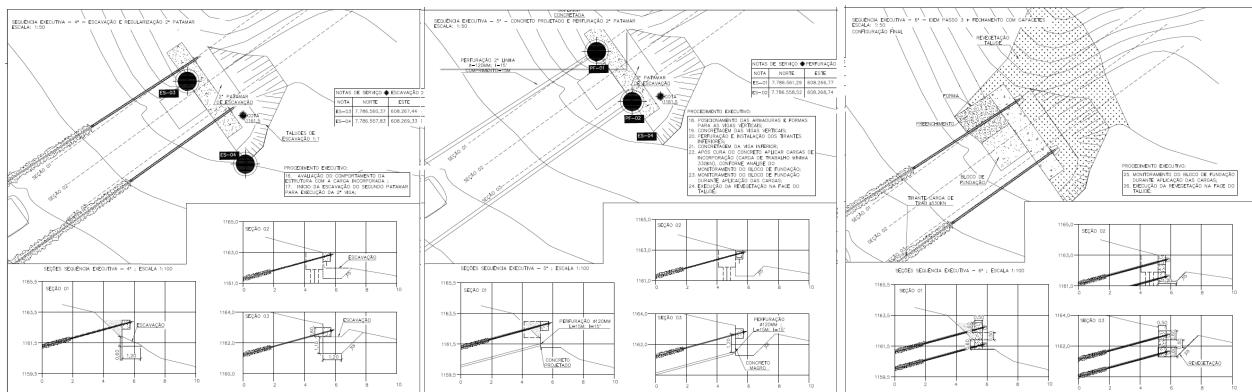


Figura 8. Detalhamento da solução para os itens ix a xviii.

Durante os carregamentos do estágio de 0,8 F, foram observados deslocamentos da ordem de 1 mm na viga de fundação, para os tirantes da esquerda e direita, respectivamente (em vista frontal). Sendo assim, após a constatação da estabilização do carregamento e dos deslocamentos (do tirante e do bloco) os ensaios foram paralisados, e a carga de 160 kN incorporada aos tirantes. Após 24 hs foi constatada a manutenção das leituras de deslocamento do bloco desde a incorporação da carga de 160 kN nos tirantes. A Figura 8 apresenta o registros do procedimento adotado.



Figura 8. Procedimento de incorporação e monitoramento de deslocamentos dos tirantes superiores.

6 COMENTÁRIOS FINAIS

Para a proteção do bloco de fundação, reconfinamento, assumiu-se como premissa a consideração de um sistema ativo, composto de grelha de concreto armado, com tirantes. Dadas as incertezas envolvidas no dimensionamento da solução de proteção do sistema de fundação, para prevenir que o desconfinamento de solo, gerado pelos processos erosivos, junto a um dos blocos de fundação, o monitoramento das cargas e dos deslocamentos da estruturas foram fundamentais para a definição das cargas de incorporação, totalizando um



2 0 2 5

valor de 640 kN incorporados, frente aos 850 kN calculados pelo empuxo passivo e os 1200 kN calculados pela estimativa de carregamentos da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – NBR 11682: *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.
33 páginas.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) – ANBT. NBR 6118 *Projeto de Estruturas de Concreto*.
Rio de Janeiro. 256 páginas.
- OLIVEIRA, J. *A tecnologia do transportador de correias de longa distância (TCLD) como estratégia do sistema de transporte numa mineradora em Minas Gerais*. UFMG, 2012.
- Relatório Técnico – RT-ECV-002/13 - Revisão 01, IEMA, ES, Outubro/13.