



Estabilização dos Taludes do Setor Cava Oeste da Mina de Águas Claras - Nova Lima/ Brasil

Dinis, Jorge

Teixeira Duarte Engenharia e Construções, S.A., Porto Salvo, Portugal, jd@teixeiraduarte.pt

Lopes, João

Teixeira Duarte Engenharia e Construções, S.A., São Paulo, Brasil, jal@teixeiraduarte.com.br

RESUMO: O presente trabalho apresenta os aspectos construtivos de uma obra de recuperação de antigas áreas de mineração. A obra em questão foi executada no setor Cava Oeste da Mina de Águas Claras, com topografia e geologia complexas, que favorecem a evolução muito rápida da erosão, quase atingindo a crista da Serra do Curral, ambiente protegido legalmente, nos arredores de Belo Horizonte. São descritas as soluções adotadas, bem como as dificuldades enfrentadas durante a fase executiva da obra. A grande movimentação de equipamentos pesados, necessários para a implementação da solução de reperfilamento dos taludes, associado à necessidade de realização, no mesmo período de tempo, de trabalhos manuais de instalação de telas metálicas, execução de grampos e drenagem superficial na encosta, envolvendo acessos de larguras limitadas e elevadas inclinações, em terrenos extremamente heterogêneos, sujeitos a rápidas erosões, que podiam comprometer o acesso às frentes de trabalho, exigiu procedimentos e técnicas especiais para vencer estes desafios, que são descritos neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Talude, grampos, telas de proteção, drenagem, retaludamento, revegetação.

1 INTRODUÇÃO

A obra de estabilização dos taludes do setor Cava Oeste da mina de Águas Claras, situa-se na vertente sudeste da Serra do Curral, no município de Nova Lima, estado de Minas Gerais, Brasil. Do ponto de vista geológico/geotécnico a área de intervenção é constituída por formações com propriedades geomecânicas bastante distintas, ocorrendo itabiritos friáveis a pouco friáveis e hematitas compactas, subjacentes a colúvios laterizados (canga). Estruturalmente é possível identificar no maciço rochoso bandeamentos, predominantemente sub-paralelos à face do talude, originados pelo contato entre as diferentes formações, e também pelos planos de fraturas e/ou foliações existentes nos materiais mais compactos.

Os fenômenos erosivos concentram-se nas áreas onde afloram os itabiritos mais friáveis,

formando ravinamentos com dimensões variadas, delimitadas pelas formações mais resistentes (hematita e o itabirito compacto). A erosão diferencial associada à desfavorável orientação dos planos de fraqueza existentes no maciço rochoso (contatos litológicos, foliação, fracturação), relativamente à face do talude, bem como a surgência de água em pontos isolados na superfície dos taludes, principalmente durante períodos chuvosos, originou rupturas nos materiais mais competentes, geralmente por processos de descalçamento e deslizamento. Este mecanismo erosivo provoca o carreamento de materiais para os sistemas de drenagem existentes, assoreando-os, originando assim um fluxo descontrolado da água de escoamento superficial, levando à formação de grandes ravinamentos, instabilizando essas áreas e as que se situam à montante. Este mecanismo cíclico terá sido a principal causa para o avançado estado de degradação de algumas áreas da Cava



Oeste da Mina de Águas Claras. (figura 1).



Figura 1. Aspecto geral das erosões no setor Cava Oeste.

Por se enquadrarem numa região protegida, as soluções de projeto preconizadas pelas empresas projetistas (BVP Engenharia, 2013 e VOGBR, 2016) para a estabilização dos taludes foram condicionadas por fatores de ordem Ambiental/Paisagística e adaptadas às características geológico/geotécnicas muito particulares da Serra do Curral.

2 SOLUÇÕES PRECONIZADAS

Tendo sido devidamente caracterizada a situação e determinadas as causas que levaram à instabilização do setor Cava Oeste, o projeto definitivo contemplou um conjunto de soluções e técnicas para a estabilização dos taludes, considerando as particularidades de cada área.

Na região superior da Cava Oeste, entre as cotas 1330m e 1280m, a estabilização previu o reperfilamento dos taludes existentes através de escavação, criando-se taludes com altura variável entre 15 e 25 metros e inclinação entre 35° e 50°. Complementarmente e para aumento do fator de segurança, foi previsto também a aplicação de um sistema de contenção, constituído por tela metálica de alta resistência, associada a uma malha de grampos com espaçamento variável entre 1,70x1,70m e

2,20x2,20m e comprimento compreendido entre 4 e 12 metros. Para mitigar os fenômenos de erosão, provocada pela água superficial, e ainda potencializar o rápido crescimento de vegetação nestes taludes, foi prevista a aplicação de uma manta sintética de controle de erosão superficial, sob a tela metálica, e a aplicação de hidrossemeaduras em toda a área, com sementes de espécies nativas.

Na região inferior da Cava Oeste, entre a cota 1280m e 1200m, a estabilização foi garantida somente através do reperfilamento da geometria da cava, construindo-se um conjunto de taludes com cerca de 15 metros de altura e 40° de inclinação. Nestes taludes foi previsto a aplicação de manta vegetal projetada (MVP) e Biomanta, composta por fibras vegetais biodegradáveis, para proteção superficial contra erosão e facilitar a fixação e germinação do mix de sementes que incorpora a MVP.

Quando identificados pontos de surgência de água na superfície do talude, durante a etapa de escavação, foram instalados elementos de drenagem profunda (drenos).

Em todo o setor da Cava Oeste, desde os taludes superiores até à cota 1157m, previu-se a construção de um sistema de drenagem superficial, construído nas banquetas dos taludes de escavação de modo a disciplinar todas as águas de escoamento superficial e encaminhá-las para o lago existente na base das Cavas. Este sistema é composto por canaletas em concreto armado, com geometria retangular de 0,70x0,70m e 0,90x0,90m, e trapezoidal de 0,90x0,30x0,30m. As canaletas convergem para escadas hidráulicas, também em concreto armado, com seções internas compreendidas entre 1,30x1,30m e 1,70x1,70m. Para diminuir a infiltração ao nível das banquetas dos taludes, foi previsto também a sua impermeabilização com material betuminoso aditivado.

3 EXECUÇÃO DAS OBRAS – METODOLOGIAS, DIFICULDADES E IMPREVISTOS ENCONTRADOS



3.1 Preparação dos trabalhos

Face às condicionantes locais, nomeadamente as de ordem ambiental, orográfica e de natureza geológica e geotécnica, que dificultaram a execução de acessos às diferentes frentes de serviço, e ainda à necessidade de realizar diversas atividades em simultâneo e a níveis diferentes e sobrepostos, fez-se necessária a elaboração de um planeamento de elevada complexidade, que garantisse, em primeiro lugar, a segurança de todos os trabalhadores e o cumprimento a todas as exigências contratuais. Assim, optou-se por estruturar a obra por setores de atividade (terraplenagem, contenção e drenagem), criando-se equipas autónomas e experientes, dotadas dos meios necessários para cumprir todas as condicionantes de segurança e produção, articuladas por uma equipa única de coordenação que garantia a ligação entre as diversas atividades, revelando-se crucial para o sucesso do projeto, dada a elevada interdependência entre as diversas atividades.

3.2 Trabalhos de escavação e reperfilamento

Tal como referido anteriormente, os trabalhos de escavação e reperfilamento iniciaram-se próximo à crista da Serra Curral, cota 1330m e terminaram aproximadamente na cota 1200m. A estratégia de abordagem à atividade de terraplenagem focou-se em dois princípios básicos a segurança e a produtividade. Assim os planos de escavação para cada área e cada nível de escavação foram meticulosamente preparados com base em minuciosos levantamentos topográficos da geometria dos taludes existentes, de modo que em qualquer condição fosse possível a utilização de equipamentos pesados de escavação e transporte. Com esta análise e preparação prévia, verificou-se que em grande parte da área de reperfilamento, devido à irregularidade da geometria do talude, a largura das plataformas de escavação não seria suficiente para a utilização contínua de equipamentos de grande porte. Para que fosse possível a sua utilização, foi decidido executar

plataformas em aterro, com os materiais da própria escavação, tendo-se efetuado na totalidade da obra mais de 50.000m³ de aterros lançados, para alargamento das plataformas de trabalho, e que em algumas situações atingiram cerca de 15 a 20m de altura. Estes aterros foram sendo removidos a bota-fora à medida que a escavação progredia para cotas inferiores (figura 2).



Figura 2. Vista geral dos trabalhos de terraplenagem.

No decorrer da empreitada, a grande variação das condições de trabalho, particularmente o espaço disponível em cada frente, a largura das plataformas de trabalho e condições dos caminhos de acesso, principalmente no que se refere à sua inclinação, obrigou a uma constante análise, respeitando os requisitos de segurança e garantindo a produtividade esperada dos equipamentos. Esta gestão criteriosa das interfaces levou à uma oscilação razoável da quantidade de equipamentos disponíveis na obra, buscando a otimização dos recursos, evitando ociosidade e minimizando os custos de implementação do projeto. Durante a fase crítica dos trabalhos de escavação foram alocadas 9 escavadoras giratórias de 20 e 35 Ton., 25 caminhões basculantes de 12 a 16m³ de capacidade e 2 tratores de lâmina.

De um modo geral, e apesar da elevada competência de alguns estratos, a escavação foi efetuada com escavadeiras equipadas com



conchas de grande dimensão, apropriadas para rocha, aproveitando para tal os planos de fraqueza existentes no maciço. No entanto, verificou-se frequentemente a necessidade de utilização de rompedores hidráulicos pesados para desmonte das formações mais resistentes (itabiritos e hematitas compactas), as quais não apresentavam planos de descontinuidade favoráveis ao desmonte com balde (figura 3).



Figura 3. Escavadora giratória com martelo hidráulico.

Fenômenos como o grau de alteração, a orientação dos planos de descontinuidade, xistosidade, fraturamento do maciço rochoso, e a existência de áreas relativamente instáveis devido ao avanço dos fenômenos de erosão, levaram a que todas as atividades de movimentação de terra fossem acompanhadas por profissionais com formação em geologia e geotecnia.

De uma forma genérica e dada a condição local, foi previamente definido que os avanços de cada patamar de escavação não poderiam ultrapassar 4 metros de altura sem que o sistema de contenção estivesse completamente instalado à montante. Com o avanço da escavação e numa base diária ou sempre que se justificava, a equipe de técnicos efetuava análise das condições de estabilidade dos taludes de escavação, determinando o avanço ou a interrupção desta etapa, de modo a garantir a segurança de pessoas e equipamentos envolvidos na obra, além de

garantir a integridade do próprio talude.

Nos patamares inferiores de escavação, nomeadamente entre o 3º e 7º patamar, devido à pequena profundidade de escavação, para atingir o perfil final, e também à grande irregularidade da geometria inicial dos taludes, provocados principalmente pelos profundos sulcos erosivos, verificou-se que após conformação do talude ainda ocorriam materiais coluvionares ou de aterro. Nestes casos, os materiais de menor resistência foram saneados e substituídos por enrocamentos ou “rip-rap” (solo-cimento ensacado), dependendo da condição de cada local (figura 4).



Figura 4. Técnica de “rip-rap” aplicada no talude.

3.3 Trabalhos de contenção e revegetação

O sistema de contenção foi apenas executado nos taludes superiores, acima da cota 1280m. Este sistema é constituído por uma tela metálica de alta resistência associada à uma malha de grampos com comprimentos variáveis, e por uma manta sintética de proteção contra a erosão superficial. A instalação do sistema de contenção teve início pela execução da malha de grampos, os quais tiveram comprimentos compreendidos entre 4 e 12m.

Do mesmo modo que o preconizado para a escavação, a furação foi realizada com equipamentos pesados sendo que, no decurso dos trabalhos, houve sempre a preocupação de



criar condições que privilegiassem a utilização desse tipo de equipamentos, que garantiam elevada produtividade e menor utilização de mão-de-obra (minimizando-se desta forma a probabilidade de ocorrência de acidentes). Assim para a perfuração dos grampos foram utilizadas 8 sondas hidráulicas e pneumáticas montadas sobre esteiras, (figura 5).



Figura 5. Furação para instalação de grampos.

A perfuração foi, de um modo geral, efetuada sem revestimento com martelos do tipo fundo de furo e de superfície, equipados com bits de 3''. No entanto dadas as características muito específicas de algumas áreas, como rocha muito fraturada e materiais friáveis com presença de água, houve necessidade de perfurar com uso de revestimento, devido às paredes dos furos colapsarem durante a perfuração, não permitindo o avanço ou a introdução da armadura dos grampos. Assim, equiparam-se duas das máquinas hidráulicas com um sistema constituído por martelo de fundo excêntrico e tubos metálicos acoplados, que à medida da progressão do martelo de fundo reveste o furo. Este sistema permitia que, atingida a profundidade definida em projeto fosse removido o martelo de fundo e as respectivas hastes, mantendo o revestimento no furo, o qual somente era retirado após a introdução do varão de aço e o preenchimento do furo com calda de cimento.

Pelas condições de acesso e exiguidade de espaço disponível nas diversas frentes de trabalho, além da sua constante evolução com o avanço da escavação, bem como devido a questões ambientais, que obrigaram à tomada de medidas de contenção dos desperdícios da calda de cimento dos grampos, não seria viável instalar pontos de produção de calda nas proximidades da maioria dos locais onde se instalaram grampos. Desta forma, foram criadas duas centrais de injeção fixas de modo que permitissem a execução dos trabalhos ao longo de toda a obra. No entanto, esta decisão logística levou à distâncias aos pontos de selagem dos grampos da ordem dos 400 a 500 metros. Para garantir o fluxo e a qualidade da calda de cimento exigida em projeto, foram utilizados equipamentos com capacidade para injeção de caldas cimentícias à grandes distâncias. Este fato revelou-se de extrema importância pois permitiu diminuir o número de equipamentos presentes em cada frente de trabalho, bem como reduzir o número de mão-de-obra associado à esta atividade.

Terminada a execução dos grampos em cada área, era instalada a manta de proteção, a tela metálica, cabos de contorno e aplicadas as placas e porcas devidamente torqueadas, para conclusão do sistema de contenção. Destaca-se que o avanço da execução dos grampos relativamente à conclusão do sistema nunca foi superior a 4 metros de altura, por questões de segurança.

Após a completa instalação do sistema, em algumas áreas e principalmente devido às irregularidades geométricas dos taludes, a tela de alta resistência não se adaptava na perfeição à superfície do talude. Nestes locais foram realizados grampos adicionais com 2 metros de comprimento, garantindo assim a conformação do sistema de contenção ao talude. Em função do avanço das escavações nestes locais os grampos foram executados por profissionais com formação em técnicas de alpinismo industrial, com certificação internacional e utilização de equipamentos leves de perfuração (figura 6). Apesar de apresentarem produtividades



reduzidas, tem como vantagem a flexibilidade e a facilidade de acesso ao longo dos taludes já conformados.



Figura 6. Furação realizada com acesso por corda.

Para proteção adicional contra a erosão e permitir a fixação dos terrenos mais superficiais, através das raízes das plantas, foi aplicada acima da cota 1280m, nas áreas onde se instalou o sistema de contenção, hidrossemeaduras. Esta atividade foi executada ao passo do avanço da etapa de escavação e da aplicação do sistema de contenção.

Abaixo da cota 1280m estava previsto unicamente a aplicação de manta vegetal projetada, após o reperfilamento do talude. No entanto, durante a fase de escavação verificou-se que os taludes nestas áreas eram bastante friáveis, tendo-se decidido aplicar uma biomanta biodegradável, fixada ao solo por grampos cravados em forma de “U”, para uma maior proteção contra a erosão durante a fase de crescimento da vegetação. Esta atividade também foi executada por equipes suspensas por cordas (figura 7).



Figura 7. Aplicação de Biomanta com acesso por corda.

3.4 - Construção do sistema de drenagem

Para controle e condução da água de escoamento superficial até ao lago existente na base da cava, foi construído um sistema de drenagem. Este sistema é constituído por canaletas retangulares e trapezoidais e escadas hidráulicas em concreto armado.

As canaletas retangulares e trapezoidais foram construídas sobre as banquetas de cada talude, somente após a conclusão de cada nível para não condicionar a normal progressão das atividades críticas (escavação e contenção). Por este fato, e também pela dimensão das canaletas trapezoidais, a escavação destes elementos teve de ser efetuada com uso de mini-escavadeiras hidráulicas de 3 toneladas.

As escadas hidráulicas sempre que se localizavam nos taludes a reperfilear, foram parcialmente escavadas com escavadoras giratórias de grande porte, equipadas com conchas e rompedor hidráulico, à medida do avanço das etapas de escavação.

Nos trechos onde as escadas hidráulicas localizavam-se em taludes de escavação fora da área de intervenção recorreu-se a escavadoras giratórias com braço de longo alcance (16 metros). No entanto em diversos locais a escavação ocorreu de forma manual, realizada por equipes suspensas por cordas, por não haver acesso a qualquer tipo de equipamento. Este fato



veio a revelar-se uma forte condicionante para o normal desenvolvimento da atividade, pois em grande parte das descidas de água foram encontrados materiais de elevada resistência, o que levou à frequente utilização de martelos pneumáticos leves e à utilização de argamassas expansivas para desmonte da rocha, diminuindo assim as produtividades inicialmente previstas. Em face desta situação e para cumprimento dos prazos contratuais, houve a necessidade de reforçar os meios envolvidos nesta atividade, o que originou por si só, um problema de segurança por sobreposição de frentes de trabalho. Para que fosse possível o trabalho em sobreposição foram construídas barreiras em tela metálica, devidamente dimensionadas para o impacto de blocos de rocha, para que assim fosse possível a realização destas atividades sobrepostas em níveis diferentes (figura 8).



Figura 8. Barreira de proteção em tela metálica

Conforme já citado, as descidas de água foram dimensionadas com alturas (medida perpendicularmente ao plano de fundo) entre 1,30m e 1,70m, originando escavações mínimas de 2,00m de profundidade, dependendo da geometria dos taludes em cada local. Assim, sempre que não foi possível suavizar os taludes de escavação, as valas, com inclinações variáveis entre os 40° e 50°, foram escoradas provisoriamente a fim de garantir a integridade dos colaboradores. Os escoramentos foram

executados em trechos curtos e alternados, para garantir que a área aberta de vala sem escoramento fosse a mínima possível. Esta medida tornou a atividade complexa, quer pela falta de espaço para colocação de armaduras e forma, quer para a mobilidade e acessos ao local por parte dos trabalhadores (figura 9).



Figura 9. Trecho de escada hidráulica concluída.

Durante a construção dos elementos de drenagem ocorreram períodos chuvosos de grande intensidade que provocaram erosões e escorregamentos de materiais dos taludes, que se acumularam ao longo dos elementos de drenagem. Estes episódios de assoreamento geraram extravasamento da água, provocando erosões de grande dimensão nos taludes já concluídos, principalmente nas regiões formadas por solos friáveis e de baixa resistência. Após uma criteriosa análise da situação e com o objetivo de reconstruir as banquetas e o perfil de escavação dos taludes, os sulcos provocados pela erosão foram preenchidos por blocos de rocha com dimensões variadas e em alguns casos com “rip-rap” (figura 10). Para cada caso foi avaliada a melhor solução em função da permissão de acesso de equipamentos pesados aos pontos erodidos.



Figura 10. Preenchimento lateral das escadas hidráulicas com rip rap.



Figura 11. Banqueta impermeabilizada com CBUQ aditivado

Para diminuir a infiltração nas banquetas dos taludes de escavação foi previsto, em fase de projeto, a impermeabilização das banquetas com material argiloso, proveniente dos materiais de escavação. Como durante a etapa de escavação não foram detetados materiais com estas características, optou-se pela aplicação de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) por ser impermeabilizante e flexível, diferente de uma estrutura em concreto armado de maior rigidez.

Em função da reduzida largura das banquetas não foi possível fazer a aplicação do CBUQ com utilização de equipamentos mecânicos tradicionais, sendo que todo o pavimento betuminoso foi aplicado manualmente. Nestas condições e tendo em consideração que não seria possível alcançar o rendimento necessário para que o asfalto betuminoso fosse aplicado na temperatura correta, optou-se pela aplicação de CBUQ aditivado, o qual permite a sua aplicação a frio, garantindo os requisitos de qualidade especificados para este produto (figura 11).

4 - CONCLUSÕES

A implementação das soluções de projeto ao nível da estabilização dos taludes, o volume de trabalho, os exíguos acessos, a distância entre as frentes de serviço e ainda por vezes as difíceis condições de trabalho (como por o exemplo a reduzida largura das banquetas), conduziram à mobilização e formação de grande número de trabalhadores especializados e à utilização de grande número de equipamentos leves e pesados adaptáveis às condicionantes locais.

Nesta obra foram realizados aproximadamente 200.000m³ de escavações mecanizadas e manuais, aplicados 34.000m de grampos, tendo-se injetado cerca de 400m³ de calda de cimento para fixação das mesmas. Para conformação das faces dos taludes foram instalados 18.000m² de mantas e telas de alta resistência, e aplicados 40.000m² de revegetação (17.000m² de hidrossemeadura e 23.000m² de Biomanta e manta vegetal projetada). No que se refere às estruturas de drenagem em concreto armado foram realizadas aproximadamente 1.500m de canaletas retangulares e trapezoidais nas banquetas e 700m de escadas hidráulicas nos taludes. Após conclusão de todos os trabalhos a geometria final da Cava Oeste ficou conforme se apresenta na figura 12.



Figura 12. Vista geral da geometria final da Cava Oeste

REFERÊNCIAS

- BVP-Engenharia (2013) - Projeto Executivo de Estabilização do Setor Cava Oeste
VOGBR-Recursos Hídricos e Geotecnia (2016) - Revisão do Projeto Executivo de Estabilidade da Cava Oeste