

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/251

Solo Grampeado Verde para Estabilização de Talude na estrada de Ferro Vitoria – Minas

Andrea Balbuzano Pelizoni

Coordenadora de Mercado, Maccaferri, Rio de Janeiro, Brasil, a.pelizoni@maccaferri.com

Flavio Fagundes do Rosário

Gestor de Obras, Atlas Engenharia, Nova Era - MG, Brasil, engenharia05@atlasengenharia.com.br

João Alberto De Angeli Bubach

Gerente Operacional, Atlas Engenharia, Serra - ES, Brasil, joao@atlasengenharia.com.br

RESUMO: A malha ferroviária da estrada de Ferro Vitoria – Minas, ao longo da sua extensão, está inserida em diferentes regiões geográficas interligando a região metropolitana de Vitoria (ES) à região metropolitana de Belo Horizonte. A extensão total da ferrovia chega a 905km e possui na sua extensão, vários taludes que ao longo dos anos, por ação do intemperismo, apresentam instabilidades, movimentos de massas do tipo deslizamentos, queda e rolamento de blocos, entre outros, levando à necessidade de intervenção com técnicas de proteção e estabilização para segurança da via. O presente trabalho buscou apresentar a solução adotada no talude em solo em um ponto da estrada de ferro que se encontra dentro da faixa de domínio da uma mineradora, localizada na cidade de Nova Era, no estado de Minas Gerias, onde foi adotado, conforme especificado em projeto, a técnica de estabilização combinando retaludamento e solo grampeado verde, através de grampos inseridos na massa de solo, e sistema de geomanta combinada com tela de alta resistência para revestimento superficial do talude. A solução de solo grampeado verde é inovadora e vem ganhando força e espaço no mercado brasileiro e latino-americano.

PALAVRAS-CHAVE: Solo Grampeado Verde, Estabilização de Talude, Revestimento Flexível, Geomanta, Grampo

ABSTRACT: The railway network of the Vitoria – Minas Railway, along its length, is inserted in different geographic regions connecting the metropolitan region of Vitoria (ES) to the metropolitan region of Belo Horizonte. The total length of the railway reaches 905km and has several slopes along its length, which over the years, due to weathering, the massifs and cutting slopes along the railway present instabilities, mass movement of the sliding, falling and rolling type. of blocks, among others, leading to the need for intervention with protection and stabilization techniques for road safety. The present work sought to present the solution adopted in a soil slope which is within the right-of-way of a mining company, located nearby in the city of Nova Era, in the state of Minas Gerais, where it was adopted, as per specified in the project, the stabilization technique combining retouching and green stapled soil, through staples inserted into the soil mass, and a geomant system combined with high-resistance mesh for surface coating of the slope. The green stapled soil nailing solution is innovative and has been gaining strength and space in the Brazilian and Latin American market.

KEYWORDS: Green Soil Nailing, Slope Stabilization, Flexile face, Geomat, Nails.

1 INTRODUÇÃO

A via férrea Estrada de Ferro Vitória - Minas (EFVM) possui um total de 905 km de extensão, construída a mais de 120 anos, conecta a região metropolitana do estado de Minas Gerais (MG) à região metropolitana do Espírito Santo (ES). As diversas vias que compõem a estrada de ferro, vem apresentando ao longo dos anos, algumas instabilidades em diferentes pontos e taludes que conformam a via.

O caso de obra aqui apresentado, corresponde ao trecho localizado no Ramal de Fábrica (RFA), próximo à cidade de Nova Era, Ouro Preto, município do estado de Minas Gerais (MG). O trecho em questão tem sofrido ao longo dos anos, e principalmente durante os períodos de chuva, rupturas superficiais que colocaram a situação de segurança do talude em uma condição de estabilidade (FS) abaixo do aceitável, de acordo com a norma de estabilização de encostas NBR 11682 (2009). A solução estabilização adotada no projeto foi o retaludamento do talude, com aproximadamente 7.500m² de área total, combinado com a aplicação da técnica de solo grampeado verde

O projeto visou atingir a segurança do talude, conseguindo atingir um FS superior a 1,5, ao mesmo tempo que conseguiu desenvolver uma solução viável desde o ponto de vista de execução, garantindo a segurança da infraestrutura sem necessidade de interrupção da via.

A obra foi executada em um período de 17 meses devido a dificuldades logísticas na região e do local de atuação.

A partir da execução e após fortalecimento da revegetação aplicada, a área foi naturalmente vegetada oferecendo uma proteção natural contra os fatores de erosão do material superficial.

2 ESTABILIZAÇÃO DE TALUDE COM TÉCNICA DE SOLO GRAMPEADO VERDE

2.1 Apresentação do caso

2.1.1 Situação inicial

À área do ponto de estudo, próximo à cidade de Nova Era, está inserido nos domínios de exposição Suíte Borrachudos composta por Matagranitóides e Augen Gnaisse. Na Figura 1 é possível visualizar a localização da área em relação à cidade de Nova Era.

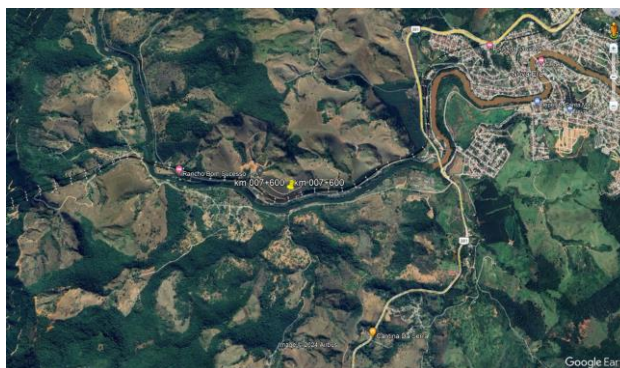


Figura 1. Localização do talude no RFA em relação a cidade de Nova Era (MG)

Fonte: Google Earth, 2023.

A partir dos levantamentos feitos pela equipe de projeto e contratante, constatou-se, no local, a presença de um material com variação dentro da própria área, formado por colúvio/Elúvio, com espessura aproximada de 6,0m, de coloração laranja, textura areno-argilosa, que na porção central do talude envolve um nível de blocos rochosos de gnaisse. Nessa porção do corte, esse horizonte apresenta aproximadamente 5,0 metros de espessura. Foi também identificada a presença de saprólito de gnaisse com textura areno-siltosa, coloração rosada, acompanhada de tons entre o branco e amarelo. Esse material terroso apresenta passagens com venulações compactas de quartzo que materializa o acamamento reliquiar. De modo geral, o material presente

na superfície apresentava uma condição de elevada erodibilidade e permeabilidade, dificultando a estabilização superficial para a condição de geometria verificada naquele momento.

Nos últimos anos, a área do talude vem sofrendo com a instabilidade superficiais provocadas, principalmente pelos eventos de chuva no período de verão, sendo que no ano de 2020, as chuvas foram muito intensas, levando à desconfiguração quase no total da geometria inicial do corte, oferecendo risco à infraestrutura próxima a este ponto, conforme observado na Figura 2.



Figura 2. Área antes da estabilização

2.1.2 Solução adotada em projeto para estabilização de talude

A solução escolhida foi uma combinação de técnica de retaludamento juntamente com a estabilização através do Solo Grampeado Verde, que consiste na inserção de grampos, ou seja, elementos passivos, e proteção da superfície do talude aplicando um sistema revestimento, no intuito de reforçar a massa de solo através dos grampos e de proteger a superfície do talude contra erosão e pequenas rupturas, com uso de geomanta reforçada na face do talude.

O projeto para estabilização da área, foi elaborado por uma empresa especializada em projetos geotécnicos, a qual desenvolveu as soluções e suas respectivas análises para dimensionamento e verificação da estabilidade global, a partir das visitas ao local, investigações geotécnicas realizadas e as informações disponibilizadas pela contratante, permitindo os estudos e análises das diferentes alternativas e soluções e, finalmente a definição e dimensionamento das soluções adotadas no projeto. A área total de tratamento foi de, aproximadamente, 7.500m².

A conformação do talude foi necessária para atingir uma geometria adequada desde o ponto de vista de estabilização a partir das condições reais do talude no momento da avaliação. O volume de material cortado para atingir 1V:1,5H foi de aproximadamente 38.295,53m³.

Para a estabilização com o solo grampeado, foi adotado, a partir das investigações e definição dos parâmetros de resistência do material, resistência ao arrancamento, a malha de grampos definida a partir das análises de estabilidade, foram de grampo formados por barras CA-50 com diâmetro D=25mm, espaçados 2V:2H com profundidade de 12m, totalizando 9.123,80m. Adicionalmente, foram executados sistemas de drenagem superficial e profundo para captação e direcionamento dos fluxos provenientes da chuva (ver seção 2.2.3).

O sistema de revestimento para a face do talude, conforme adotado em projeto, consistiu em um sistema flexível formado por um geocomposto que consiste na associação de geomanta flexível, tridimensional, que apresenta mais de 90% de vazios, fabricada a partir de filamentos grossos de polipropileno fundidos nos pontos de contato associada a um reforço metálico confeccionado com malha hexagonal de dupla torção o que permite que estes elementos trabalhem juntos, conferindo à solução características de elevada capacidade antierosiva, com ótima resistência à tração e proteção contra corrosão adequada para exposição direta ao sol e meio ambiente. O sistema de tela adotado foi o MacMat R1 fabricado pela empresa Maccaferri.

2.1.3 Estruturas complementares

Sistemas de drenagem são estruturas fundamentais para garantir não só a estabilidade como minimizar o fluxo superficial na área do talude.

No projeto, foram adotados sistemas de drenagem superficial e profundo em toda área. O sistema de drenagem superficial, constou de canaletas trapezoidais de 40x40cm com altura de 50cm passando pelas bermas dos três taludes, totalizando aproximadamente 360m, descarregando a água drenada em uma caixa de passagem e finalmente uma descida hidráulica que levaria a água até o ponto de coleta final na base do talude. Já para os Drenos sub-horizontal profundos (DHP) foram especificados, conforme projeto, três linhas de drenos, espaçadas a cada 5m entre eles, totalizando 87 und, de 50mm de diâmetro e 18m de profundidade para cada dreno.

2.2 Revegetação

Atualmente, a revegetação de talude, é uma ciência extremamente importante e necessária nas obras de engenharia sustentáveis, do ponto de vista de soluções e intervenções de baixo impacto ambiental e visual.

Para recuperação da área do talude, adicionalmente à aplicação do sistema de geomanta reforçada, foi juntamente aplicada a técnica de hidrossemeadura de um mulch formado por algumas espécies gramínea conforme mix na tabela 1 e 337,50 kg para aplicação em uma área de 7.500 m² do talude em questão.

Nome Popular	Nome Científico	Família	QUANTIDADE (KG/HA)
Azevém	<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	50
Nabo forrageiro	<i>Raphanus sativus L</i>	Leguminosa	50
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Leguminosa	50
Crotalaria	<i>Crotalaria juncea</i>	Leguminosa	60
Crotalaria	<i>Crotalaria ocreleuca</i>	Leguminosa	40
Calopogônio	<i>Stylosanthes mucunoides</i>	Leguminosa	40
Aveia	<i>Avena sativa</i>	Poaceae	40
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	Gramíneas	40
Capim Meloso	<i>Melinis multiflora</i>	Poaceae	40
Capim custódio	<i>Pennisetum setosum</i>	Poaceae	40
TOTAL			450

Tabela 1. Espécies e quantitativos para recuperação vegetal

3 ETAPAS E ASPECTOS DE EXECUÇÃO

A solução surgiu em meados do século XX na Europa, sendo que a primeira construção documentada foi um talude ferroviário próximo à cidade de Versalhes, na França, em 1972 (Clouterre, 1991). Já no Brasil, a técnica começou a se popularizar na década seguinte, tempo depois, algumas empresas com expertise em recuperação e execução de contenção e obras de artes, começaram a esta tecnologia para conseguir, de forma, eficiente e produtiva, a técnicas de estabilização com uso de reforços e revestimentos superficial em taludes.

Na área cicatriz do escorregamento, onde foi executado o solo grampeado verde, foi feito um retaludamento, conforme previsto em projeto até atingir uma declividade favorável à segurança. Posteriormente foi feita a perfuração para execução dos grampos, instalação das barras e injeção de nata, e por último a instalação do sistema de geomanta reforçada - MacMat R1 (Maccaferri) e plantio das espécies para revegetação da área.

Atualmente, existem várias técnicas de execução para realizar obras de estabilização de talude com Solo Grampeado Verde, entre elas, a aplicação do método descendente ou ascendente, com técnicas de rapel ou com plataforma elevatória, sistema de estruturas de andaime, fixação por sistema de roldanas e trilho, enfim, a escolha da técnica se dará, principalmente, devido as condições locais de instalação.

A execução do solo grampeado foi feita pela empresa Atlas Engenharia e Incorporações Ltda, seguindo as diretrizes e recomendações especificadas em projeto, de acordo com os critérios definidos pela contratante. A sequência executiva da solução seguiu as seguintes etapas:

- ✓ Estudo do local: Avaliação das condições do terreno, como tipo de solo, inclinação do talude, presença de água, entre outros para definição da logística de acesso, equipamentos e metodologia.
- ✓ Preparação do terreno: Limpeza da área e remoção de vegetação, rochas soltas, solo instável, entre outros.
- ✓ A partir do projeto, foram locados topograficamente, a posição e linha dos grampos.
- ✓ Perfuração: As perfurações seguiram o diâmetro, profundidade de acordo com a especificação do projeto.
- ✓ Instalação dos grampos (chumbadores): As barras de aço, com diâmetro especificado, protegidos contra corrosão e inseridos nas perfurações.
- ✓ Injeção de calda: Preenchimento com calda de cimento fator A/C de 0,5 especificado em projeto.
- ✓ Instalação de tela MacMat R1 (Maccaferri): instalação da tela, considerando o procedimento definido pelo fabricante.
- ✓ Revegetação: Aplicação da hidrossemeadura, seguindo o mix de semente determinado em projeto.

A sequência executiva aplicada, comandada pelas condições reais, no que respeita logística, acesso, liberação por parte da fiscalização, e condições executivas (equipamentos e equipe), o talude chamado de “talude 1” foi executado escavando 2m de altura para entrada do equipamento (PW 5000) para execução da primeira linha de furo. À medida que o equipamento ia realizando as perfurações no solo, as barras inseridas e a injeção da calda realizada, a linha era liberada, dando continuidade à próxima escavação para uma nova linha. Assim sucessivamente até atingir as 5 linhas de furo no talude 01. O furo era realizado com 12 metros de profundidade, inclinação de 30° e diâmetro de $\varnothing 76,2$ cm conforme figura 3.

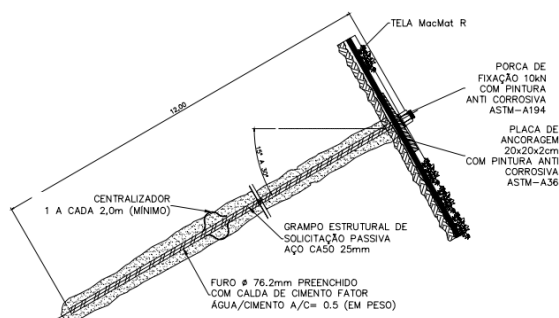


Figura 3: Furo de ancoragem



Figura 4: PW 5000

Para o talude denominado de “Talude 2”, a metodologia de escavação adotada, foi o corte por completo e logo a perfuração realizada por equipe especializada em acesso por corda e equipamento de perfuração conhecido como wagon drill, conforme figura 5, ficando ancorado no próprio talude durante a execução. Porém, seguindo o mesmo conceito executivo do talude 1, no que respeita furos, inserção dos chumbadores, injeção da calda de cimento e posteriormente o torqueamento da barra



Figura 5: Perfuração do talude 02 com Wagon Drill

Já para o talude 3, próximo da base, foi adotada a mesma metodologia do talude 1, perfuração motorizada com a PW 5000. Toda perfuração, instalação de chumbadores e injeção de calda foram feitos com equipe de corda. A instalação da tela MacMat R1 foi executada de duas maneiras diferentes ao longo do serviço, conforme mostrado na figura 6. Nos taludes 1 e 3, realizou-se os furos inicialmente, depois colocaram as mantas e posteriormente seguiu a sequência de colocação dos chumbadores. Já no talude 2, devido ao acesso por corda ter sido utilizado para perfuração, realizou-se colocação da tela inicialmente, e depois realizou-se a perfuração. As técnicas adotadas possuem dificuldades em relação a logística, segurança da equipe envolvida, manipulação dos equipamentos, dificuldade nos acessos e taxas de produtividades variadas em relação a condição do solo e geometria.

Por fim, foi aplicada a hidrossemeadura com mix de sementes por cima do sistema de MacMat R1 através do caminhão tanque utilizado na aplicação da hidrossemeadura.



Figura 6. Execução pelo método descendente

A definição da metodologia executiva, depende, na maioria dos casos, da concepção da solução e os critérios de projeto adotados para análises e verificação dos parâmetros e fatores de segurança adotados durante e após a obra.



Figura 7. Instalação do sistema de telas MacMat R1

A aplicação da técnica de hidrossemeadura pode ser feita antes ou após a instalação do sistema de malhas, oferecendo mais uma vantagem executiva deste tipo de solução.

De uma maneira geral a aplicação da técnica de estabilização de solo grampeado verde, envolve uma série de vantagens, não só do ponto de vista de execução, uma vez que permite que a sua execução seja feita com equipamentos menores e menos materiais de construção, permitindo o acesso a lugares, com alta complexidade, tempos menores de execução, adaptação fácil a materiais heterogêneos, que influencia muito na perfuração e injeção, rapidez na execução, sendo uma grande vantagem em regiões onde o período de chuva, muitas vezes, inviabilizam as obras. Este tipo de técnica, possibilita o ajuste de projeto, quando necessário. E oferece também ótimos resultados no que respeita o baixo impacto ambiental e visual, permitindo uma face drenante, possibilitando o recobrimento vegetal da área.



Figura 8. Obra finalizada (após 1 mês)



Figura 9. Obra finalizada (após 5 mês)

4 ASPECTOS DE DURABILIDADE E MANUTENÇÃO

As obras envolvendo elementos metálicos apresentam sua maior preocupação em relação aos processos de corrosão devido à exposição dos elementos à agressividade do meio ambiente no qual encontram-se instalados.

Inspeções e manutenções ao longo da sua vida útil serão necessárias, porém de acordo com as condições de agressividade do meio ambiente onde a solução for implantada, além das possíveis ocorrências e instabilidades no local.

A Corrosão em elementos de aço consiste na deterioração dos materiais metálicos por ação química ou eletroquímica, podendo estar ou não associadas a esforços mecânicos. Nos sistemas de malha de aço de alta resistência não é diferente. Os fabricantes deste tipo de solução tem se preocupado com o desenvolvimento de revestimentos metálicos de alto desempenho, dentre eles o Galmac®4R da Maccaferri, que é uma combinação ou liga de Zinco (Zn), Alumínio (Al) e presença de terras raras “Misch Metals” (MM), que após muita pesquisa e teste, chegou na liga Zn90Al10-MM, oferecendo um revestimento superior a 245g/m², atendendo as normas NBR 8964, EN 10223-3, EN ISO 6988 e EN ISO 9227, oferecendo características físico-químicas capazes aumentar a vida útil do material mesmo em condições de alta agressividade do meio.

No que respeita à durabilidade dos grampos ou elementos de ancoragem, que possuem com seu desempenho e resistência das barras de aço, dependerá não só da correta instalação no local se não também dos cuidados feitos durante a execução e fabricação. Não existe uma norma específica para chumbadores, porém as considerações feitas na norma ABNT NBR 5629/2006 são analogamente aplicáveis para as barras ou elementos de ancoragem usados no sistema com tela. A norma específica que a proteção contra corrosão poderá ser adotada de acordo com a agressividade do meio, sendo então necessárias a proteção Classe 1 para meios muito agressivos ou medianamente agressivos e Classe 2 para meios não agressivos. Adicionalmente, é importante que demais elementos e acessórios que compõem o sistema, cumpram com as devidas especificações técnicas e normas para garantir um bom desempenho e a vida útil esperada.

A frequência de inspeções pode ser coincidente com a rotina prevista para os taludes da ferrovia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de técnicas e tecnologias inovadoras em obras de contenção e estabilização de talude, visam contribuir com a engenharia no que respeita a sustentabilidade ambiental e de segurança. A técnica de estabilização por meio de solo grampeado verde vem crescendo, ganhando força, espaço e visibilidade na geotecnia brasileira e Latinoamérica. Obtermos um ganho de fator de segurança através de técnicas rápidas e de menores custos quando comparadas com técnicas convencionais, e, da mesma forma, aplicando revestimento na face do talude com características vantajosas do ponto de vista ambiental, visual e de custos, nos

AGRADECIMENTOS

Às empresas envolvidas, pelas informações disponibilizadas sobre a área de estudo e desenvolvimento do projeto, à empresa ATLAS ENGENHARIA pela contribuição na descrição das etapas de execução da obra, e pelas contribuições e empresa MACCAFERRI pelas informações técnicas disponibilizadas para elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). NBR 11682. Estabilidade de Encosta. Rio de Janeiro.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013) – NBR8964 Arames de aço de baixo teor de carbono, revestidos, para gabiões e demais produtos fabricados com malha de dupla torção
- CLOUTERRE, RECOMMENDATIONS CLOUTERRE. Soil nailing recommendations for designing, calculating, constructing and inspecting earth support systems using soil nailing (English translation). 1991. Scientific Committee of the French National Project Clouterre, ENPC, Paris, France. In: Report FHWA-SA-93-026, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, USA, July. Edited by F. Schlosser.
- GEORIO (2014) *MANUAL TÉCNICO DE ENCOSTAS*, Fundação GEORIO, Rio de Janeiro, 02 Volumes, 705p
- Guarnier, L. (2003) *Geología Precambriana da Região de Nova Era, Extremo NE do Quadrilátero Ferrífero - MGSoil*, São Paulo, SP, BRASIL, 217 p.
- EN –ISO 6988 (2016): Metallic and other non organic coatings
- EN –ISO 9227 (2017): Corrosion tests in artificial atmospheres -- Salt spray tests
- Rosa, D. L.; Pelizoni, A. (2018). Proposta de Plano de Manutenção para Taludes Ferroviários na Malha Ferroviária da MRS, XIX Congresso Brasileiro de de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, p.3-6