

Destinatário:

Embyá Paisagens & Ecossistemas

Proponente:

Salix Engenharia Natural

**PARQUES LINEARES VALE DO TAQUARI
PASSO DE ESTRELA**

Projeto Executivo

**Abordagem de Engenharia Natural para a Recuperação e
Estabilização da Margem Direita do Rio Taquari, no Parque Linear
Passo de Estrela, em Cruzeiro do Sul-RS**

EMBYÁ



Janeiro de 2026

DESTINATÁRIO:

Embyá Paisagens & Ecossistemas

EMBYÁ

Representantes:

Sra Elena Gepetti
Arquiteta e Paisagista

Sra Isadora Riker
Arquiteta e Paisagista

CONTRATADA:

Salix Engenharia Natural Ltda



Equipe técnica e gerencial:

Charles R. B. MAFFRA,
Eng. Florestal, Dr.
Responsável técnico

CHARLES RODRIGO
BELMONTE
MAFFRA:01785438026

Assinado de forma digital por
CHARLES RODRIGO BELMONTE
MAFFRA:01785438026
Dados: 2026.03.13 09:34:53
-03'00"

Documento assinado digitalmente

Tiago BISOGNIN IMMICH
Eng. Civil, Me.

gov.br

TIAGO BISOGNIN IMMICH

Data: 13/03/2026 11:09:36-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente

Guilherme Luís Marasca
Eng. Civil

gov.br

GUILHERME LUIS MARASCA

Data: 13/03/2026 11:19:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Diego POZWARDOWSKI LEONARCZYK
Eng. Florestal, Téc. Agrícola, Eng. ST

DIEGO
POZWARDOWSKI
LEONARCZYK:842
54807015

Assinado de forma digital
por DIEGO
POZWARDOWSKI
LEONARCZYK:842548070
15
Dados: 2026.03.13
09:38:06 -03'00"

Rafael VENDRUSCOLO
Eng. Florestal, Me.

RAFAEL
VENDRUSCOLO:01
547374020

Assinado de forma digital por
RAFAEL
VENDRUSCOLO:01547374020
Dados: 2026.03.13 09:36:48
-03'00"

Documento assinado digitalmente

Paulo AFONSO DA ROSA
Analista em Geoprocessame

gov.br

PAULO AFONSO DA ROSA

Data: 13/03/2026 09:48:50-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rivael VAZ DA SILVA
Eng. Florestal, Téc. Agropecuária
Diretor Administrativo

RIVAEV VAZ DA
SILVA:0031982
0009

Assinado de forma
digital por RIVAEV VAZ
DA SILVA:00319820009
Dados: 2026.03.13
09:39:12 -03'00"

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO DO PROJETO	3
3	CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MARGEM A SER TRATADA.....	4
4	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS.....	4
4.1	Serviços Iniciais	4
4.1.1	Terraplenagem e Regularização da Margem.....	5
4.1.2	Aplicação de Calcário sobre o Solo Reconformado	5
4.1.3	Cuidados com o Material Vegetal	5
4.2	Técnicas de Engenharia Natural a Serem Aplicadas	6
4.2.1	Enrocamento vegetado	6
4.2.2	Rede antierosiva e plantio de arbustivas em linha	13
4.2.3	Plantio de arbustivas autóctones em linha.....	15
4.2.4	Plantio de herbáceas na faixa das arbustivas.....	16
4.2.5	Plantio de herbáceas na área das arbóreas	17
4.2.6	Plantio de herbáceas no entorno das figueiras remanescentes.....	18
4.2.7	Plantio de arbustivas e herbáceas autóctones na região do mirante projetado.....	19
4.2.8	Plantio das espécies arbóreas.....	19
4.2.9	Conexão entre biovaleta e enrocamento vegetado.....	22
4.3	Trabalhos concomitantes e complementares	23
4.4	Vegetação Indicada.....	25
4.5	Produção das mudas	32
5	MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO	37
6	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	38
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
9	ANEXOS.....	43
9.1	Quantitativo de materiais.....	44

9.2 Pranchas esquemáticas..... 45

1 INTRODUÇÃO

A margem direita do rio Taquari, no trecho conhecido como Passo de Estrela, no município de Cruzeiro do Sul–RS, integra hoje uma das áreas mais emblemáticas do processo de reconstrução ambiental, social e paisagística do Vale do Taquari após as enchentes históricas de maio de 2024. Neste evento extremo, a força das águas remodelou completamente a paisagem, promoveu o colapso de taludes, removeu residências situadas no raio interno da curva do rio e evidenciou, de forma inequívoca, a fragilidade da margem frente às elevadas energias hidráulicas atuantes.

A área, atualmente limpa e destinada à implantação de um parque multiuso com forte vocação ecológica e paisagística, exige uma solução técnica que vá além da simples contenção estrutural. Trata-se de um espaço onde estabilidade geotécnica, segurança hidráulica, recuperação ambiental, integração com o uso público e valorização do ambiente natural precisam caminhar de forma conjunta.

Neste contexto, a Engenharia Natural, também conhecida como Bioengenharia, apresenta-se como uma alternativa adequada e viável, por associar estruturas de proteção física da margem com o uso intensivo de vegetação autóctone, promovendo estabilização progressiva, aumento da resistência ao cisalhamento do solo pelas raízes, dissipação de energia do escoamento, proteção superficial contra erosão e, simultaneamente, restauração dos processos ecológicos ao longo da margem impactada.

O presente documento constitui o Projeto Executivo de Engenharia Natural para estabilização e recuperação da margem do rio Taquari no trecho de Passo de Estrela e reúne os elementos técnicos necessários para orientar a execução da obra.

2 OBJETIVO DO PROJETO

O presente projeto tem como objetivo principal estabilizar a margem direita do rio Taquari ao longo de aproximadamente 860 m de extensão, por meio da aplicação integrada de técnicas de Engenharia Natural, assegurando a proteção contra processos erosivos, solapamentos e escorregamentos, bem como promovendo a recuperação ambiental, paisagística e funcional da área inserida no futuro Parque Linear de Passo de Estrela.

Busca-se com o projeto, atingir os seguintes objetivos complementares:

- Reduzir a vulnerabilidade da margem frente a eventos hidrológicos extremos;
- Reestabelecer a conectividade ecológica entre o rio e sua área de influência;
- Implantar uma faixa de APP funcional, com elevada diversidade de espécies vegetais nativas;
- Promover uma solução durável, resiliente e integrada à dinâmica natural do rio.

3 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MARGEM A SER TRATADA

A área de intervenção localiza-se no raio interno de uma curva do rio Taquari, ambiente naturalmente caracterizado como zona de deposição de sedimentos. Em função da elevada energia dos escoamentos durante cheias, da grande altura da margem e da perda da cobertura vegetal, o trecho passou a apresentar perdas consideráveis de solo e instabilidade geotécnica em regiões mais próximas ao curso de água.

A margem a ser tratada possui extensão aproximada de 860 m e área total aproximada de 55.800 m². As alturas dos taludes variam entre aproximadamente 10 m e 20 m. As inclinações naturais observadas ao longo do trecho variam de cerca de 50% a 80%, o que corresponde, respectivamente, a aproximadamente 28,6° e 45,8°. Em alguns pontos críticos, as inclinações se aproximam da condição vertical, atingindo ângulos próximos ou iguais a 90°.

As investigações geotécnicas realizadas por meio de sondagens à percussão (SPT) indicaram, de forma geral, a seguinte sequência estratigráfica:

- Camada superficial composta por solo silte arenoso, marrom, de origem transportada (fluvial), sem plasticidade e de comportamento mole;
- Camadas subjacentes formadas por solo argilo-siltoso, marrom a marrom escuro, de origem residual de rocha vulcânica, sem plasticidade, com compactação variando de média a rija;
- Em maiores profundidades, predomina solo argilo-siltoso residual de rocha vulcânica com compactidade rija a muito rija.

De modo geral, as sondagens indicaram um subsolo relativamente homogêneo, com ausência de pedregulhos na maior parte dos pontos e resistência consistente ao longo das profundidades investigadas, refletida em valores de número de golpes relativamente constantes. Isso demonstra que a instabilidade observada atualmente não está relacionada a fraquezas intrínsecas do maciço de solo, mas principalmente à ação hidráulica intensa na base do talude e à geometria desfavorável da margem.

Considerando a energia do escoamento, com velocidades estimadas da ordem de 3,7 m/s durante grandes cheias, a não intervenção neste trecho implicaria na continuidade e no agravamento progressivo dos processos erosivos, com perdas sucessivas de material e manutenção da instabilidade das margens atuais.

4 DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS

4.1 Serviços Iniciais

Compreendem todos os preparativos necessários para criar as condições adequadas à execução das técnicas de Engenharia Natural, garantindo segurança, eficiência e qualidade na implantação das estruturas e dos plantios.

4.1.1 Terraplenagem e Regularização da Margem

Trata-se de todas as operações de corte e aterro necessárias para a reconformação geométrica da margem e dos taludes, de modo a atingir uma inclinação média aproximada de 21,8°, compatível com a estabilidade geotécnica e com a aplicação das técnicas de bioengenharia previstas.

Devido ao grande volume de material a ser movimentado, as volumetrias de corte e aterro encontram-se detalhadas em projeto específico de terraplenagem, que integra o projeto geral do Parque Linear e do qual este Projeto de Engenharia Natural faz parte. Assim, este documento remete às definições técnicas e quantitativas constantes naquele projeto específico.

4.1.2 Aplicação de Calcário sobre o Solo Reconformado

Após a reconformação dos taludes, deve ser realizada a aplicação de calcário sobre as superfícies de solo exposto, com o objetivo de corrigir a acidez, favorecer a atividade biológica e criar melhores condições para o estabelecimento das espécies vegetais a serem implantadas.

O calcário a ser aplicado deve ser, preferencialmente, do tipo Filler, com PRNT >90%, que proporciona uma ação mais rápida no solo, elevando o seu pH.

O calcário deve ser aplicado em área total, cerca de 47.641 m², na proporção de 1000 kg/ha. As dosagens e as quantidades previstas para a região de cada a ser implantadas são apresentadas no *Anexo I, Quantitativo de Materiais*.

4.1.3 Cuidados com o Material Vegetal

O material vegetal deverá ser transportado desde os viveiros florestais até a área de obra em caminhões com cabine fechada, protegendo as mudas da ação do vento, insolação excessiva e desidratação.

Caso as mudas permaneçam no local da intervenção antes do plantio, deverá ser adotada uma rotina diária de irrigação, garantindo a manutenção da umidade adequada e a qualidade das plantas até a sua efetiva implantação. Se os plantios foram ocorrerem em períodos muito quentes é importante considerar a preparação de uma cobertura com sombreamento para acomodá-las ou, então, retirá-las dos viveiros apenas quando forem prontamente utilizadas nas intervenções.

Quando as mudas ficarem alocadas na região das obras, também é importante observar a ação de formigas cortadeiras e, se necessário, realizar o seu controle. Quando necessário o controle, deve-se utilizar, no máximo, 10 g de isca formicida granulada por metro quadrado, aplicados próximos às trilhas e próximo as entradas de seus ninhos. Não deve ser realizada a aplicação em dias úmidos.

Os procedimentos indicados nesta seção também são essenciais para o sucesso da intervenção a ser implantada.

4.2 Técnicas de Engenharia Natural a Serem Aplicadas

Todas as técnicas descritas a seguir deverão ser executadas de forma integrada, respeitando-se os quantitativos, densidades, espécies, doses de adubação e volumes de hidrogel definidos na planilha de quantitativos que integra os Anexos deste projeto.

4.2.1 Enrocamento vegetado

O enrocamento vivo é uma técnica de proteção fluvial que combina a disposição longitudinal de rochas com dimensões adequadas à velocidade limite de transporte do curso d'água e a incorporação de mudas arbustivas autóctones com elevada resiliência às dinâmicas de submersão e variação de nível do rio. Essa combinação cria uma estrutura híbrida, ao mesmo tempo física e biológica, capaz de oferecer proteção imediata contra processos erosivos intensos e de promover, ao longo do tempo, um reforço biotécnico progressivo. As pedras reduzem a energia do fluxo ao aumentar a rugosidade hidráulica, favorecendo o depósito natural de sedimentos na base da margem, enquanto os sistemas radiculares das plantas aumentam a coesão do conjunto, fortalecem o maciço do talude e consolidam os interstícios do enrocamento. Além do papel estrutural, as espécies utilizadas contribuem para a recomposição ambiental, estimulam a sucessão ecológica e reduzem o impacto visual do uso de rochas, garantindo que a intervenção se integre ao ambiente fluvial de forma mais natural e duradoura.

O enrocamento vivo é a técnica de maior robustez estrutural dentro do conjunto aplicado na margem. Ele atua diretamente na região de maior energia hidráulica, protegendo o pé do talude contra solapamentos, erosão regressiva e esforços concentrados durante eventos de cheia. Além de servir como barreira física, o plantio nos interstícios das rochas cria reforço biotécnico progressivo, aumentando a coesão interna da estrutura com o desenvolvimento radicular das espécies utilizadas.

O enrocamento vivo compõe a faixa estrutural de proteção primária da margem, ocupando aproximadamente 860 m de comprimento por 15 m de largura (5 m de pé ou base e 10 m de enrocamento vegetado). Após a reconformação do talude para inclinação média de 21,8°, deve-se verificar a necessidade de preparação de uma berma (ou mais), dividindo o comprimento da rampa, para facilitar o alcance do equipamento (escavadeira hidráulica) que irá realizar o enrocamento.

A primeira parte do enrocamento é a preparação de uma vala para alocação da base ou pé do enrocamento. As dimensões da vala para o enrocamento estão apresentadas nas pranchas esquemáticas em anexo e os aspectos gerais podem ser observados na **Figura 1**.

Preferencialmente, a base da escavação deverá ficar 1 m abaixo do nível normal da água do rio Taquari e, sempre que possível, horizontalmente distanciada por pelo menos 3 m do N.A.. O enrocamento do pé, que deverá ser executados com rochas lançadas de diâmetro $D50 \geq 1,10$ m, deverá ter uma largura de base de 4,0 m, uma espessura média de 2,77 m e um comprimento de superfície de aproximadamente 5,0 m. Preferencialmente, as rochas devem ser angulosas (não redondas), para favorecer o imbricamento e a estabilidade.

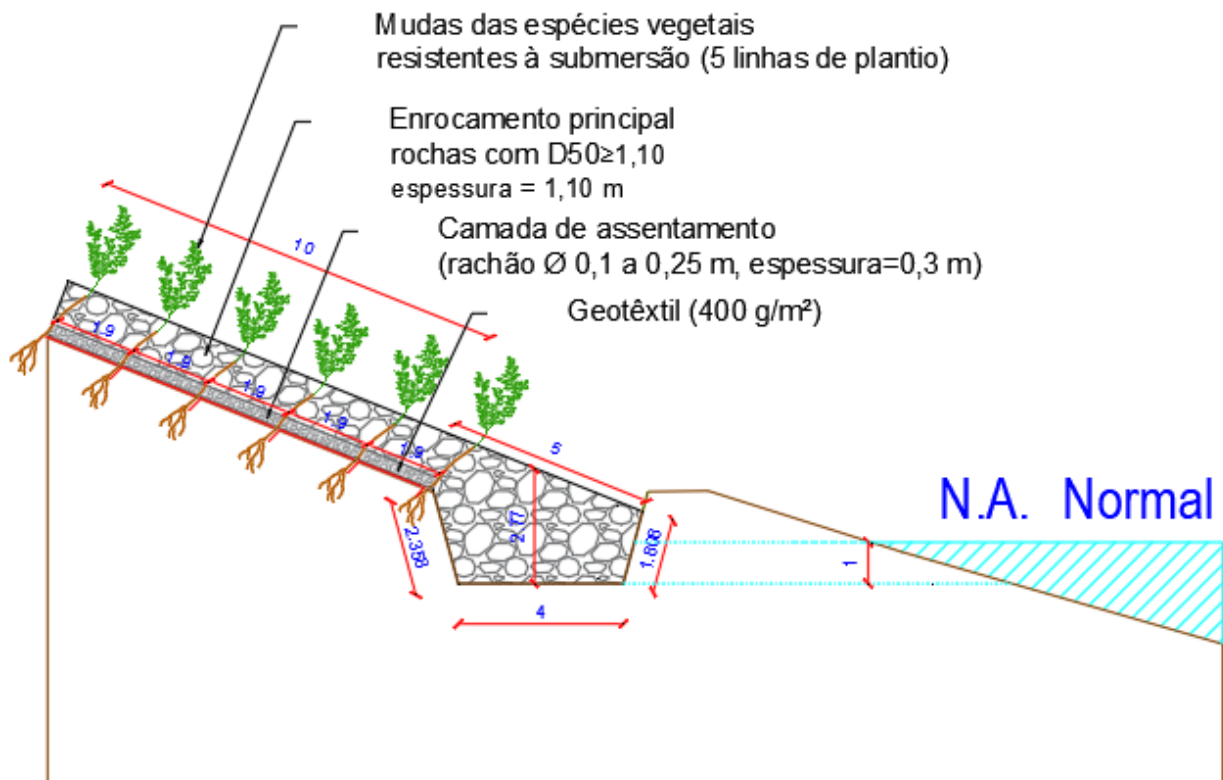


Figura 1. Aspectos gerais do enrocamento vegetado projetado.

Após a finalização do enrocamento do pé do talude, deve ser aberta uma pequena vala longitudinal de plantio ao longo de toda a margem a ser tratada. Como essa vala será utilizada para plantio, sua profundidade aproximada deverá ser de 20 cm. Nesta primeira linha de plantio, deverão ser utilizadas as espécies *Phyllanthus sellowianus* (5 mudas/metro linear; 4300 mudas) e *Gymnanthes schottiana* (3 mudas/metro linear; 2580 mudas) em uma densidade total de 8 mudas/metro linear, representando um total de 6880 mudas na primeira linha de plantio do enrocamento vegetado. Nesse plantio, cada muda deverá receber 25 g de adubo NPK 13:24:12 (ou formulação similar) e 300 ml de hidrogel. O adubo deve ser aplicado mais afastado das raízes (ao fundo da vala) e o hidrogel deve ser aplicado diretamente sobre as raízes. Após isso uma camada de solo de cerca de 20 cm deve ser colocada sobre as raízes das mudas e pressionada com os pés para que se elimine a presença de bolsões de ar. Como as mudas devem ficar deitadas na vala, é importante que o colo delas não fique excessivamente coberto com solo (a

parte aérea deve ficar livre). Sempre que possível, as espécies devem ser plantadas de maneira intercalada (uma de *Phyllanthus*, uma de *Gymnanthes schottiana* e assim sucessivamente).

Ao ser finalizada a primeira linha de plantio, pode-se iniciar a aplicação da camada filtro, constituída por geotêxtil não tecido agulhado (≥ 400 g/m², resistência à tração ≥ 20 KN/m, permeabilidade $\geq 0,36$ cm/s, resistência ao puncionamento $\geq 4,0$ KN). O geotêxtil deverá ser aplicado longitudinalmente sobre a margem em larguras que coincidam com a das valetas que também serão utilizadas para o plantio em linha das mudas das espécies reófitas (*Pranchas Esquemáticas em Anexo*). Ao todo serão cinco linhas de geotêxtil (para corresponder aos 10 m de enrocamento vegetado. As linhas de geotêxtil deverão ser ancoradas/enterradas nas valas (que também serão utilizadas para plantio) a cada 1,90 m de largura, sendo que 40 cm devem ficar dentro das valas de ancoragem (utilizar geotêxtil de 2,30 m de largura). Quando houver necessidade de sobreposição longitudinal (lateral) entre geotêxteis, considerar 30 cm de sobreposição, de modo que o geotêxtil de montante fique sobre o de jusante.

Após a colocação da primeira faixa de geotêxtil, a partir da primeira linha de plantio deve-se iniciar a aplicação da camada de rochas de assentamento (rachão de basalto, espessura de 30 cm), com função principal de proteger o geotêxtil. Deve-se ter extremo cuidado com as rochas que irão ficar acomodadas próximas às mudas, pois estas não podem ser esmagadas ou quebradas. A aplicação da camada de assentamento deve ser feita longitudinalmente sobre o geotêxtil, também aplicado longitudinalmente, em uma largura aproximada de 1,90 m (*Verificar Pranchas Esquemáticas*).

Finalizada a aplicação do rachão na camada de assentamento, deve-se iniciar a aplicação longitudinal da camada de enrocamento principal, também na largura inicial de 1,90 m. Esse enrocamento terá espessura de 1,10 e será composto por rochas de basalto com D50 $\geq 1,10$ m. Novamente, destaca-se a importância de que essas rochas sejam acomodadas próximas as mudas cuidando-se que estas não sejam esmagadas ou quebradas no processo. No processo de distribuição das rochas, deve-se tomar o cuidado de alocar primeiro as rochas maiores e depois preencher os interstícios entre as rochas maiores com as rochas de menores dimensões. É importante deixar ressaltar que a superfície final do enrocamento não ficará regularizada (nivelada), mas sim rugosa, devido as diferenças nos diâmetros das rochas. Esse aspecto é muito desejado pois auxiliará na redução da velocidade do fluxo sobre a margem em períodos de cheia.

Ao ser finalizada a camada de enrocamento principal, estão encerradas ou finalizadas a primeira linha de enrocamento com 1,90 m de largura e a primeira linha de plantio. Assim, pode-se dar início a segunda linha de plantio, seguida da aplicação e ancoragem do geotêxtil (cerca de 1,90 m de largura), aplicação da camada de assentamento em rachão (espessura de 30 cm; cerca de 1,90 m de largura), e por fim, a camada de enrocamento principal (espessura 1,10 e

rochas D50 $\geq 1,10$ m, cerca de 1,90 de largura). Esse processo deve ser repetido até a finalização dos 10 m de extensão do enrocamento vegetado.

Tanto a camada de filtro quanto a camada principal de enrocamento com rochas de D50 $\geq 1,10$ m devem ser apenas lançadas e organizadas com auxílio da concha das escavadeiras hidráulicas, sem necessidade de compactação. O objetivo é permitir que as pedras se acomodem naturalmente, garantindo permeabilidade, elevada rugosidade e boa interface para o desenvolvimento das plantas. O pé do enrocamento terá uma área total de 4.204 m² (5 m de largura) e o enrocamento vegetado terá uma área total de 8.079 m² (10 m de largura).

Ao todo, serão 6 linhas de plantio. Cada uma das linhas deverá ser plantada respeitando-se as seguintes composições:

- **1ª linha de plantio:** total de 6880 mudas (8 mudas/metro linear), sendo 4300 mudas de *Phyllanthus sellowianus* (5 mudas/metro linear); 2580 mudas de *Gymnanthes schottiana* (3 mudas/metro linear);
- **2ª linha de plantio:** total de 6020 mudas (7 mudas/metro linear), sendo 3440 mudas de *Phyllanthus sellowianus* (4 mudas/metro linear) e 2580 mudas de *Gymnanthes schottiana* (3 mudas/metro linear);
- **3ª linha de plantio:** total de 2958 mudas que deverão ser plantadas em cerca de 860 m lineares, intercalando-se as espécies conforme as suas quantidades (cerca de 3,4 mudas/m linear, ou seja, cerca de uma muda a cada 30 cm na linha de plantio). Ao todo serão 1342 mudas de *Gymnanthes schottiana*, 1212 mudas de *Calliandra brevipes*, 202 mudas de *Pouteria salicifolia* e 202 mudas de *Terminalia australis*;
- **4ª linha de plantio:** total de 2958 mudas que deverão ser plantadas em cerca de 860 m lineares, intercalando-se as espécies conforme as suas quantidades (cerca de 3,4 mudas/m linear, ou seja, cerca de uma muda a cada 30 cm na linha de plantio). Ao todo serão 1342 mudas de *Gymnanthes schottiana*, 1212 mudas de *Calliandra brevipes*, 202 mudas de *Pouteria salicifolia* e 202 mudas de *Terminalia australis*;
- **5ª linha de plantio:** total de 2958 mudas que deverão ser plantadas em cerca de 860 m lineares, intercalando-se as espécies conforme as suas quantidades (cerca de 3,4 mudas/m linear, ou seja, cerca de uma muda a cada 30 cm na linha de plantio). Ao todo serão 1342 mudas de *Gymnanthes schottiana*, 1212 mudas de *Calliandra brevipes*, 202 mudas de *Pouteria salicifolia* e 202 mudas de *Terminalia australis*;
- **6ª linha de plantio:** total de 2958 mudas que deverão ser plantadas em cerca de 860 m lineares, intercalando-se as espécies conforme as suas quantidades (cerca de 3,4 mudas/m linear, ou seja, cerca de uma muda a cada 30 cm na linha de plantio). Ao todo serão 1342 mudas de *Gymnanthes schottiana*, 1212 mudas de *Calliandra brevipes*, 202 mudas de *Pouteria salicifolia* e 202 mudas de *Terminalia australis*.

Cada muda deve receber 25 g de adubo NPK 13:24:12 (ou formulação similar) e 300 ml de hidrogel. Ao todo, neste item, está previsto o plantio de 24.735 mudas de espécies arbustivas e arboretas autóctones de comportamento reófito.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

Para consolidar o entendimento das descrições deste item, é importante que sejam consultadas as pranchas esquemáticas em ANEXO.

Na **Figura 2** é possível observar aspectos gerais de execução e evolução de um enrocamento vegetado. Na **Figura 3** é possível observar aspectos de um enrocamento vegetado logo após execução e sua evolução 10 meses após a execução.

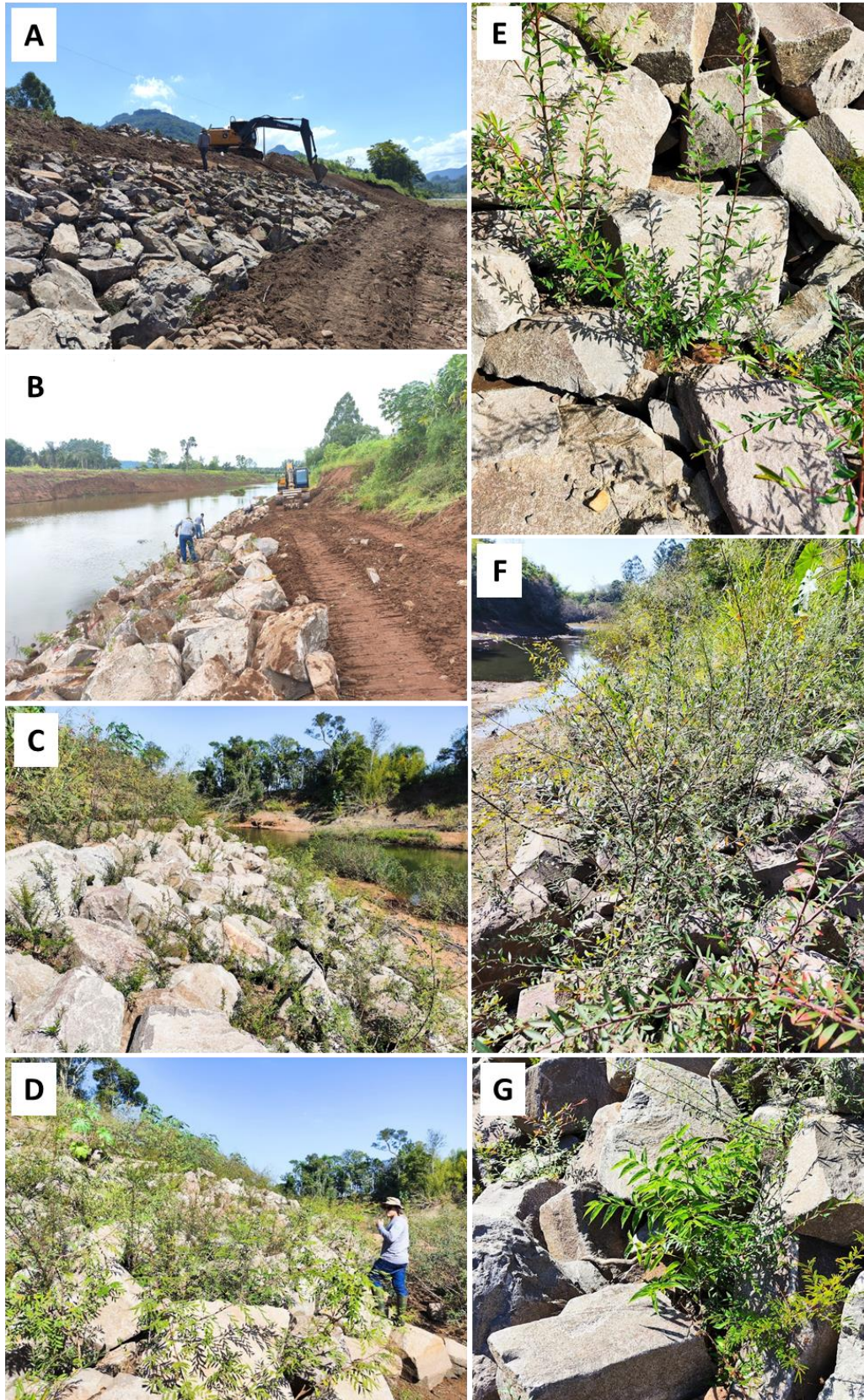


Figura 2. Aspectos gerais de um enrocamento vegetado similar ao que será implantado. (A) Talude reafirmado e início da construção do enrocamento; (B) Plantio do enrocamento com espécies arbustivas autóctones de comportamento reófito; (C), (D), (E) e (F) Aspecto geral do desenvolvimento da vegetação plantadas no enrocamento vegetado; (G) Surgimento e desenvolvimento de espécies autóctones espontâneas nos interstícios das rochas. Fonte das Imagens: Salix Engenharia Natural, 2025.

Salix Engenharia Natural Ltda.

Rua 21 de Abril, 316, Centro, Frederico Westphalen-RS | Contato: (55) 2010-8196 | salix.eng@gmail.com



Figura 3. Aspectos gerais da evolução de um enrocamento vegetado após a sua implantação. Obra realizada no rio Pardinho, em Santa Cruz do Sul-RS. Fonte das Imagens: Salix Engenharia Natural, 2025.

4.2.2 Rede antierosiva e plantio de arbustivas em linha

Esta técnica ocupa a faixa intermediária do talude, onde a energia hidráulica já é menor, mas ainda existe vulnerabilidade a erosão superficial, escoamento concentrado e instabilização de partículas finas. A biorede de fibra de coco aumenta a rugosidade, fixa o solo exposto e reduz a velocidade do escoamento superficial. O plantio das arbustivas complementa essa proteção, estabelecendo um sistema radicular denso e profundo que confere estabilidade duradoura ao talude.

A biorede ou biomanta de fibra de coco com gramatura de 400 g/m², com largura final de 5 m, com sobreposição entre faixas de 20 cm, sendo a aplicação realizada sempre de baixo para cima, deverá ser aplicada em uma área de 4.863 m².

Sobre a biorede de fibra de coco devem ser implantadas 6 linhas de espécies arbustivas, em espaçamento de 1,0 x 1,0 m, utilizando-se as espécies vegetais autóctones *Calliandra brevipes*, *Sesbania virgata*, *Gymnanthes schottiana* e *Mimosa pigra*. Cada muda deve receber 25 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 300 ml de hidrogel. Nesta técnica, está previsto o plantio de 4.865 mudas, em uma área de 4.863 m².

Para o plantio das arbustivas nesta técnica, primeiro realizada uma abertura na biorede e depois abre-se uma cova com auxílio de alavanca ou trado helicoidal motorizado, com cerca de 20 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade. No fundo da cova incorpora-se a dose de adubo prevista, seguida da aplicação do hidrogel previamente hidratado. A muda é posicionada de modo que o torrão fique em contato direto com o solo. A cova é então preenchida com terra solta, que deve ser levemente pressionada para eliminar bolsões de ar e garantir a fixação adequada da muda.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

Na **Figura 4** é possível observar aspectos gerais de execução e evolução de uma biorede vegetada.

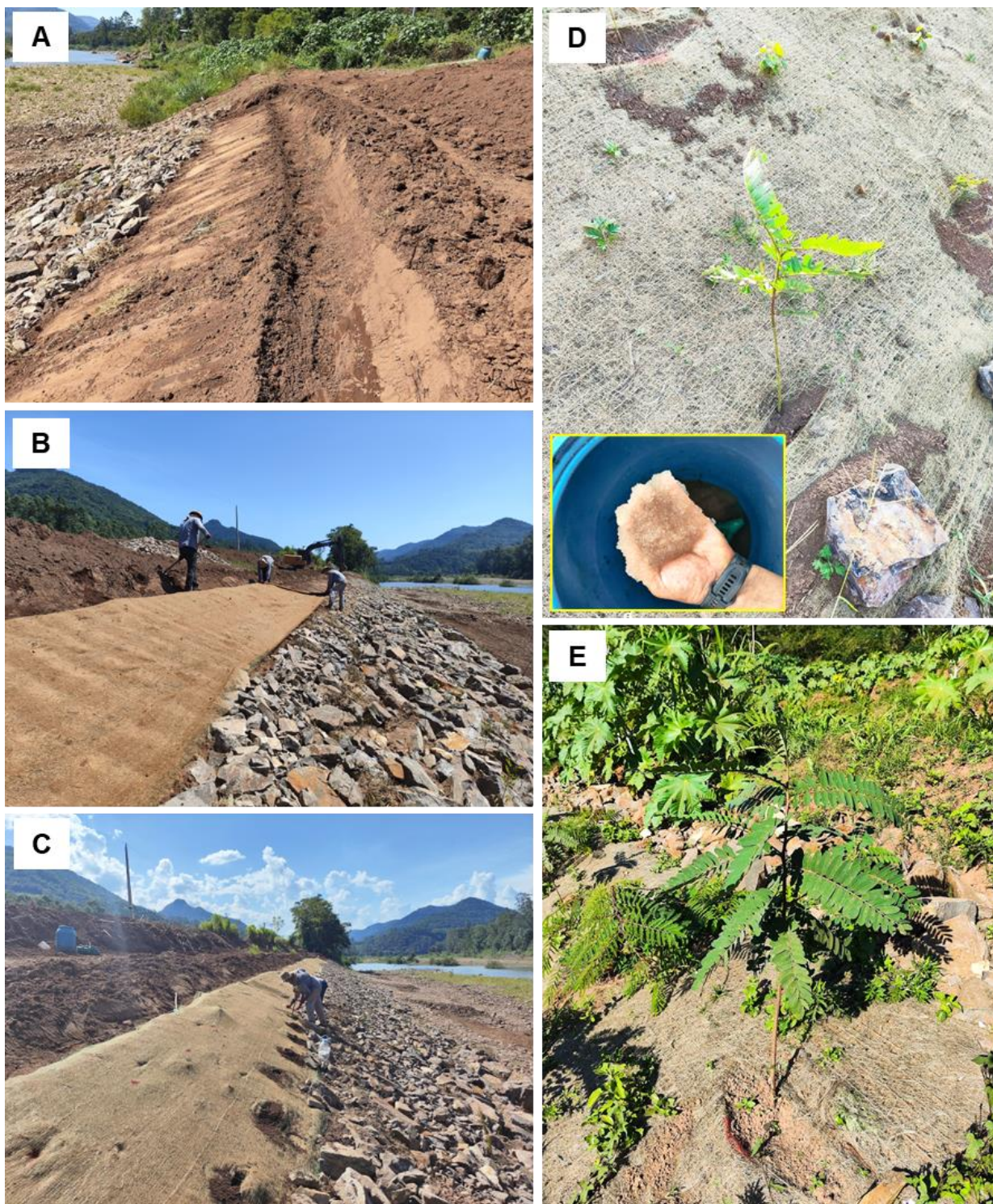


Figura 4. Aspectos gerais da implantação da biorede/biomanta de fibra de coco vegetada e a sua evolução após implantação. (A) Preparo do terreno para receber a biorrede, ajustando a superfície na inclinação correta; (B) Revestimento da superfície com a biorede; (C) Preparo das covas sobre a biorede; (D) Mudanças plantadas na biorede e, no detalhe, hidrogel que deve obrigatoriamente ser utilizado no plantio; (E) Muda em desenvolvimento, 3 meses após o plantio. Fonte das Imagens: Salix Engenharia Natural, 2025.

4.2.3 **Plantio de arbustivas autóctones em linha**

Esta técnica reforça a estabilidade na porção superior do talude, contribuindo para criar uma transição segura entre as áreas estruturais inferiores e as áreas de recuperação ecológica. As arbustivas atuam reduzindo o impacto da chuva direta, aumentando a rugosidade superficial e formando um tecido radicular contínuo que bloqueia erosões em sulco e ravinamento inicial.

O plantio das espécies arbustivas deve ser realizado em aproximadamente 4 linhas, no espaçamento de 1,0 x 1,0 m, utilizando-se as espécies *Calliandra brevipes*, *Sesbania virgata*, *Gymnanthes schottiana* e *Mimosa pigra*. Plantadas as 4 linhas, e no caso de sobra de mudas, o excedente deve ser plantado de maneira intercalada entre as 4 linhas de plantio. Cada muda receberá 25 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 300 ml de hidrogel. Nesta técnica, está previsto o plantio de 4.316 mudas, em uma área de 4.316 m².

Para o plantio das arbustivas nesta técnica, primeiro realizada uma abertura na biorrede e depois abre-se uma cova com auxílio de alavanca ou trado helicoidal motorizado, com cerca de 20 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade. No fundo da cova incorpora-se a dose de adubo prevista, seguida da aplicação do hidrogel previamente hidratado. A muda é posicionada de modo que o torrão fique em contato direto com o solo. A cova é então preenchida com terra solta, que deve ser levemente pressionada para eliminar bolsões de ar e garantir a fixação adequada da muda.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

Na **Figura 5** é possível observar aspectos gerais de um plantio de espécies arbustivas autóctones.



Figura 5. Exemplo da implantação de arbustivas autóctones sobre uma margem fluvial em recuperação. Fonte das Imagens: Salix Engenharia Natural, 2025.

4.2.4 *Plantio de herbáceas na faixa das arbustivas*

As herbáceas implantadas entre as linhas arbustivas têm função essencial de cobertura rápida do solo, reduzindo significativamente o risco de erosão superficial entre as linhas de arbustivas plantadas. Elas criam um colchão verde que mantém a umidade, protege o solo contra impacto direto das chuvas e dificulta a instalação de plantas invasoras e ainda tendem a melhorar a qualidade do solo para as demais espécies (**Figura 6**).

Na faixa entre as linhas de arbustivas são plantadas as espécies herbáceas *Arachis repens* (2 un/m²) e *Sphagneticola trilobata* (2 un/m²), totalizando 4 unidades/m². Cada muda receberá 20 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 100 ml de hidrogel. *Ao todo, está prevista a implantação de 17.264 mudas, em uma área de 4.316 m².*

Para o plantio das herbáceas, abre-se uma cova com cerca de 10 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade, utilizando alavanca manual ou trado helicoidal motorizado. No fundo da cova incorpora-se a quantidade de adubo indicada, seguida pela aplicação do hidrogel. A muda é então posicionada garantindo contato do torrão com o solo. O preenchimento da cova é feito com solo solto, que deve ser suavemente pressionado para eliminar bolsões de ar.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

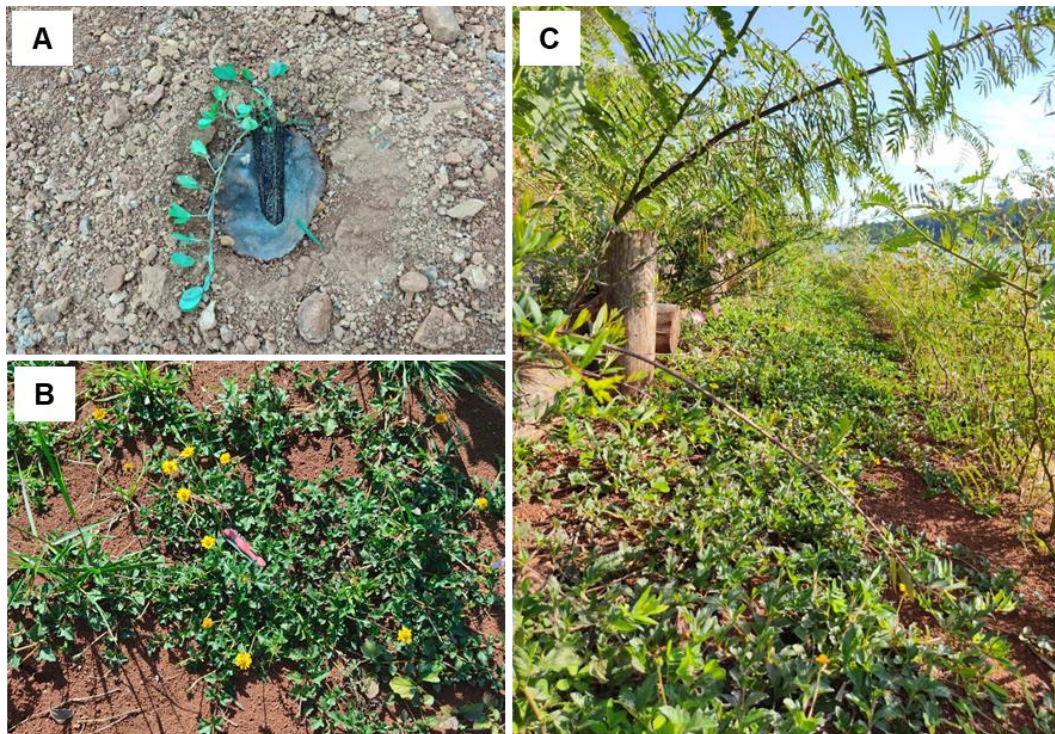


Figura 6. Exemplo de plantio e desenvolvimento de mudas de herbáceas entre espécies arbustivas. (A) Plantio de herbácea entre espécies arbustivas; (B) Desenvolvimento das herbáceas plantadas; (C) Herbáceas recobrando o solo, 4 meses após o seu plantio. Fonte das Imagens: Salix Engenharia Natural, 2020.

4.2.5 *Plantio de herbáceas na área das arbóreas*

Nesta faixa superior, destinada ao restabelecimento da APP, as herbáceas atuam como proteção inicial do solo até que as mudas arbóreas se estabeleçam e comecem a sombrear o ambiente. Elas mantêm a superfície estável, reduzem processos erosivos e melhoram a qualidade do solo, facilitando o desenvolvimento das árvores nativas (**Figura 7**).

Entre as espécies arbóreas plantadas devem ser plantadas as espécies herbáceas *Arachis repens* e *Sphagneticola trilobata* em espaçamento de 2,0 x 2,0 m. Cada muda receberá 20 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 100 ml de hidrogel. Ao todo, está previsto o plantio de 19.771 mudas, em uma área de 19.771 m².

Para o plantio das herbáceas, abre-se uma cova com cerca de 10 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade, utilizando alavanca manual ou trado helicoidal motorizado. No fundo da cova incorpora-se a quantidade de adubo indicada, seguida pela aplicação do hidrogel. A muda é então posicionada garantindo contato do torrão com o solo. O preenchimento da cova é feito com solo solto, que deve ser suavemente pressionado para eliminar bolsões de ar.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

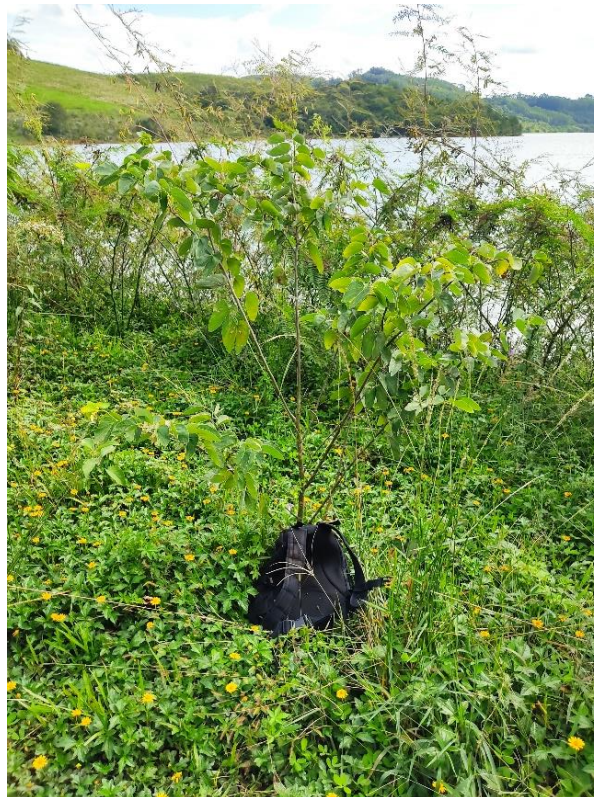


Figura 7. Exemplo do desenvolvimento de espécies herbáceas plantadas entre espécies arbóreas. Na imagem se observa um indivíduo de *Bauhinia forficata* circundado por espécies herbáceas plantadas, que recobrem a superfície do solo. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2023.

4.2.6 **Plantio de herbáceas no entorno das figueiras remanescentes**

As que sobreviveram ao evento extremo representam elementos paisagísticos e ecológicos de alta relevância. O plantio de herbáceas ao seu redor protege o solo sem competir com as árvores, mantém o destaque visual das figueiras e preserva a estabilidade local.

No entorno das figueiras, em uma área de 943 m² (área da projeção das copas das figueiras), devem ser implantadas as espécies herbáceas *Arachis repens* (2un/m²) e *Sphagneticola trilobata* (2un/m²) na proporção de 4 mudas/m². Cada muda receberá 20 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 100 ml de hidrogel. Ao todo, está previsto o plantio de 3.772 mudas.

Para o plantio das herbáceas, abre-se uma cova com cerca de 10 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade, utilizando alavanca manual ou trado helicoidal motorizado. No fundo da cova incorpora-se a quantidade de adubo indicada, seguida pela aplicação do hidrogel. A muda é então posicionada garantindo contato do torrão com o solo. O preenchimento da cova é feito com solo solto, que deve ser suavemente pressionado para eliminar bolsões de ar.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

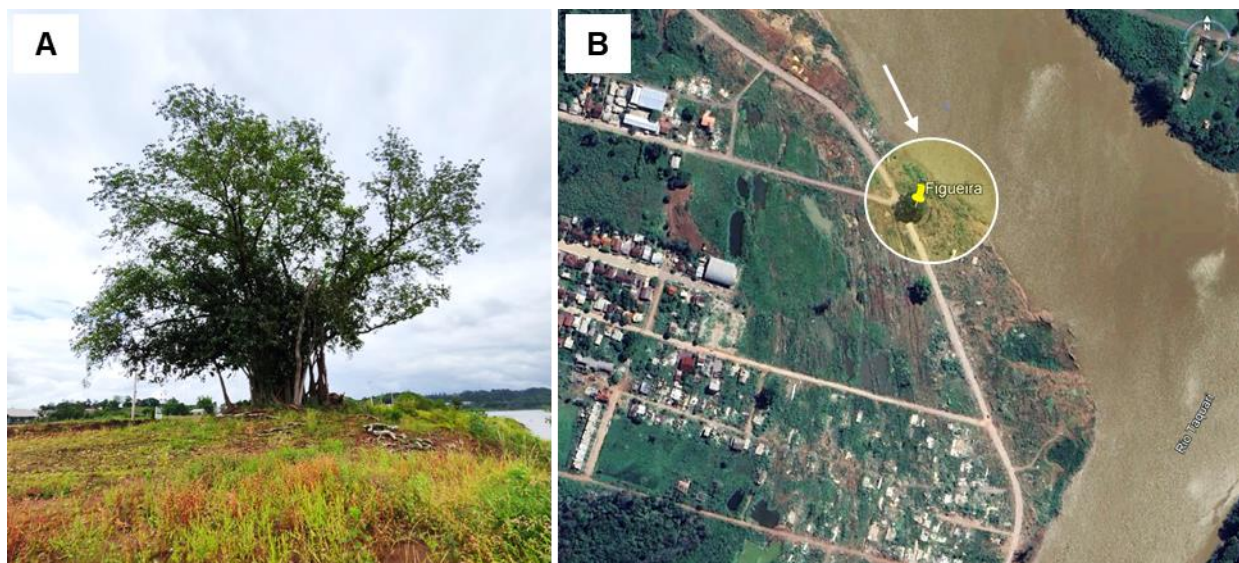


Figura 8. Localização da figueira que deverá receber o plantio de herbáceas de forração em seu entorno. (A) Aspectos gerais da planta; (B) A planta está localizada nas seguintes coordenadas UTM: 405682.78 m E / 6736688.96 m S, fuso 22J. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2025 (A); Adaptado de Google Earth, 2025 (B).

4.2.7 **Plantio de arbustivas e herbáceas autóctones na região do mirante projetado**

Na área do mirante, o objetivo principal é aliar estabilidade do solo com elevada qualidade paisagística. As arbustivas fornecem estrutura vegetada sólida e duradoura, enquanto as herbáceas promovem cobertura rápida e contínua, assegurando proteção eficaz e integração visual harmoniosa com o parque. Além disso, por terem porte reduzido, não irão crescer tanto em altura a ponto de obstruir a visualização do entorno.

O plantio das espécies arbustivas deve ser realizado na proporção de 1 un./m², utilizando-se as espécies *Calliandra brevipes*, *Calliandra tweediei*, *Sesbania virgata* e *Sesbania punicea*. Cada muda receberá 25 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 300 ml de hidrogel. Nesta técnica, está previsto o plantio de 8.196 mudas, em uma área de 5.464 m².

Para as arbustivas, abre-se uma cova de cerca de 20 cm de diâmetro por 20 cm de profundidade, utilizando alavanca ou trado helicoidal. No fundo incorpora-se o adubo conforme especificação, aplica-se o hidrogel e posiciona-se a muda garantindo contato pleno do torrão com o solo. A cova deve ser preenchida com terra solta, que deve ser suavemente pressionada de forma a eliminar eventuais bolsões de ar.

As espécies herbáceas devem ser plantas na mesma área logo após o plantio das espécies arbustivas, intercalando-se os plantios. Devem ser plantadas as espécies herbáceas *Arachis repens* e *Sphagneticola trilobata* na proporção de 1 unidade 3 un./m². Cada muda receberá 20 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 100 ml de hidrogel. Ao todo, está previsto o plantio de 16.392 mudas, em uma área de 5.464 m².

Para o plantio das herbáceas, utiliza-se cova de aproximadamente 10 cm de diâmetro por 15 cm de profundidade, aberta com alavanca ou trado motorizado. O procedimento segue a mesma lógica: adubo no fundo, hidrogel, posicionamento da muda, fechamento com leve compactação para eliminar bolsões de ar.

As espécies arbustivas e herbáceas, bem como os quantitativos individuais, doses de adubo e volumes de hidrogel por muda, encontram-se detalhados na planilha de quantitativos que integra os Anexos deste projeto. O arranjo de plantio deve assegurar distribuição homogênea das mudas, buscando cobertura rápida do solo e proteção superficial efetiva.

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

4.2.8 **Plantio das espécies arbóreas**

O plantio arbóreo deve auxiliar na recomposição da Áreas de Preservação Permanente (APP), criando futuramente um dossel que irá compor a paisagem e restituirá funções ecológicas essenciais: sombreamento, ciclagem de nutrientes, aumento da biodiversidade e estabilização

de longo prazo do topo do talude. As raízes profundas das árvores autóctones irão conferir resistência adicional ao maciço de solo e irão contribuir para o equilíbrio ecológico da margem.

Ao todo devem ser plantadas em uma área de 19.771 m², 3.300 mudas em espaçamento de 3,0 x 2,0 m, em covas de 30 cm x 30 cm, abertas com auxílio de trado helicoidal mecanizado. Cada muda receberá 50 g de adubo NPK 13:24:12 ou similar e 700 ml de hidrogel. Devem ser utilizadas 30 espécies florestais distintas (110 mudas de cada uma), todas nativas da Floresta Estacional Decidual. As espécies a serem utilizadas são apresentadas na no quantitativo e na

Tabela 1.

Tabela 1. Lista de espécies arbóreas para a intervenção de engenharia natural e seus respectivos estágios de sucessão e tipo de dispersão.

Nº	Nome científico	Nome comum	Família	Estágio de sucessão	Tipo de dispersão
1	<i>Bauhinia forficata</i>	Pata-de-vaca	Fabaceae	Secundária inicial	Autocórica
2	<i>Eugenia uniflora</i>	Pitangueira	Myrtaceae	Pioneira / Secundária inicial	Zoocórica
3	<i>Alchornea triplinervia</i>	Tanheiro	Euphorbiaceae	Secundária inicial	Zoocórica
4	<i>Inga vera</i>	Ingá-vera	Fabaceae	Pioneira	Zoocórica
5	<i>Casearia sylvestris</i>	Carvalhinho-do-campo	Salicaceae	Pioneira	Zoocórica
6	<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira-vermelha	Anacardiaceae	Pioneira	Zoocórica
7	<i>Trema micrantha</i>	Crindiúva	Cannabaceae	Pioneira	Zoocórica
8	<i>Ateleia glazioviana</i>	Timbó	Fabaceae	Pioneira	Anemocórica
9	<i>Machaerium paraguariense</i>	Farinha-seca	Fabaceae	Secundária inicial	Anemocórica
10	<i>Cupania vernalis</i>	Camboatá-vermelho	Sapindaceae	Secundária inicial	Zoocórica
11	<i>Allophylus edulis</i>	Chal-chal	Sapindaceae	Secundária inicial	Zoocórica / Autocórica
12	<i>Inga marginata</i>	Ingá-feijão	Fabaceae	Pioneira	Zoocórica
13	<i>Myrcianthes pungens</i>	Guabiju	Myrtaceae	Secundária inicial	Zoocórica
14	<i>Cordia americana</i>	Guajuvira	Boraginaceae	Secundária inicial	Zoocórica
15	<i>Psidium cattleianum</i>	Araçá	Myrtaceae	Pioneira / Secundária inicial	Zoocórica
16	<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo	Malvaceae	Secundária inicial	Anemocórica
17	<i>Prunus myrtifolia</i>	Pessegueiro-do-mato	Rosaceae	Secundária inicial	Zoocórica
18	<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	Rabo-de-bugio	Fabaceae	Secundária inicial	Anemocórica
19	<i>Eugenia involucrata</i>	Cereja-do-mato	Myrtaceae	Secundária inicial	Zoocórica
20	<i>Nectandra megapotamica</i>	Canela-preta	Lauraceae	Secundária tardia	Zoocórica
21	<i>Matayba elaeagnoides</i>	Camboatá-branco	Sapindaceae	Secundária inicial	Zoocórica
22	<i>Solanum mauritianum</i>	Fumo-bravo	Solanaceae	Pioneira	Zoocórica
23	<i>Sebastiania commersoniana</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	Pioneira / Secundária inicial	Autocórica
24	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	Guabiroba	Myrtaceae	Secundária inicial	Zoocórica
25	<i>Vitex megapotamica</i>	Tarumã	Lamiaceae	Secundária inicial	Zoocórica
26	<i>Terminalia australis</i>	Amarilho	Combretaceae	Secundária inicial	Anemocórica
27	<i>Sebastiania brasiliensis</i>	Branquilho	Euphorbiaceae	Secundária inicial	Autocórica
28	<i>Cabralea canjerana</i>	Canjerana	Meliaceae	Secundária tardia	Zoocórica

29	<i>Pouteria salicifolia</i>	Mata-olho	Sapotaceae	Secundária inicial	Zoocórica
30	<i>Salix humboldtiana</i>	Salgueiro	Salicaceae	Pioneira	Anemocórica

Após o plantio, as mudas deverão ser irrigadas três vezes por semana durante 30 dias, visando garantir uma taxa de sobrevivência superior a 85%.

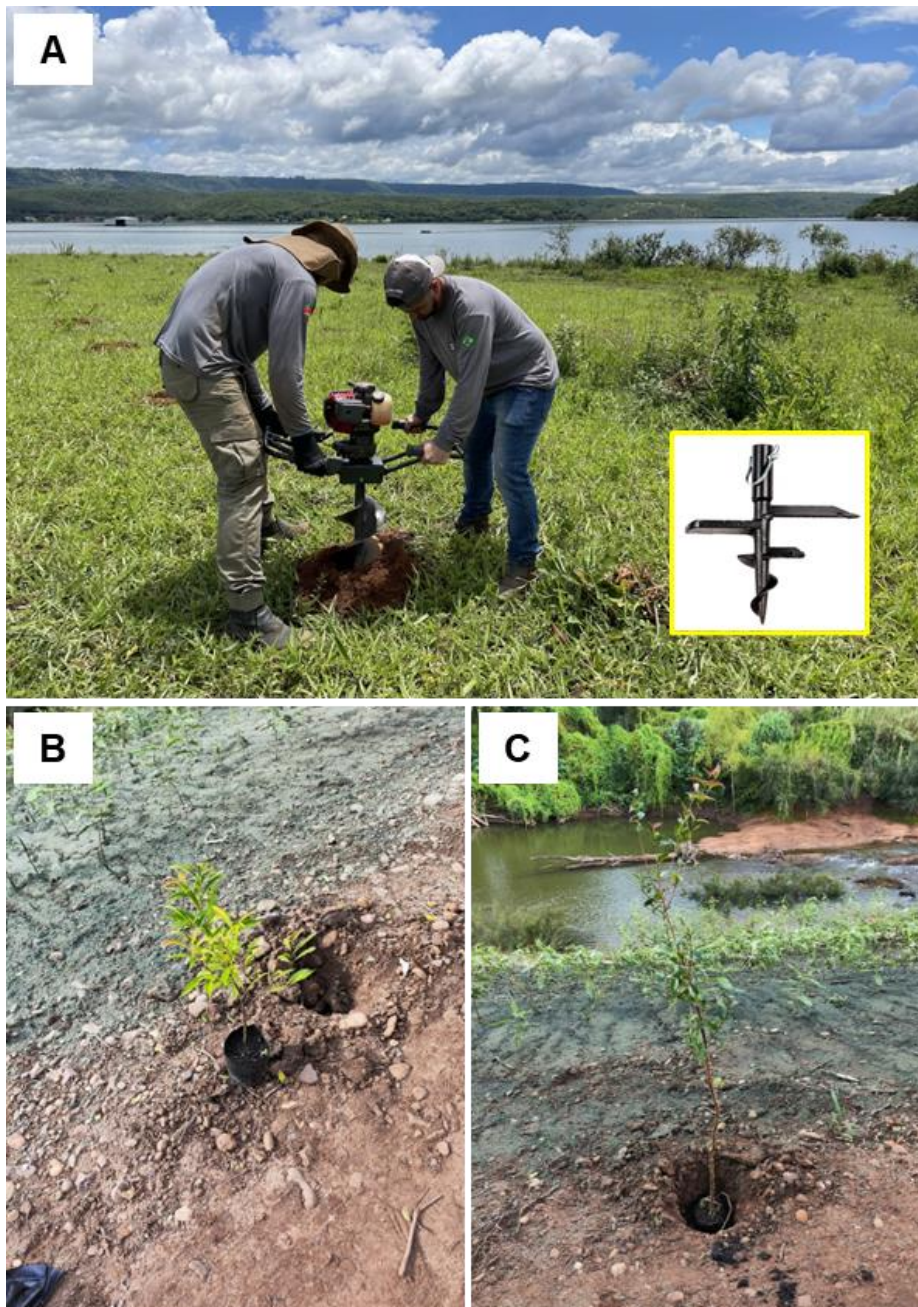


Figura 9. Aspecto geral do plantio das arbóreas. (A) Aberturas das covas com equipamento motorizado usado, usando trado helicoidal ou trado de plantio florestal (no detalhe); (B) Adubo NPK incorporado ao fundo da cova, aplicação de hidrogel e inserção do torrão da muda na cova (sem o recipiente plástico); (C) Inserção da muda na cova e recobrimento de suas, compactando levemente o solo ao seu redor, usando os pés ou as mãos. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2021 e 2025.

4.2.9 Conexão entre biovaleta e enrocamento vegetado

A conexão entre a biovaleta projetada e o enrocamento vegetado na margem do curso de água deve ser realizada por meio de um canal trapezoidal em enrocamento vegetado, concebido para conduzir o fluxo de água de forma controlada, reduzindo sua energia e evitando processos erosivos concentrados no trecho de descarga. A solução deve direcionar a água proveniente da biovaleta até o curso de água, promovendo a estabilização do solo e a deposição de sedimentos ao longo do trajeto.

O canal de ligação possui aproximadamente 34,5 m de comprimento e largura variável iniciando em 8 m na saída dos tubos e no final próximo ao enrocamento com 34 m de abertura total e taludes laterais com largura variável, ambos com inclinação de 41%. O fundo do canal deverá ter uma inclinação aproximada de 1%. A concepção geométrica e o revestimento do canal visam reduzir a velocidade do escoamento por meio do aumento da rugosidade hidráulica proporcionada pelas rochas e pela vegetação implantada, limitando a escavação do fundo e das margens e favorecendo a consolidação progressiva do trecho.

Para a execução, o solo deve ser inicialmente reafeiçoado conforme a geometria do canal trapezoidal definida em projeto. Sobre o canal moldado em terra após leve compactação, deve ser estendida a geogrelha, aplicada em toda a extensão do canal e fixada com grampos metálicos na proporção de 1 unidade por metro quadrado. A geogrelha utilizada deverá ser de polietileno de alta densidade (bidirecional, $RT \geq 40$ kN/m, abertura de 50 a 65 mm). A função da geogrelha é dar mais suporte e sustentação ao solo.

Na sequência, sobre a geogrelha, deverá ser aplicado o geotêxtil não tecido agulhado (≥ 400 g/m², resistência à tração ≥ 20 kN/m, permeabilidade $\geq 0,36$ cm/s, resistência ao puncionamento $\geq 4,0$ kN). A função é evitar o contato direto da água com o solo, bem como prevenir efeitos de turbilhonamento, além de permitir a percolação de parte dos escoamentos.

Sobre a camada de geotêxtil, deve ser aplicada a camada de assentamento, composta por rachão britado em uma espessura aproximada de 18 cm. Sua função é proteger o geotêxtil e, de certa forma, aumentar a rugosidade do canal para favorecer a dissipação e energia.

Finalizada a camada de assentamento, deve-se dar início à aplicação do enrocamento principal, que será composto por rochas detonadas de basalto com D50 de 0,6 m e espessura total de 0,6 m. A sua construção deve ser iniciada pelas margens, sendo lançado o enrocamento de fundo/leito, que deverá apresentar inclinações de 1% em todo o percurso. Para que essa inclinação seja alcançada, deverão ser executados 4 degraus ao longo do percurso total do dissipador, cada um com quedas aproximadas de 29 cm. Cada um desses degraus deverá ser construído com rochas de maior porte (0,6 m ou mais) antes do lançamento do leito, ou seja, faz-se primeiro o degrau, depois se faz o lançamento do enrocamento do leito que fica “aprisionado” pelas rochas maiores.

Assim como nos demais trechos de enrocamento vegetado do projeto, as rochas são apenas lançadas e acomodadas com auxílio da concha da escavadeira hidráulica, permitindo acomodação natural, elevada permeabilidade e formação de interstícios adequados ao plantio.

Concluída a execução do revestimento rochoso, deve ser realizado o plantio no enrocamento das margens, na densidade de 3 mudas/m². Devem ser utilizadas as espécies arbustivas autóctones *Calliandra brevipes* (1 muda/m²), *Gymnanthes schottiana* (1 muda/m²) e *Sesbania virgata* (1 muda/m²), todas adaptadas a ambientes fluviais e capazes de tolerar variações de umidade e submersão temporária.

O plantio das espécies arbustivas autóctones ocorre diretamente nos interstícios das rochas. Para isso, abre-se fendas entre as pedras com auxílio de alavancas metálicas de aproximadamente 1,8 m de comprimento, com pontas de cerca de 5 cm de diâmetro. Essas alavancas permitem deslocar ligeiramente as rochas e criar aberturas suficientes para acomodar o torrão das mudas. Para o plantio, o geotêxtil deve ser perfurado cuidadosamente, respeitando-se os espaçamentos da geogrelha. As cavidades são preenchidas com solo fino retirado do local, previamente enriquecido com a dose indicada de adubo químico no fundo da abertura e com o volume de hidrogel previsto. A muda é inserida de modo que o torrão permaneça em contato direto com o solo, completando-se o preenchimento ao redor com leve compactação manual para eliminação de bolsões de ar.

Cada muda deve receber 25 g de adubo NPK 13:24:12 (ou formulação similar) e 300 ml de hidrogel. Ao todo, neste item, está previsto o plantio de 1.326 mudas de espécies arbustivas e arboretas autóctones de comportamento reófito.

A compreensão da geometria, do arranjo construtivo e da integração desta solução com a biovaleta e com o enrocamento vegetado da margem é complementada pela análise conjunta da prancha esquemática apresentada nos Anexos deste projeto.

4.3 Trabalhos concomitantes e complementares

Compreendem o conjunto de atividades que acompanham a execução das técnicas de Engenharia Natural e se estendem até a sua finalização. O objetivo é assegurar a qualidade dos serviços executados e, principalmente, o adequado estabelecimento e desenvolvimento das mudas plantadas.

Durante a fase de execução e nos meses subsequentes (já na fase de manutenção), é indispensável a realização de irrigação periódica, especialmente nos períodos de menor precipitação, de modo a garantir a manutenção da umidade do solo e reduzir o estresse hídrico das mudas nas fases iniciais de desenvolvimento. A irrigação pode ser realizada de forma prática utilizando água do próprio rio Taquari, observando-se cuidados operacionais para evitar danos às plantas recém-implantadas (**Figura 10A e 8B**).

O replantio das mudas é indicado sempre que a mortalidade ultrapassar 15% do total implantado em qualquer trecho ou técnica. O replantio deve priorizar as mesmas espécies originalmente previstas, assim como os espaçamentos e procedimentos de plantio já descritos.

O controle de mato-competição excessiva deve ser realizado sempre que a vegetação espontânea estiver comprometendo o desenvolvimento das mudas implantadas (sombreamento, abafamento, água e nutrientes). Atenção especial deve ser dada na região em que devem ocorrer os plantios arbóreos, já que essas espécies têm um desenvolvimento um pouco mais lento no início e podem ficar abafadas pelas plantas daninhas, que possuem um desenvolvimento mais acelerado e agressivo. Na maioria das situações, um simples coroamento no entorno das mudas usando ferramentas manuais ou mecânicas de capina e/ou corte já é suficiente.

Por fim, o controle de formigas-cortadeiras deve ser realizado apenas quando for constatada a presença dessas espécies na área ou quando forem observados danos diretos às mudas (ataque ativo) (**Figura 10C e 8D**). Nessas situações, as ações devem ser imediatas, com a aplicação de isca formicida granulada diretamente nos carreiros e nas adjacências dos ninhos, respeitando-se uma dosagem máxima de 10 g/m². O controle deve ser pontual e criterioso, evitando-se aplicações desnecessárias. Estima-se que até 5% das áreas em que devem ser empregadas as técnicas de Engenharia Natural possam ser atacadas por formigas, o que resulta em um total de 24 kg de isca formicida.

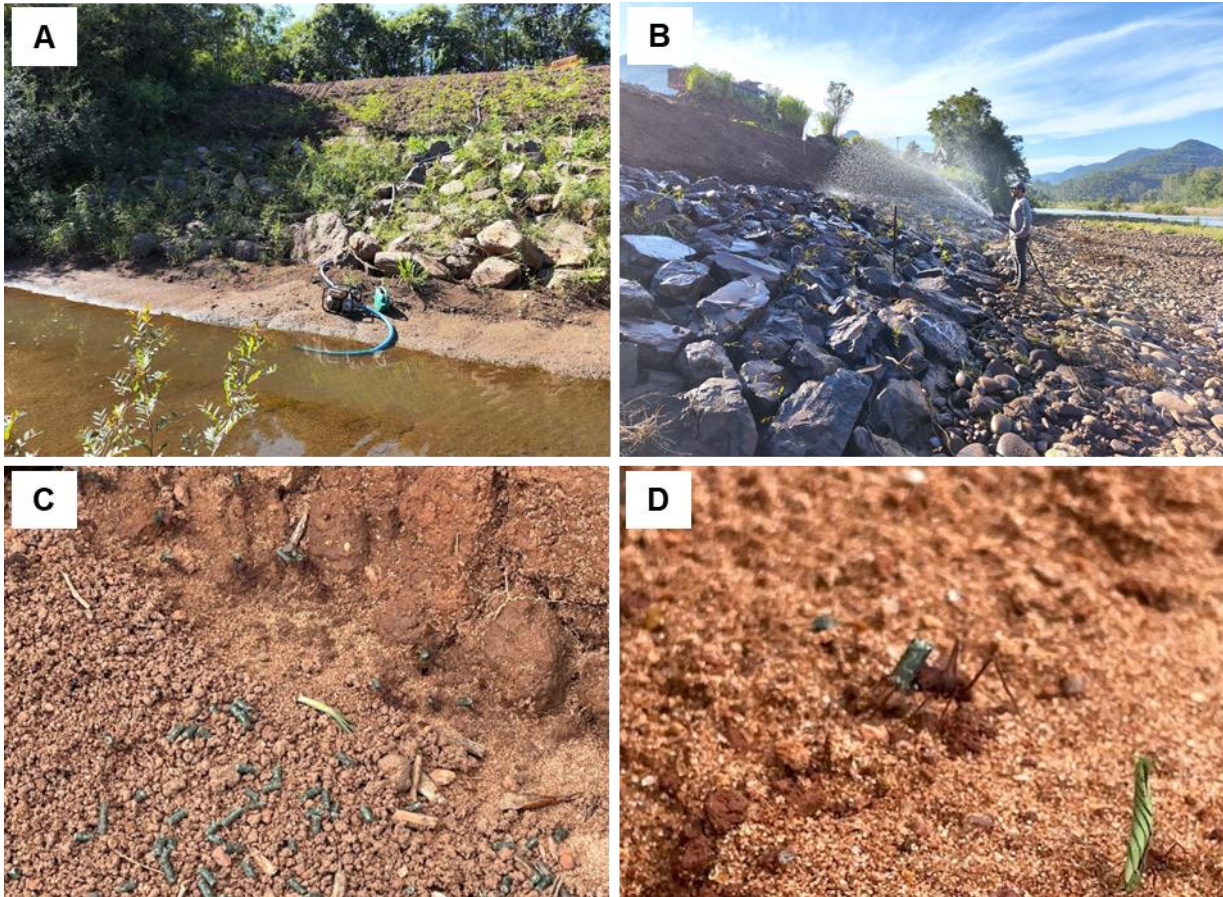


Figura 10. Trabalhos concomitantes e complementares. (A) e (B) Trabalhos Irrigação das mudas plantadas utilizando a água do rio adjacente à obra de engenharia natural. A mudas devem ser irrigadas durante à execução dos plantios e pelos menos três vezes por semana, durante 30 dias. (C) e (D) Acompanhamento e controle de formigas cortadeiras utilizando isca formicida granulada. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2021 e 2025.

4.4 Vegetação Indicada

A área alvo do tratamento está inserida em uma região de contato entre o Bioma Mata Atlântica (Floresta Estacional Decidual) e o Bioma Pampa (IBGE, 2018). Contudo, o que se observa no local e em seu entorno, é prevalência de espécies vegetais características da Floresta Estacional Decidual, aspecto considerado na definição da lista de espécies a serem utilizadas.

As espécies de arbustos, arboretas e herbáceas selecionadas para este projeto foram escolhidas com base em critérios técnicos diretamente relacionados às condições ambientais do trecho, à dinâmica fluvial do rio Taquari e ao desempenho esperado das técnicas de Engenharia Natural. De modo geral foram priorizadas as espécies autóctones com elevada plasticidade ecológica, capacidade de tolerar submersões temporárias, resistência mecânica a esforços hidráulicos (arrancamento, tombamento, abrasão e deposição de sedimentos) e rápido estabelecimento radicular.

As espécies arbustivas e arboretas de comportamento reófito irão desempenhar papel estrutural fundamental nas faixas mais baixas e intermediárias da margem. Essas espécies tendem a suportar variações frequentes do nível do rio (submersão), resistem à correnteza e contribuem significativamente para o aumento da rugosidade hidráulica e para o reforço mecânico do solo por meio de seus sistemas radiculares. Espécies como *Phyllanthus sellowianus* e *Gymnanthes schottiana* são amplamente reconhecidas por sua elevada capacidade de rebrota após danos físicos, rápido enraizamento e excelente desempenho em ambientes ribeirinhos. *Calliandra brevipes* e *Sesbania virgata* agregam ainda a capacidade de fixação biológica de nitrogênio, favorecendo a melhoria das condições do solo e o estabelecimento de outras espécies. *Terminalia australis* e *Pouteria salicifolia* atuam como elementos de transição entre o estrato arbustivo e arbóreo, contribuindo para a estabilização de médio prazo e para a estruturação da vegetação ripária. *Mimosa pigra*, por sua vez, está sendo empregada de forma controlada em áreas específicas, em função de sua alta resistência a distúrbios e rápida ocupação do solo, auxiliando no controle inicial da erosão.

As espécies herbáceas de forração, *Sphagneticola trilobata* e *Arachis repens* foram indicadas com a função de promover cobertura rápida do solo, reduzir a erosão superficial, manter a umidade e minimizar a mata-competição nos estágios iniciais do projeto. Ambas apresentam hábito estolonífero, boa capacidade de regeneração após soterramento ou danos mecânicos e excelente adaptação a ambientes úmidos e parcialmente sombreados. Essas características tornam as herbáceas essenciais para a proteção imediata do solo entre as linhas de arbustivas e nas áreas de uso público do parque, contribuindo, também, para a qualificação paisagística da margem.

De forma integrada, o conjunto de espécies selecionadas deve permitir que a margem evolua gradualmente de uma condição estruturalmente protegida para um sistema vegetado estável, resiliente e compatível com a dinâmica natural do rio Taquari, assegurando desempenho técnico, valor ecológico e adequada inserção paisagística no contexto do Parque Linear.

As espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Decidual foram selecionadas para recompor a Área de Preservação Permanente (APP) e estruturar o estrato superior da vegetação, considerando critérios ecológicos, funcionais e sucessionais. O conjunto contempla espécies pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias, permitindo recobrimento relativamente rápido das áreas tratadas e, ao mesmo tempo, a construção de uma vegetação florestal com maior complexidade ao longo do tempo. Espécies pioneiras e de crescimento acelerado, como *Trema micranta*, *Solanum mauritianum*, *Schinus terebinthifolius*, *Inga vera*, *Inga marginata* e *Salix humboldtiana*, exercem papel fundamental na proteção inicial do solo, no sombreamento e na formação de poleiros vivos, favorecendo a atração de aves e a dispersão natural de sementes. Espécies secundárias e tardias, como *Cabralea canjerana*, *Nectandra megapotamica*, *Matayba*

elaeagnoides, *Myrcianthes pungens*, *Campomanesia xanthocarpa* e *Eugenia involucrata*, devem contribuir para a consolidação estrutural e funcional da floresta ripária, ampliando a biodiversidade, a estabilidade ecológica e a oferta de recursos para a fauna. De modo geral, todas as espécies selecionadas apresentam boa adaptação a ambientes fluviais ou a áreas próximas a cursos de água, toleram solos com variação de umidade e devem se beneficiar da estabilidade proporcionada pelo enrocamento vegetado.

Na **Figura 11**, **Figura 12**, **Figura 13**, **Figura 14** e **Figura 15** é possível observar aspectos das espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas indicadas para plantio nas áreas a serem recuperadas por meio de técnicas de Engenharia Natural.



Figura 11. Espécies herbáceas de forração indicadas para uso nas técnicas de Engenharia Natural. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2023 e 2025.

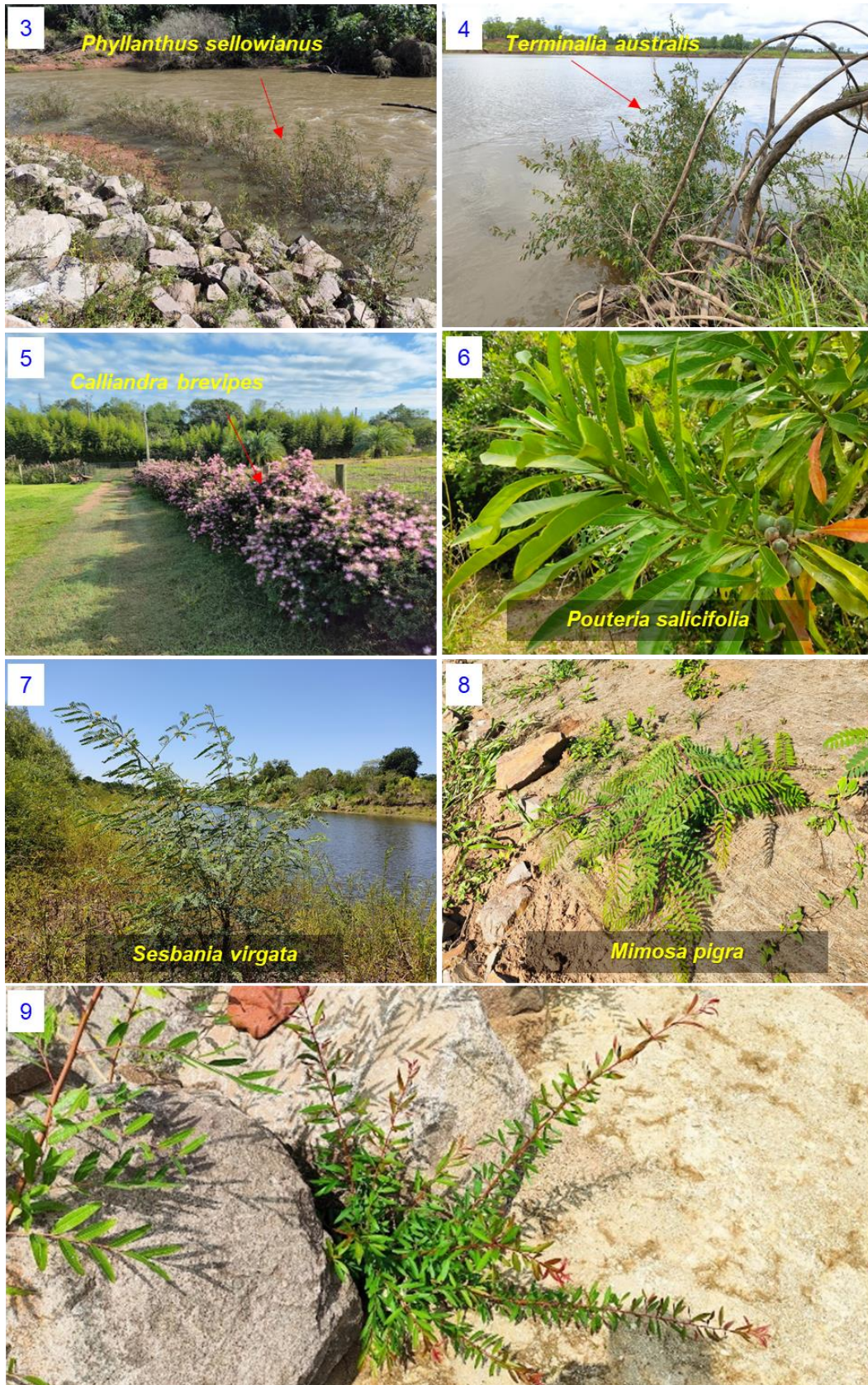


Figura 12. Arbustivas e arboretas autóctonas de comportamento reófito indicadas para plantio nas técnicas de Engenharia Natural ao longo da margem impactada. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2023 e 2025.



Figura 13. Espécies arbóreas autóctones indicadas para uso nas técnicas de Engenharia Natural a serem aplicadas sobre a margem impactada do rio Taquari. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2023 e 2025.



Figura 14. Espécies arbóreas e arboretas autóctones indicadas para uso nas técnicas de Engenharia Natural a serem aplicadas sobre a margem impactada do rio Taquari. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural, 2023 e 2025.



Figura 15. Espécies arbóreas autóctones indicadas para uso nas técnicas de Engenharia Natural a serem aplicadas sobre a margem impactada do rio Taquari. Fonte das imagens: da imagem 31 a 38, Salix Engenharia Natural (2023 e 2025); imagem 38, Márcio Verdi (2010); imagem 39, Martin Grings (2013).

4.5 Produção das mudas

A produção das mudas destinadas às técnicas de Engenharia Natural deve ser planejada com antecedência e conduzida de forma criteriosa, considerando as particularidades de cada grupo de espécies e o volume total previsto em projeto. As orientações a seguir têm como objetivo fornecer subsídios práticos tanto para o técnico responsável pela encomenda das mudas quanto para o viveirista encarregado de sua produção, de modo a garantir qualidade, uniformidade e disponibilidade no período adequado de implantação.

As espécies arbustivas de comportamento reófito, amplamente utilizadas nas técnicas propostas, apresentam estratégias de propagação distintas e devem ser tratadas de forma específica. *Phyllanthus sellowianus* é facilmente propagável em tubetes por meio de estacas vivas coletadas em cursos de água da região, inclusive no próprio rio Taquari, apresentando elevada taxa de pega. Também pode ser propagada por transplante de plântulas para tubetes ou por sementes, sendo esta última alternativa menos prática em função da dificuldade de acompanhamento fenológico. *Gymnanthes schottiana* apresenta excelente desempenho na propagação por estacas vivas coletadas em ambientes ribeirinhos, podendo também ser produzida por sementes, desde que haja acompanhamento do ciclo reprodutivo. *Calliandra brevipes* é facilmente reproduzida por sementes ou por transplante de plântulas, enquanto a propagação por estacas apresenta taxa de pega inferior, geralmente em torno de 40%.

Terminalia australis apresenta melhor desempenho quando propagada por sementes, com floração concentrada entre os meses de setembro e dezembro e frutificação entre dezembro e fevereiro. A propagação por estacas é possível, porém com baixa eficiência, normalmente inferior a 30% de pega. *Pouteria salicifolia* também apresenta maior viabilidade de produção por sementes, com frutificação ocorrendo entre novembro e março, sendo a propagação vegetativa por estacas pouco eficiente. Já *Sesbania virgata* e *Mimosa pigra* possuem excelente propagação por sementes, com taxas de germinação geralmente superiores a 80%, o que facilita sua produção em escala.

No caso das espécies herbáceas, *Sphagneticola trilobata* e *Arachis repens* podem ser propagadas por sementes, porém apresentam resultados superiores quando produzidas a partir do plantio de estolões, método que proporciona rápido enraizamento, maior uniformidade e ótimo desempenho em campo.

As espécies arbóreas indicadas para recomposição da APP devem ser, em sua maioria, produzidas por meio de sementes. Em função das quantidades totais previstas em projeto, recomenda-se a busca e a aquisição dessas mudas junto a viveiros ou hortos florestais devidamente registrados e com experiência na produção de espécies nativas da Floresta Estacional Decidual. É importante destacar que essas mudas cheguem na fase de expedição

bem rustificadas e com pelo menos 1,0 m de comprimento para que escapem da matocompetição e para sirvam, mais rapidamente, de poleiros vivos.

Para as arbustivas de comportamento reófito e herbáceas, recomenda-se, sempre que possível, a encomenda junto a um único viveiro devidamente regularizado, uma vez que essas espécies raramente estão disponíveis à pronta entrega e necessitam ser produzidas especificamente para a obra. Para que a produção ocorra em tempo hábil, as encomendas devem ser realizadas com antecedência mínima de 10 meses em relação à data prevista de plantio, permitindo ao viveirista a coleta adequada de propágulos (sementes, estacas ou plântulas) e a condução correta das mudas até o padrão desejado.

Quanto aos recipientes de produção, os volumes mais adequados variam conforme espécie. No entanto, de modo geral, tanto para herbáceas quanto para arbustivas, recipientes com volumes a partir de 50 cm³ já começam a apresentar bons resultados. Tubetes de aproximadamente 110 cm³ representam o volume ideal para a maioria das espécies, equilibrando qualidade radicular e tempo de produção, enquanto recipientes de 180 cm³ tendem a demandar maior tempo para atingir a densidade radicular adequada, embora resultem em mudas mais robustas.

Também é importante reforçar que arbóreas, arbustivas e herbáceas, já em sua fase final de produção, devem ser devidamente rustificadas. As mudas devem ser conduzidas a área com sombreamento reduzidos e depois a pleno sol, com redução das regas diárias. Esse tipo de medida irá garantir que as mudas estejam preparadas para enfrentar adequadamente as condições de campo, aumentando assim as chances de sucesso dos plantios.

As diretrizes gerais indicadas contribuem para uma produção de mudas com qualidade compatível às exigências do projeto, reduz riscos de atrasos na implantação e tende a melhorar o desempenho das espécies após o plantio em campo.

Por fim, reforça-se que todas as espécies indicadas têm função técnica e sua presença é fundamental para o sucesso do projeto. Entende-se, contudo, que a dinâmica de produção pode sofrer algum tipo de imprevisto, de modo que as quantidades indicadas em projeto possam, eventualmente, não ser alcançadas. Tal situação pode ser contornada com a substituição de espécies já presentes na listagem, que por algum motivo podem ser ou serão mais fáceis de produzir. Apesar dessa possibilidade, qualquer compensação de uma espécie por outra deve ser feita somente depois os técnicos responsáveis pelo projeto forem consultados.

Na **Figura 16** é possível observar os aspectos gerais de diferentes propágulos utilizados para a produção de mudas de espécies de comportamento reófito, que estão indicadas em grande quantidade para a execução das biotécnicas na margem esquerda do rio Taquari. Já na **Figura 17**, **Figura 18** e **Figura 19** são apresentados exemplos com a qualidade esperada das

mudas arbustivas e herbáceas. Guardadas as proporções, as mudas de espécies arbóreas devem apresentar qualidade semelhante.



Figura 16. Possibilidade de propagação das espécies arbustivas e arbóreas indicadas para plantio nas técnicas de Engenharia Natural. (A) Transplante de plântulas (Ex.: *Phyllanthus sellowianus*); (B) Transplante de plântulas (Ex.: *Calliandra brevipes*); (C) Propagação por sementes (Ex.: *Gymnanthes schottiana*); (D) Propagação por sementes (Ex.: *Mimosa pigra*); (E) Propagação por sementes (Ex.: *Sesbania virgata*); (F) Estacas vivas coletadas para propagação; (G) Estacas vivas de *G. schottiana* plantadas em tubetes de 110 cm³. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural (2017 e 2025).

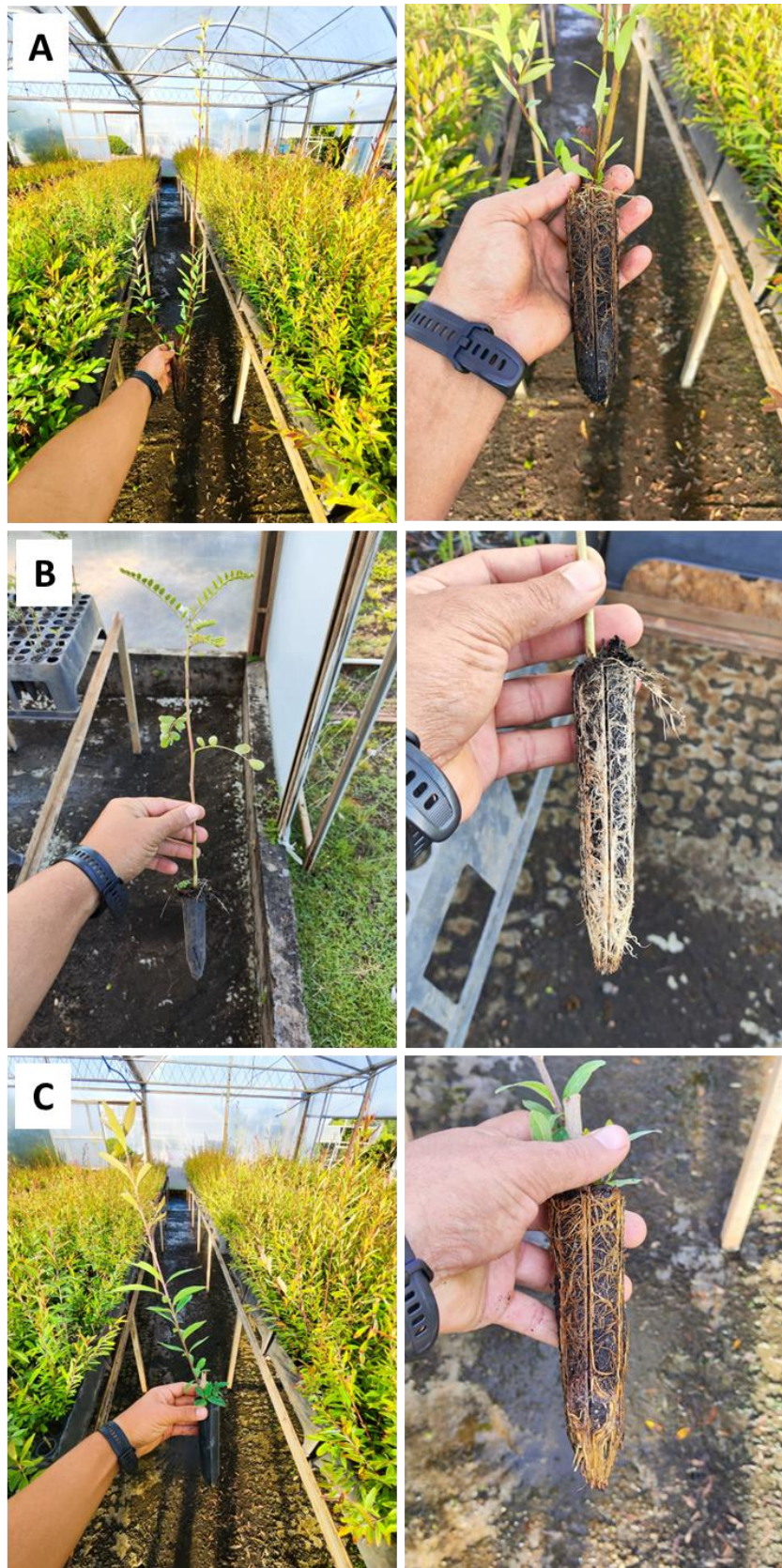


Figura 17. Exemplos da qualidade esperada na produção das mudas. Destaque para a parte aérea bem desenvolvida e sistema radicular denso de mudas prontas para o campo. (A) Muda de *Gymnanthes schottiana*; (B) Muda de *Sesbania virgata*; (C) Muda de *Terminalia australis*. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural (2025).

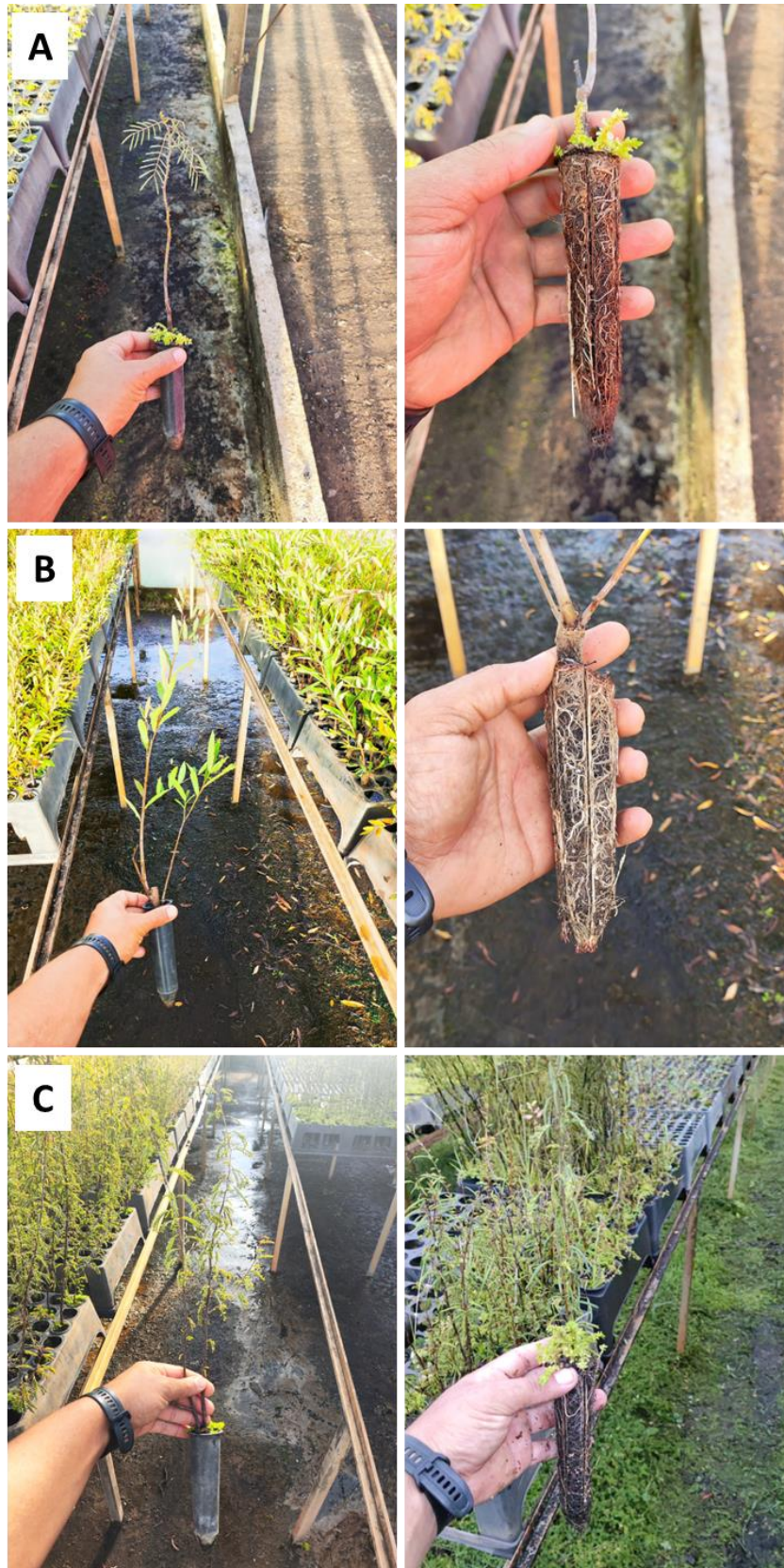


Figura 18. Exemplos da qualidade esperada na produção das mudas. Destaque para a parte aérea bem desenvolvida e sistema radicular denso de mudas prontas para o campo. (A) Muda de *Mimosa pigra*; (B) Muda de *Phyllanthus sellowianus*; (C) Muda de *Calliandra brevipes*. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural (2025).



Figura 19. Exemplo da qualidade esperada para produção de mudas herbáceas. Destaque para a qualidade do torrão bem enraizado. Fonte das imagens: Salix Engenharia Natural (2025).

5 MONITORAMENTO E MANUTENÇÃO

As atividades de monitoramento e manutenção correspondem às ações a serem conduzidas no período pós-obra e são fundamentais para o adequado desempenho das técnicas de Engenharia Natural implantadas. Considerando que a intervenção se baseia no uso de elementos vivos, o acompanhamento inicial é indispensável para garantir o correto estabelecimento da vegetação e evitar desvios críticos que possam comprometer os objetivos de estabilização e recuperação da área.

O monitoramento tem como foco principal a verificação da existência ou ocorrência de inconformidades que demandem ações corretivas ou de manutenção. Entre os principais aspectos a serem observados destacam-se: (1) mortalidade de mudas superior a 15% em qualquer uma das técnicas aplicadas; (2) necessidade de irrigação complementar em períodos de estiagem; (3) Ocorrência de ataque por formigas cortadeiras; (4) Desenvolvimento excessivo de mato-competição que venha a prejudicar o crescimento das espécies implantadas. Embora a proposta de recuperação busque favorecer processos naturais de espontaneidade e resiliência ecológica, intervenções pontuais podem ser necessárias nos estágios iniciais para assegurar a consolidação da vegetação.

Além do acompanhamento da vegetação, o monitoramento deve contemplar a avaliação do comportamento das estruturas de Engenharia Natural após eventos hidrológicos significativos, como cheias e enxurradas. Nessas situações, as vistorias têm por objetivo identificar se o enrocamento vegetado, os canais de ligação, as bio-redes e demais elementos construtivos permaneceram íntegros ou se sofreram danos localizados, deslocamentos ou

perdas de material que justifiquem ações corretivas, garantindo a manutenção da estabilidade e da funcionalidade do sistema.

Como diretriz geral, recomenda-se que os acompanhamentos sejam realizados de forma mensal nos três primeiros meses após a implantação, período considerado crítico para o estabelecimento das mudas. A partir dessa fase inicial, os monitoramentos devem ocorrer de forma trimestral até o 12º mês. Entre 12 e 24 meses após a implantação, recomenda-se que as vistorias passem a ser semestrais, acompanhando a evolução da vegetação e o comportamento das estruturas em médio prazo.

As periodicidades sugeridas podem ser ajustadas sempre que necessário, em função de demandas técnicas específicas ou da ocorrência de eventos climáticos relevantes, como inundações ou chuvas intensas, que justifiquem a antecipação das vistorias ou a realização de acompanhamentos extraordinários.

Ressalta-se que as diretrizes aqui apresentadas têm caráter orientativo, podendo o acompanhamento ser conduzido conforme definição da contratante. Independentemente do arranjo adotado, o monitoramento é fortemente recomendado, uma vez que constitui etapa essencial para o sucesso das técnicas de Engenharia Natural e para a consolidação da recuperação da margem ao longo do tempo.

6 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

O cronograma de execução das técnicas de Engenharia Natural deve ser compreendido como orientativo, servindo como referência para a organização geral da obra, sem o estabelecimento de datas rígidas ou imutáveis. A definição das etapas e de seus períodos mais adequados depende de diversos fatores que extrapolam o escopo deste projeto executivo, como processos de contratação, planejamento operacional da empresa executora, rendimentos de obra, obtenção de autorizações, condições climáticas, logística de produção e entrega das mudas, entre outros.

De forma geral, recomenda-se que as atividades de reafeiçoamento geométrico da margem e a execução do enrocamento estrutural (camadas de rocha, sem plantio) sejam priorizadas e realizadas preferencialmente em períodos mais secos ou com menor recorrência de chuvas. Essas etapas devem anteceder as demais intervenções, uma vez que envolvem grande movimentação de solo e rochas, além de produzirem material proveniente dos cortes que poderá ser reaproveitado em outros setores do Parque Linear. Além disso, não é tecnicamente recomendável manter o solo da margem exposto por longos períodos após sua reconformação para inclinação média de aproximadamente 21,8°, o que reforça a necessidade de execução dessas fases em condições climáticas mais favoráveis.

As etapas de plantio no enrocamento, bem como a implantação das demais técnicas de Engenharia Natural associadas à revegetação (bioredes, plantios arbustivos, herbáceos e arbóreos), tendem a apresentar melhor desempenho quando executadas em períodos mais úmidos ou com maior regularidade de chuvas, reduzindo a necessidade de irrigação complementar e favorecendo o estabelecimento inicial das mudas. No entanto, deve-se considerar que a margem encontra-se inserida diretamente no ambiente fluvial, de modo que períodos excessivamente chuvosos podem gerar enxurradas e elevações rápidas do nível do rio, o que também representa um fator de risco operacional.

Assim, os plantios podem ser realizados tanto em períodos mais secos quanto mais úmidos, desde que sejam adotadas as medidas de manejo adequadas. Em períodos mais secos, torna-se necessária maior atenção à irrigação; em períodos mais chuvosos, deve-se avaliar cuidadosamente o risco hidrológico associado à elevação do nível do rio. A escolha do momento ideal para cada técnica deve ser definida pela equipe de execução, com base nas condições de campo observadas no momento da obra.

Dessa forma, este cronograma não estabelece uma sequência rígida de datas, mas orienta a lógica de implantação das técnicas, indicando que o reafeiçoamento da margem e a execução do enrocamento estrutural constituem etapas prioritárias e condicionantes das demais, enquanto os plantios e acabamentos vegetativos devem ser ajustados de acordo com a disponibilidade das mudas, as condições climáticas e o planejamento operacional da obra.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recuperação da margem direita do rio Taquari, no trecho de Passo de Estrela, representa uma etapa essencial dentro do conjunto de intervenções planejadas para o Parque Linear do Vale do Taquari. Ao longo deste Projeto Executivo, foram integrados estudos geotécnicos, análises geométricas e interpretações das dinâmicas fluviais, resultando em uma proposta de Engenharia Natural que prioriza soluções compatíveis com a identidade ecológica do rio, com a resiliência necessária frente aos eventos hidrológicos e com a funcionalidade esperada de um espaço público de grande relevância regional. As técnicas selecionadas, nomeadamente enrocamento vivo, uso de bioredes, plantios de arbustivas, herbáceas e espécies arbóreas autóctones, formam um sistema contínuo capaz de oferecer proteção efetiva ao talude, restabelecer processos naturais e integrar a paisagem do parque ao ambiente fluvial.

A abordagem adotada demonstra que a estabilidade da margem não depende exclusivamente de obras rígidas, mas da combinação equilibrada entre proteção física imediata e recuperação biológica progressiva. Cada técnica empregada cumpre uma função específica dentro do gradiente do talude: o enrocamento vivo atua diretamente na zona de maior energia hidráulica; as arbustivas e herbáceas conferem proteção superficial, reforço radicular e cobertura

rápida do solo, enquanto o plantio arbóreo recompõe a APP e restabelece o dossel que permitirá a retomada gradual das funções ecológicas típicas da Floresta Estacional Decidual. Esse arranjo técnico–ecológico resulta em maior rugosidade hidráulica, redução da velocidade do fluxo junto à margem, aumento da deposição de sedimentos e maior coesão do conjunto solo–rocha–vegetação, beneficiando tanto a estabilidade estrutural quanto o ambiente natural do parque.

Com a implantação do presente projeto, cria-se uma base sólida para que o Parque Linear de Passo de Estrela se desenvolva como um espaço funcional, ambientalmente equilibrado e integrado ao contexto paisagístico do Vale do Taquari. A abordagem de Engenharia Natural proposta não apenas trata os processos erosivos existentes, mas também estabelece condições para que a margem evolua de forma mais estável e compatível à paisagem local ao longo do tempo, e com grande resiliência as variações naturais do rio.

Por fim, recomenda-se que, durante a execução da obra, eventuais dúvidas técnicas, situações não previstas ou necessidades de ajustes pontuais decorrentes das condições encontradas em campo sejam discutidas e avaliadas em conjunto com os técnicos responsáveis pela elaboração deste projeto. Esse alinhamento técnico contribui para a correta interpretação das diretrizes aqui estabelecidas e para a manutenção da coerência entre o projeto concebido e as soluções efetivamente implementadas em campo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACKES, A.; IRGANG, B. (2004). Árvores do Sul: Guia de Identificação & Interesse Ecológico. Editora Clube da Árvore, 326 p. Instituto Souza Cruz, 2002. Pallotti.

COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. (EDS.). Use of Vegetation in Civil Engineering. 2ª ed. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2007.

DURLO, M.; SUTILI, F. Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água. 3ª ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Hydraulic Engineering Circular nº 23. Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance. Third Edition, Publication Nº FHWA-NHI-09-112. Federal Highway Administration, September, 2009.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. Biotechnical and soil bioengineering - Slope stabilization – A practical guide for erosion control. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc., 1996.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 2012.

KETTENHUBER, P. L. W.; DEWES, J. J.; SUTILI, F. J. Engenharia Natural para estabilização hidráulica do Rio Pardinho em Santa Cruz do Sul - RS. Ciência & Ambiente, v. 46/47, p. 111–130, 2017.

KELLER, R. J. RIPRAP: Guidelines for the design of river bank stability and protection using RIP-RAP. USER GUIDE. CRC for Catchment Hydrology, Australia, 2005.

MANUAL DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA OS ESTADOS DO RS E SANTA CATARINA. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.

MAFFRA, C.R.B.; SUTILI, F. J. Metodologia para elaboração de projetos de Engenharia Natural em obras de infraestrutura. CIÊNCIA & AMBIENTE, v. 46/47, p. 73-93, 2017.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V. Elaboração de Projeto e Execução de Recuperação de um Trecho do Rio Pardinho na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. PRODUTO 2 – Projeto de Engenharia Natural para os trechos escolhidos. Salix Engenharia Natural Ltda, Comitê Pardo, Agepardo. Janeiro de 2022.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V.; LEONARCZYK, D. P. Relatório Consolidado de Atividades Conduzidas. Recuperação de trecho do rio Pardinho com técnicas de Engenharia Natural (2023-2025). Salix Engenharia Natural Ltda, Comitê Pardo, Agepardo, Philip Morris Brasil. Fevereiro de 2025.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V. Recuperação de trecho do rio Pardinho com técnicas de Engenharia Natural (2021-2022). 2º Relatório de acompanhamento – ANO 2 (período 2022 a 2026), SEMA/FEPAM. Salix Engenharia Natural Ltda, Comitê Pardo, Agepardo. Abril de 2024.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V.; LEONARCZYK, DIEGO P.; SCARIOT, R. Recuperação de Trecho do Rio Pardo com Técnicas de Engenharia Natural. PRODUTO 2 – Elaboração de Projeto Básico-Executivo de Engenharia Natural para

MAPEAMENTO DE RECURSO NATURAIS DO BRASIL, ESCALA 1:250.000. IBGE, Rio de Janeiro, 2018.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. REPORT 568: Riprap design criteria, recommended specification and quality control. Transportation Research Board, Washington, D.C, 2006.

PORTO, R. M. Hidráulica básica. 2ª ed., São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 519 p., 1999

Recuperação de um Trecho de Margem no Rio Pardo. Salix Engenharia Natural Ltda, Unisc, Projeto Muda, Comitê Pardo e Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul. Abril de 2024.

SCHIECHTL. Watershed management field manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1985.

MARTINS, S. V. Recuperação de Áreas Degradadas. Ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Editora Aprenda Fácil, 5ª edição, Viçosa-MG, 2021.

SEMA. Diretrizes ambientais para restauração de matas ciliares. Porto Alegre: RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2007.

SOBRAL, M.; JARENKOW, J.A.; BRACK, P.; IRGANG, B.E.; LAROCCA, J.; RODRIGUES, R.S. Flora Arbórea e Arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil. RiMa Editora / Novo Ambiente. 1ª Edição, 2006.

SUTILI, F. Bioengenharia de solos no âmbito fluvial do Sul do Brasil - Espécies aptas, suas propriedades vegetativo-mecânicas e emprego na prática. Viena, Áustria: Universidade Rural de Viena, Departamento de Engenharia Civil e Perigos Naturais - Instituto de Bioengenharia de Solos e Planejamento da Paisagem, 2007.

9 ANEXOS

9.1 Quantitativo de materiais

- Parque Passo de Estrela: Estabilização e Recuperação Biotécnica da Margem do Rio Taquari.

9.2 Pranchas esquemáticas

25001_PS_EX_BIO_101_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_102_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_103_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_104_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_105_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_106_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_107_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_108_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_109_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_110_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_111_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_112_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_113_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_114_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_115_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_116_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_117_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_118_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_119_PLANTA BAIXA ENRROCAMENTO VEGETADO
25001_PS_EX_BIO_120_PERFIS ENRROCAMENTO VEGETADO FINAL BIOVALETA
GE-25-019-IFV-PE-NT-002-R00
GE-25-019-IFV-PE-NT-003-R00

Destinatário:

Embyá Paisagens & Ecossistemas

Proponente:

Salix Engenharia Natural

**PARQUES LINEARES VALE DO TAQUARI
PASSO DE ESTRELA**

Memorial Técnico de Estabilidade Hidráulica e Geotécnica

**Abordagem de Engenharia Natural para a Recuperação e
Estabilização da Margem Direita do Rio Taquari, no Parque Linear
Passo de Estrela, em Cruzeiro do Sul-RS**

EMBYÁ



Janeiro de 2026

DESTINATÁRIO:

Embyá Paisagens & Ecossistemas

EMBYÁ

Representantes:

Sra Elena Gepetti
Arquiteta e Paisagista

Sra Isadora Riker
Arquiteta e Paisagista

CONTRATADA:

Salix Engenharia Natural Ltda



Equipe técnica e gerencial:

Charles R. B. MAFFRA, CHARLES RODRIGO BELMONTE
Eng. Florestal, Dr. Responsável técnico
MAFFRA:01785438026
076

Assinado de forma digital por CHARLES RODRIGO BELMONTE
MAFFRA:01785438026
Dados: 2026.03.13 10:02:49 -03'00'

Documento assinado digitalmente

Tiago Bisognin Immich
Eng. Civil, Me.



TIAGO BISOGNIN IMMICH
Data: 13/03/2026 11:09:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Diego PO CZWARDOWSKI LEONARCZYK
Eng. Florestal, Téc. Agrícola, Eng. ST

Assinado de forma digital por DIEGO PO CZWARDOWSKI LEONARCZYK
PO CZWARDOWSKI LEONARCZYK84254807015
Dados: 2026.03.13 10:04:11 -03'00'

Rafael VENDRUSCOLO RAFAEL VENDRUSCOLO
Eng. Florestal, Me. :01547374020

Assinado de forma digital por RAFAEL VENDRUSCOLO
VENDRUSCOLO:01547374020
Dados: 2026.03.13 10:03:27 -03'00'

Documento assinado digitalmente

Paulo AFONSO DA ROSA
Analista em Geoprocessame



PAULO AFONSO DA ROSA
Data: 13/03/2026 10:08:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rivaél VAZ DA SILVA
Eng. Florestal, Téc. Agropecuária
Diretor Administrativo

Assinado de forma digital por RIVAEL VAZ DA SILVA
RIVAEL VAZ DA SILVA:00319820090009
Dados: 2026.03.13 10:04:48 -03'00'

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO	3
3	DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE DE TRANSPORTE	3
3.1	Conversão da velocidade superficial em velocidade média no canal	5
3.2	Conversão da velocidade média do canal para a velocidade incidente na margem ..	5
3.3	Validação empírica das velocidades estimadas a partir de observações locais	5
3.4	Velocidade de projeto adotada	7
4	DETERMINAÇÃO DO TAMANHO MÍNIMO DAS ROCHAS DO ENROCAMENTO	8
4.1	Critério baseado na velocidade limite de transporte (DURLO e SUTILI, 2014; MAYER, 1941)	8
4.2	Verificação pelo critério de Isbash (Isbash / USACE / FHWA)	9
4.3	Síntese e comparação com o D50 adotado em projeto	10
5	DEFINIÇÃO DO ENROCAMENTO VEGETADO E CRITÉRIOS CONSTRUTIVOS	10
5.1	Pé do enrocamento – geometria, função e dimensionamento adotado	11
5.1.1	Função estrutural do pé	11
5.1.2	Geometria adotada	11
5.1.3	Definição do pé do enrocamento	11
5.2	Geotêxtil – filtro e separação	12
5.3	Camada de assentamento	12
5.4	Enrocamento principal	13
5.5	Integração vegetal do enrocamento	13
5.6	Síntese do sistema adotado	14
6	ESTABILIDADE GEOTÉCNICA DA SOLUÇÃO PROPOSTA	14
6.1	Metodologia e critérios adotados	14
6.2	Análise comparativa dos cenários	15
6.3	Considerações finais sobre a estabilidade	16
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	16
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

9	ANEXOS.....	18
9.1	Análise de estabilidade das margens do rio Taquari em Passo de estrela, no município de Cruzeiro do Sul-RS.....	18
9.1.1	Seção 11_SPT02 (cenários: inicial; reafeiçoamento da margem; reafeiçoamento + enrocamento vegetado).....	19
9.1.2	Seção 15_SPT03 (cenários: inicial; reafeiçoamento da margem; reafeiçoamento + enrocamento vegetado).....	20
9.1.3	Seção 38_SPT06 (cenários: inicial; reafeiçoamento da margem; reafeiçoamento + enrocamento vegetado).....	21

1 INTRODUÇÃO

O presente documento consiste no Memorial de Cálculo associado ao Projeto Executivo de Engenharia Natural para estabilização da margem direita do rio Taquari, no trecho do Passo de Estrela, município de Cruzeiro do Sul–RS.

O memorial tem por finalidade demonstrar a adequação técnica, hidráulica e geotécnica da solução adotada, com base em metodologias consagradas da engenharia fluvial e da mecânica dos solos.

As análises contemplam o dimensionamento hidráulico do enrocamento vegetado e a verificação da estabilidade global do talude sob a condição mais crítica de carregamento, representada pelo rebaixamento rápido do nível do rio, considerando parâmetros geotécnicos estimados a partir de ensaios SPT e critérios normativos vigentes.

2 OBJETIVO

O objetivo deste memorial é apresentar as verificações técnicas que fundamentam a solução de estabilização proposta para a margem do rio Taquari, sob os seguintes aspectos:

1. Estabilidade hidráulica, por meio do dimensionamento do enrocamento vegetado (tamanho das rochas, pé, camada de filtro e extensão do revestimento), considerando velocidades de escoamento representativas de eventos extremos;
2. Estabilidade geotécnica global do talude, por meio da análise do Fator de Segurança (FS) em condições críticas de poropressão, com ênfase no rebaixamento rápido do nível d'água, adotando como critério de aceitação $FS \geq 1,50$, conforme a ABNT NBR 11682.

3 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE DE TRANSPORTE

A velocidade do escoamento em condição extrema foi estimada a partir de registros videográficos do evento extremo ocorrido em 02 de maio de 2024, quando o rio Taquari, nos municípios de Lajeado e Estrela, atingiu a cota máxima de inundação de 33,66 m, a maior da série histórica conhecida (Serviço Geológico Brasileiro, 2024; Collischonn et al., 2025).

O evento analisado refere-se ao registro realizado na manhã de 02/05/2024, quando uma balsa utilizada na travessia entre São Valentim do Sul e Santa Tereza se desprende e foi transportada pela correnteza, vindo a colidir com a ponte da BR-386, que liga os municípios de Lajeado e Estrela (vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=hKCEJ9WNoDc>).

A partir da análise quadro a quadro do vídeo, foi possível estimar que a balsa percorreu aproximadamente 110 m em um intervalo de 21 s, imediatamente antes do impacto com a estrutura da ponte (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A área da estimativa encontra-se a 3,4 km a montante da área de projeto.

A velocidade superficial do escoamento no eixo do canal (talvegue) foi, portanto, estimada por:

$$V_{\text{talvegue}} = \frac{110 \text{ m}}{21 \text{ s}} = 5,24 \text{ m/s}$$



Figura 1. Estimativa da velocidade do talvegue no dia 02/05/2024 a partir do vídeo de deslocamento da balsa que se chocou contra a ponte da BR-386 (<https://www.youtube.com/watch?v=hKCEJ9WNoDc>). Imagem superior mostra a balsa em seu deslocamento, enquanto a imagem inferior mostra o trecho percorrido.

O valor estimado representa uma velocidade superficial máxima associada ao escoamento concentrado no talvegue, estando sujeita a incertezas inerentes ao método de estimativa, tais como a influência do vento, a inércia do corpo flutuante e a diferença entre velocidade superficial e velocidade média na coluna d'água.

3.1 Conversão da velocidade superficial em velocidade média no canal

De acordo com a hidráulica clássica de canais abertos, a velocidade superficial tende a ser superior à velocidade média do escoamento. Autores como Chow (1959) e Durlo e Sutili (2014) indicam que a velocidade média pode ser estimada pela aplicação de um fator redutor sobre a velocidade superficial, normalmente situado entre 0,80 e 0,90, em função da rugosidade e do regime hidráulico.

De forma conservadora, adotou-se o fator:

$$\alpha_1 = 0,85$$

Resultando em uma velocidade média no canal dada por:

$$V_{média} = \alpha_1 \cdot V_{talvegue} = 0,85 \cdot 5,24 = 4,45 \text{ m/s}$$

3.2 Conversão da velocidade média do canal para a velocidade incidente na margem

A área de intervenção localiza-se na margem direita do rio Taquari, no raio interno de uma curva, caracterizando-se como zona de deposição (COLLISCHONN et al., 2025; ROSGEN, 1996). Em escoamentos em curva, a distribuição transversal das velocidades é assimétrica, com maiores valores concentrados no talvegue e no raio externo, enquanto as velocidades junto ao raio interno são significativamente reduzidas, em função do aumento da rugosidade hidráulica, da circulação secundária helicoidal e da dissipação de energia (CHOW, 1959; STEVAUX e LATRUBESSE, 2017).

Estudos experimentais e observações em rios naturais indicam que, em zonas deposicionais e margens internas, a velocidade próxima à margem pode situar-se entre 50% e 70% da velocidade média do canal, especialmente em trechos com rugosidade natural elevada ou presença de estruturas e vegetação (DURLO e SUTILI, 2014; NEPF, 2012).

Dessa forma, adotou-se o fator redutor:

$$\alpha_2 = 0,60$$

Resultando em uma velocidade característica incidente sobre a margem:

$$V_{margem} = \alpha_2 \cdot V_{média} = 0,6 \cdot 4,45 = 2,67 \text{ m/s}$$

3.3 Validação empírica das velocidades estimadas a partir de observações locais

As velocidades estimadas a partir do deslocamento da balsa e da aplicação dos fatores de correção encontram respaldo direto em observações empíricas realizadas tanto em obras existentes quanto em levantamentos de campo no próprio rio Taquari.

De Paula e Musskopf (2020), ao avaliarem e proporem obras de engenharia natural no Parque da Lagoa Maria Dresch, localizado no município de Estrela, praticamente em frente à

área de intervenção prevista em Cruzeiro do Sul (**Figura 2C**), indicaram que, para no dimensionamento das estruturas de proteção marginal, foram adotados blocos de rocha com diâmetros variando entre 0,50 m e 1,00 m, associados a condições hidráulicas extremas previamente registradas no rio Taquari.

Visitas técnicas realizadas ao local da obra do Parque da lagoa Maria Dresch permitiram verificar que, apesar das sucessivas cheias ocorridas após a implantação das estruturas, incluindo os eventos extremos de 2024, as rochas utilizadas no enrocamento permaneceram no local, conforme pode ser observado na **Figura 2C**.

Adicionalmente, na porção final da área que receberá a presente obra, foram identificados enrocamentos antigos e remanescentes, nos quais se observou a permanência, após as grandes enchentes de maio de 2024, de blocos rochosos com dimensões variando aproximadamente entre 0,30 m e 1,15 m (**Figura 2A e B**). A estabilidade desses blocos, mesmo sob condições hidrodinâmicas extremas, reforça a coerência das velocidades estimadas para a margem a partir da análise do deslocamento da balsa.

Diante das comprovações in loco, verifica-se que a velocidade superficial estimada no talvegue (5,24 m/s), a velocidade média do canal (4,45 m/s) e a velocidade incidente na margem ($\approx 2,7$ m/s), são compatíveis com as dimensões de rochas historicamente utilizadas e comprovadamente estáveis em intervenções reais no mesmo trecho do rio Taquari.

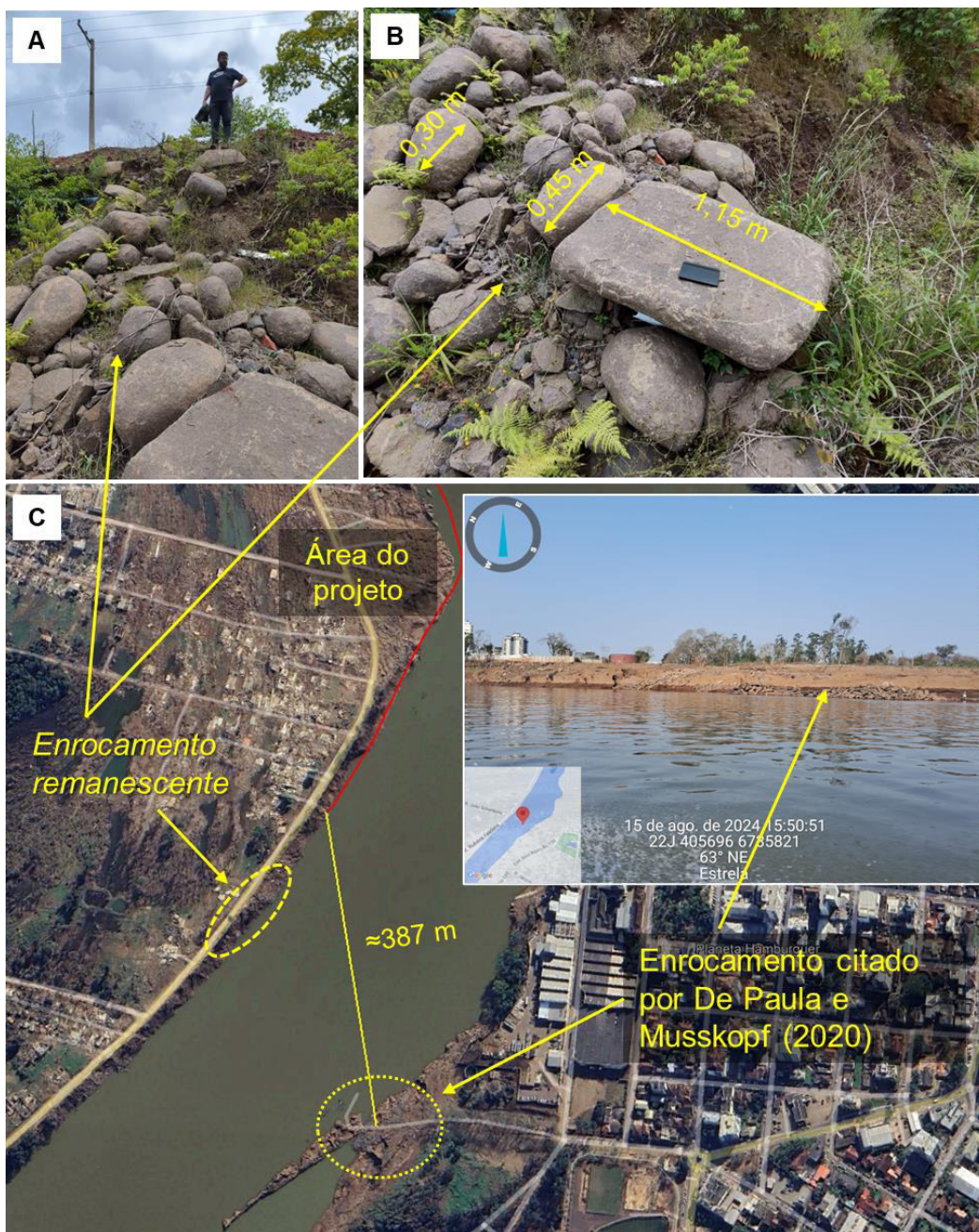


Figura 2. Validação in loco da velocidade limite de transporte estimada. (A) e (B) Presença de rochas de diâmetro idênticos e até abaixo dos valores estimados que permaneceram próximo ao local de obra após o evento catastrófico de 2024. (C) Rochas de diâmetro entre 0,5 e 1,0 m que permaneceram no local da obra de Engenharia Natural descrita por De Paula e Muskopf (2020), a cerca de 387 m de distância da área do projeto.

3.4 Velocidade de projeto adotada

Embora as estimativas indiquem velocidades incidentes na margem da ordem de 2,7 m/s, optou-se, de forma conservadora, por adotar como velocidade limite de transporte de projeto o valor:

$$V_{projeto} = 3,75 \text{ m/s}$$

Esse valor corresponde à velocidade média do rio Taquari indicada por De Paula e Musskopf (2020) para o trecho Lajeado–Estrela, utilizada no dimensionamento de obras de engenharia natural no Parque da Lagoa Maria Dresch, e representa uma majoração deliberada em relação às estimativas específicas para a margem interna da curva.

A adoção dessa velocidade majorada visa:

- reduzir incertezas associadas à estimativa indireta da velocidade;
- contemplar possíveis concentrações locais de energia hidráulica;
- e aumentar a robustez do dimensionamento frente a eventos extremos excepcionais.

Portanto, O valor de velocidade de projeto de 3,75 m/s será utilizado como base para a determinação do tamanho mínimo das rochas do enrocamento no item seguinte.

4 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO MÍNIMO DAS ROCHAS DO ENROCAMENTO

4.1 Critério baseado na velocidade limite de transporte (DURLO e SUTILI, 2014; MAYER, 1941)

Para a determinação do tamanho mínimo das rochas do enrocamento, foi adotado o critério baseado na velocidade limite de transporte, conforme apresentado por Durlo & Sutili (2014), a partir da formulação clássica proposta por Mayer (1941), amplamente utilizada em aplicações de hidráulica fluvial e engenharia natural.

De acordo com esse critério, a relação entre a velocidade limite de transporte do escoamento e a dimensão característica do bloco pode ser expressa por:

$$b = \frac{V^2}{14}$$

em que:

b = dimensão característica do bloco rochoso (m).

V = velocidade limite de transporte (m/s);

Substituição numérica de $V_{proj}=3,75$ m/s:

$$b = \frac{(3,75)^2}{14}$$

$$b = \frac{(14,0625)^2}{14} = 1,004$$

$$b = 1,00 \text{ m}$$

4.2 Verificação pelo critério de Isbash (Isbash / USACE / FHWA)

Como verificação complementar, aplicou-se o método de Isbash, amplamente utilizado para estimar a estabilidade de enrocamentos. A forma usual da equação (para diâmetro mediano) é apresentada como:

$$D50 = \frac{V^2}{2gC^2(Gs - 1)}$$

D50 = diâmetro mediano da rocha (m)

V= velocidade característica (m/s)

g= aceleração da gravidade (m/s²)

Gs= gravidade específica da rocha (adimensional)

C= coeficiente de Isbash (adimensional), dependente do nível de turbulência (valores típicos: C = 0,86 para alta turbulência; C = 1,2 para baixa turbulência).

Parâmetros adotados:

- Velocidade de projeto: V = 3,75 m/s
- Gravidade: g = 9,81 m/s²
- Rocha basáltica típica: Gs = 2,65 (adimensional)
- Turbulência: adotado alta turbulência (mais conservador), C= 0,86.

Cálculo:

1. Termos básicos:

$$V^2 = (3,75)^2 = 14,0625$$

$$(Gs - 1) = 2,65 - 1 = 1,65$$

$$C^2 = (0,86)^2 = 0,7396$$

2. Denominador:

$$\begin{aligned} 2 \cdot g \cdot C^2 \cdot (Gs - 1) &= 2 \cdot 9,81 \cdot 0,7396 \cdot 1,65 \\ &= 19,62 \cdot 0,7396 \cdot 1,65 = 14,51 \cdot 1,65 = 23,94 \end{aligned}$$

3. Diâmetro mediano:

$$D50, Isbash = \frac{14,0625}{23,94} = 0,587 \approx 0,59m$$

4. Fator de segurança sobre D50:

$$D50, Isbash = 0,59 \cdot 1,5 \approx 0,89m$$

4.3 Síntese e comparação com o D50 adotado em projeto

- Critério Durlo & Sutili / Mayer: $b \approx 1,00 m$
- Critério Isbash (alta turbulência): $D50 \approx 0,59 m$
- Isbash com ajuste conservador ($\approx 1,5$): $D50 \approx 0,89 m$

Considerando-se os três critérios, mais as observações feitas in loco, adotou-se em projeto:

$$D_{50, \text{ adotado}} \geq 1,10 m$$

5 DEFINIÇÃO DO ENROCAMENTO VEGETADO E CRITÉRIOS CONSTRUTIVOS

A proteção marginal será executada na margem direita do rio Taquari, no raio interno de curva, com a margem previamente reafeiçoada para inclinação média de $21,8^\circ$, e com implantação de enrocamento vegetado ao longo de aproximadamente 860 m, com largura média de 10 m (da base em direção ao topo).

A solução é composta por: pé maciço e enterrado, geotêxtil de filtro, camada de assentamento em rachão, enrocamento principal (blanket) e linhas de plantio de espécies reófitas resistentes à submersão (**Figura 3**).

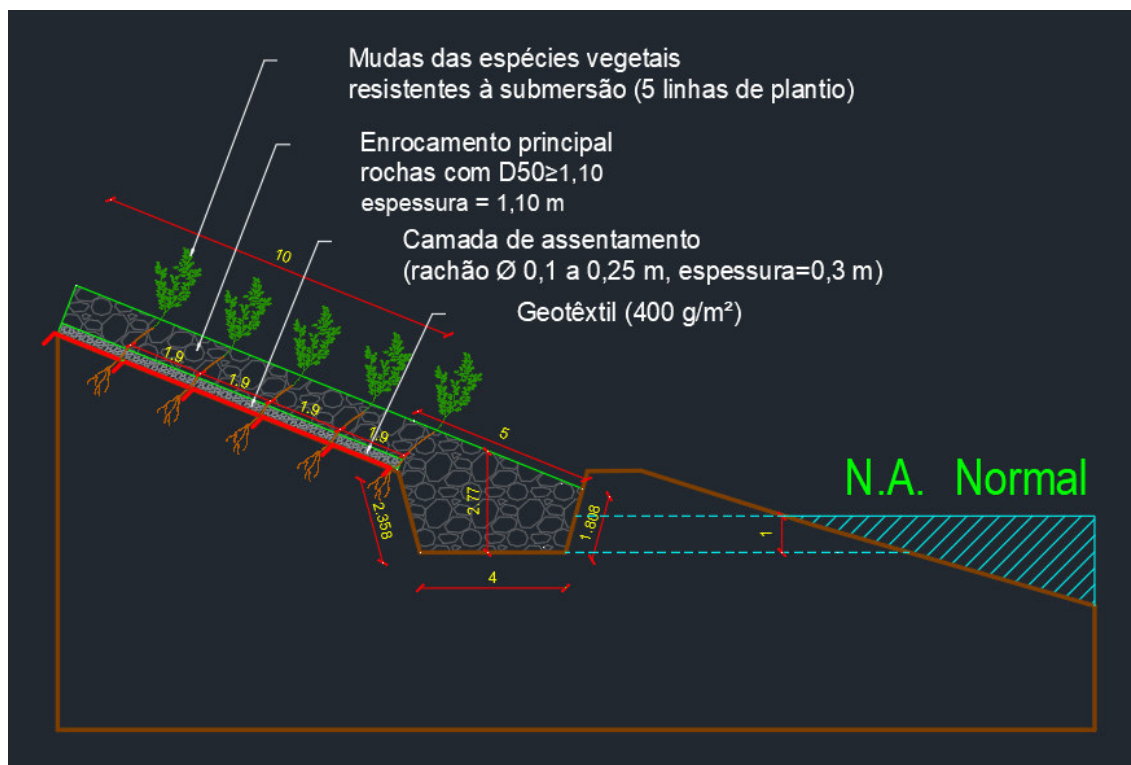


Figura 3. Aspectos gerais do enrocamento vegetado projetado.

5.1 Pé do enrocamento – geometria, função e dimensionamento adotado

5.1.1 Função estrutural do pé

O pé do enrocamento constitui o elemento de maior importância para a estabilidade do revestimento, pois:

- Controla o risco de falha progressiva por solapamento (undermining);
- Fornece massa e reserva geométrica para autoacomodação (launching), caso ocorra escavação localizada do leito;
- Garante ancoragem inferior do sistema, reduzindo deslocamentos do enrocamento principal por rebaixamentos rápidos do nível d'água e por variações de pressão neutra.

5.1.2 Geometria adotada

- Largura da base: 4 m (enterrado para dentro do talude reafeiçoado) (Conforme HEC-23/FHWA, 2009);
- Espessura/altura média do pé: 2,77 m (Conforme HEC-23/FHWA, 2009)
- Posicionamento executado em cava, com implantação 1,0 m abaixo do nível normal da água, garantindo reserva contra escavação local do leito (**Figura 3**).
- O material do pé deve ser compostos por rochas $D_{50} \geq 1,10$ m acomodadas na cava previamente feita;
- Preferência por blocos angulares, com bom intertravamento e alta estabilidade, considerando uma relação de comprimento x espessura ≤ 3.0 (ex.: 1,1 m comprimento/0,4 m espessura = 2,75 ok!; HEC-23/FHWA, 2009)

A adoção de 4 m ao longo de todo o trecho garante maior capacidade de autoacomodação e reduz probabilidade de falhas catastróficas por perda de apoio da base.

5.1.3 Definição do pé do enrocamento

A geometria do pé do enrocamento foi definida com base nas diretrizes de dimensionamento de proteções marginais fluviais apresentadas no Hydraulic Engineering Circular No. 23 – HEC-23 (FHWA, 2009), que estabelece critérios para controle de solapamento do leito e garantia de autoacomodação do enrocamento.

Considerando:

- A adoção de rochas de enrocamento com $D_{50} \geq 1,10$ m;
- Informações de deposição e remoção de material do canal apresentadas em Collischonn et al. (2025);
- E a necessidade de assegurar reserva geométrica para acomodação do enrocamento.

Considerando os itens supramencionados, foi adotado pé do enrocamento com largura de base igual a 4,0 m, valor compatível com a recomendação do HEC-23 de que a largura do toe seja da ordem de 3 a 4 vezes o diâmetro característico das rochas, assegurando estabilidade mesmo após escavações locais do leito.

A espessura média do pé, definida como 2,77 m, corresponde a aproximadamente 2,5 vezes o D50 adotado, atendendo ao critério do HEC-23 de que o pé apresente altura suficiente para garantir intertravamento das rochas e estabilidade estrutural após eventuais processos de acomodação (FHWA, 2009).

O pé será executado em cava, com posicionamento abaixo do nível médio da água, conforme recomendado pelo HEC-23, e apoiado em solo competente, conforme indicado pelos ensaios SPT, que apresentaram valores de NSPT médio de 35 (SPT01, 01, 03, 04, 05, 06 e 17) (Relatório de Sondagem SPT, 2025), ou seja, um solo duro, segundo a NBR 6484/2020.

5.2 Geotêxtil – filtro e separação

O geotêxtil foi adotado com base nas recomendações do FHWA – Hydraulic Engineering Circular No. 23 (2009) e do Manual Brasileiro de Geossintéticos (2015), com a função de filtro hidráulico e separação entre o solo do talude e o sistema de enrocamento.

Considerando as características do solo local, indicadas pelos ensaios SPT (NSPT > 10), e as elevadas cargas impostas pelo enrocamento de grande porte, optou-se pela utilização de geotêxtil não tecido agulhado, com as seguintes propriedades mínimas: Gramatura mínima de 400 g/m²; Resistência à tração ≥ 20 kN/m; Permeabilidade de ≥ 0,36 cm/s; e Resistência ao puncionamento de ≥ 4,0 kN.

Essas propriedades asseguram adequada retenção de partículas finas, elevada capacidade de drenagem e resistência mecânica compatível com o lançamento e acomodação do enrocamento, conforme práticas correntes de proteção de margens fluviais.

5.3 Camada de assentamento

Sobre o geotêxtil será executada camada de assentamento com espessura de 0,30 m, composta por rachão com dimensões típicas entre 0,10 e 0,25 m, conforme recomendações do FHWA – HEC-23 (2009).

A camada de assentamento foi prevista com a finalidade de:

- Proteger o geotêxtil durante o lançamento do enrocamento principal;
- Regularizar o apoio das rochas de maior porte;
- Contribuir para a dissipação de gradientes hidráulicos locais.

A espessura adotada atende às recomendações correntes para obras de proteção marginal com enrocamento de grande porte, não sendo considerada como elemento estrutural principal, mas como camada auxiliar de proteção e acomodação.

5.4 Enrocamento principal

O enrocamento principal foi dimensionado com base nos critérios hidráulicos apresentados nos Itens 1 e 2, utilizando como base as metodologias de Durlo e Sutili (2014), Mayer (1941) e Isbash (FHWA – HEC-23, 2009), resultando em tamanhos mínimos teóricos inferiores aos adotados em projeto.

Considerando as incertezas associadas à estimativa indireta da velocidade do escoamento, bem como a necessidade de aumentar a robustez da solução frente a eventos extremos, adotou-se enrocamento com $D50 \geq 1,10$ m, valor superior ao mínimo calculado pelos critérios hidráulicos.

A espessura do enrocamento principal como 1,10 m, compatível com o D50 adotado, conforme recomendações do FHWA – HEC-23, que indicam que a espessura do enrocamento deve ser, no mínimo, da ordem do diâmetro característico das rochas, assegurando estabilidade e intertravamento adequados.

Por fim, o enrocamento principal será executado com extensão de 10 m ao longo do talude, medida no sentido da base em direção ao topo da margem. Somado aos 5 m correspondentes ao enrocamento do pé, o sistema de proteção marginal totaliza 15 m de largura de enrocamento, do pé em direção ao topo do talude. O efeito dessa largura de enrocamento sobre a estabilidade da margem é analisada em termos de equilíbrio-limite, apresentado na seção 6.

5.5 Integração vegetal do enrocamento

O enrocamento foi concebido como enrocamento vegetado, com implantação de linhas de plantio de espécies nativas resistentes à submersão, distribuídas ao longo da largura do revestimento.

A vegetação tem função complementar, contribuindo para: a) aumento da rugosidade hidráulica superficial; b) redução de velocidades próximas à margem; c) aumento da coesão do solo (cerca de 3 kPa, após 1 ano, conforme MAFFRA, 2018); d) integração ecológica e paisagística da intervenção.

5.6 Síntese do sistema adotado

O sistema de proteção marginal adotado – composto por pé robusto, geotêxtil de filtro, camada de assentamento, enrocamento principal de grande porte e integração vegetal – está em conformidade com as metodologias correntes de projeto de enrocamentos fluviais e engenharia natural, atendendo às recomendações do FHWA – HEC-23 (2009) e à literatura técnica especializada, com margens adicionais de segurança frente às condições hidráulicas do rio Taquari.

6 ESTABILIDADE GEOTÉCNICA DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A estabilidade geotécnica da margem direita do rio Taquari, no trecho em estudo, foi avaliada por meio de análises de equilíbrio limite realizadas no software GEO5 – Slope Stability, considerando-se explicitamente a condição mais crítica para taludes fluviais após eventos de cheia, qual seja, o rebaixamento rápido do nível da água.

As análises foram conduzidas em três seções transversais representativas, coincidentes com pontos de investigação geotécnica por sondagem à percussão (SPT), a saber: Seção 11 (SPT 02), Seção 15 (SPT 03) e Seção 38 (SPT 06). Para cada seção, foram simulados três cenários distintos:

1. Margem na condição inicial, conforme geometria resultante das inundações de maio de 2024, sem qualquer intervenção;
2. Talude reafeiçoado para inclinação média de 21,8°, sem medidas de proteção superficial;
3. Talude reafeiçoado para 21,8° com implantação do enrocamento projetado, sendo o enrocamento representado nas análises como sobrecarga estabilizante, com valores equivalentes de 52 kN/m² no pé do talude e 26 kN/m² ao longo do restante do enrocamento.

6.1 Metodologia e critérios adotados

As análises de estabilidade foram realizadas utilizando o método de Morgenstern – Price, com busca sistemática de superfícies potenciais de ruptura por meio de malha (grid) definida manualmente, de modo a garantir a identificação das superfícies críticas mais desfavoráveis em cada cenário.

Os parâmetros geotécnicos dos solos foram definidos a partir de correlações conservadoras com os valores de NSPT, em consonância com a descrição tátil-visual dos materiais e com a literatura técnica, sendo adotado o modelo Mohr–Coulomb em tensões efetivas.

O critério de aceitação dos resultados seguiu o disposto na ABNT NBR 11682 – Estabilidade de Encostas, adotando-se como condição satisfatória **Fator de Segurança (FS) \geq 1,50**.

6.2 Análise comparativa dos cenários

A análise dos resultados evidenciou que os menores valores de Fator de Segurança ocorreram sistematicamente no cenário da margem em condição inicial, sem qualquer intervenção, apresentando FS próximos da unidade, o que indica condição de estabilidade limítrofe, compatível com os processos erosivos e colapsos observados no local após as cheias de 2024.

O reafeiçoamento geométrico do talude para 21,8°, isoladamente, promoveu incremento significativo dos fatores de segurança, demonstrando a eficácia da suavização da inclinação na redução das forças desestabilizantes. Contudo, em algumas seções, os valores de FS ainda se mantiveram próximos ao limite mínimo normativo, especialmente sob a condição de rebaixamento rápido.

Os maiores valores de Fator de Segurança foram obtidos no cenário com talude reafeiçoado associado à implantação do enrocamento, mesmo quando este foi considerado de forma conservadora apenas como sobrecarga estabilizante, sem contabilização explícita de seus efeitos drenantes ou de reforço estrutural adicional. Esse cenário apresentou, de forma consistente, FS superiores aos obtidos nos demais casos, atendendo ao critério normativo da ABNT NBR 11682 em todas as seções analisadas.

As análises realizadas, assim como os parâmetros utilizados, podem ser consultadas nos materiais em anexo.

No **Quadro 1** é possível observar o quadro resumo dos fatores de segurança obtidos por cenário analisado.

Quadro 1. Fatores de segurança obtidos por cenário nas seções transversais representativas analisadas.

SEÇÃO	FATOR DE SEGURANÇA POR CENÁRIO		
	TALUDE INICIAL	TALUDE REAFEIÇOADO	TALUDE REAFEIÇOAMENTO+ENROCAMENTO
S11_SPT02	0,9	1,99	2,58
S15_SPT03	0,98	1,92	2,83
S38_SPT06	1,06	2,44	3,53

6.3 Considerações finais sobre a estabilidade

Os resultados obtidos demonstram que a solução proposta, composta pelo reafeiçoamento do talude associado ao enrocamento dimensionado, proporciona ganho expressivo de estabilidade geotécnica da margem, inclusive sob a condição mais crítica de carregamento hidráulico, representada pelo rebaixamento rápido do nível da água.

Ressalta-se que os valores de Fator de Segurança obtidos são conservadores, uma vez que o enrocamento foi modelado apenas como sobrecarga, não sendo considerados, nas análises, seus efeitos favoráveis adicionais, tais como a redução de poropressões, o controle de solapamento no pé do talude e a contribuição futura da vegetação implantada.

Dessa forma, conclui-se que a solução de engenharia natural proposta é tecnicamente adequada e geotecnicamente estável, atendendo aos critérios normativos vigentes e representando uma alternativa segura para a estabilização da margem do rio Taquari no trecho em estudo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises desenvolvidas neste memorial demonstram que a solução de Engenharia Natural proposta para a margem direita do rio Taquari é tecnicamente adequada sob os pontos de vista hidráulico e geotécnico.

O dimensionamento hidráulico do enrocamento, fundamentado em metodologias consagradas e validado por observações empíricas locais, resultou na adoção de blocos com $D_{50} \geq 1,10$ m, pé robusto e largura total de revestimento de 15 m, garantindo estabilidade frente às velocidades de escoamento associadas a eventos extremos.

As análises de estabilidade geotécnica, conduzidas para a condição mais crítica de rebaixamento rápido do nível do rio, evidenciaram que a margem em condição natural apresenta fatores de segurança próximos da ruptura, ao passo que o reafeiçoamento geométrico e, principalmente, a implantação do enrocamento promovem ganhos expressivos de estabilidade.

Para todas as seções analisadas, o cenário com talude reafeiçoado e enrocamento apresentou fatores de segurança superiores ao valor mínimo recomendado pela ABNT NBR 11.682 ($FS \geq 1,50$), mesmo quando o enrocamento foi considerado de forma conservadora apenas como sobrecarga estabilizante.

Dessa forma, conclui-se que a solução adotada atende plenamente aos critérios técnicos e normativos aplicáveis, representando alternativa segura, robusta e compatível com os objetivos de estabilização da margem do rio Taquari no trecho em estudo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Aferição direta e avaliação indireta do nível máximo em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024. 4ª Versão. Revisada e Atualizada em 24/09/2024. Setembro de 2024.

CHOW, V. T. Open-Channel Hydraulics. New York: McGraw-Hill, 1959.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA R. C. D; SAMPAIO, M.; BUFFON, F.; MORAES, S. R. Modificações no leito do rio Taquari e seu impacto sobre as inundações. Nota Técnica. Porto Alegre, 2025.

COPPIN, N. J; RICHARDS, I.G. Use vegetation in Civil Engineering. 2ª ed. London, UK: Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), 2007.

ROSGEN, D. Applied river morphology. Wildland Hydrology, 1996.

DURLO, M.; SUTILI, F. Bioengenharia - Manejo biotécnico de cursos de água. 3a ed. Santa Maria: Pallotti, 2014.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Hidraulic Engineering Circular nº 23. Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance. Third Edition, Publication N° FHWA-NHI-09-112. Federal Highway Administration, September, 2009.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. Biotechnical and soil bioengineering - Slope stabilization – A practical guide for erosion control. New York, USA: John Wiley and Sons, Inc., 1996.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, 2012.

KELLER, R. J. RIPRAP: Guidelines for the design of river bank stability and protection using RIPRAP. USER GUIDE. CRC for Catchment Hydrology, Australia, 2005.

MAFFRA, C.R.B.; SUTILI, F. J. Metodologia para elaboração de projetos de Engenharia Natural em obras de infraestrutura. CIÊNCIA & AMBIENTE, v. 46/47, p. 73-93, 2017.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V. Elaboração de Projeto e Execução de Recuperação de um Trecho do Rio Pardinho na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. PRODUTO 2 – Projeto de Engenharia Natural para os trechos escolhidos. Salix Engenharia Natural Ltda, Comitê Pardo, Agepardo. Janeiro de 2022.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V.; LEONARCZYK, D. P. Relatório Consolidado de Atividades Conduzidas. Recuperação de trecho do rio Pardinho com técnicas de Engenharia Natural (2023-2025). Salix Engenharia Natural Ltda, Comitê Pardo, Agepardo, Philip Morris Brasil. Fevereiro de 2025.

MAFFRA, C. R. B.; VENDRUSCOLO, R.; DA SILVA, R. V. Recuperação de trecho do rio Pardinho com técnicas de Engenharia Natural (2021-2022). 2º Relatório de acompanhamento –

ANO 2 (período 2022 a 2026), SEMA/FEPAM. Salix Engenharia Natural Ltda, Comitê Pardo, Agepardo. Abril de 2024.

MAYER, R. Noções de hidráulica florestal. Direção geral dos serviços florestais aquícolas. Alcobaça: Tip. Alcobacense, 1941.

MAFFRA, C. R. B. Resistência ao cisalhamento de solos com raízes: ensaios de cisalhamento direto in situ. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. REPORT 568: Riprap design criteria, recommended specification and quality control. Transportation Research Board, Washington, D.C, 2006.

NEPF, H. M. Flow and transport in regions with aquatic vegetation. Annual Review of Fluid Mechanics, v. 44, p. 123–142, 2012.

PAULA, T.; MUSSKOPF, E. L. Avaliação e proposta de novas obras de Engenharia Natural para estabilização de taludes fluviais do rio Taquari no município de Estrela, RS. Geografia (Londrina) v. 29. N. 2. Pp. 163-183, julho/2020.

PORTO, R. M. Hidráulica básica. 2ª ed., São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 519 p., 1999

Recuperação de um Trecho de Margem no Rio Pardo. Salix Engenharia Natural Ltda, Unisc, Projeto Muda, Comitê Pardo e Ministério Público do Estado do Rio Grande do Sul. Abril de 2024.

SCHIECHTL. Watershed management field manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1985.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Geomorfologia fluvial. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

9 ANEXOS

9.1 Análise de estabilidade das margens do rio Taquari em Passo de estrela, no município de Cruzeiro do Sul-RS

9.1.1 Seção 11_SPT02 (cenários: inicial; reafeiçoamento da margem; reafeiçoamento + enrocamento vegetado)

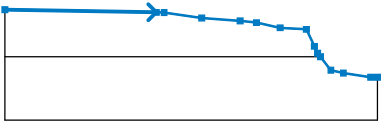
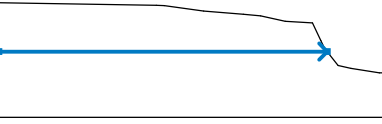
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

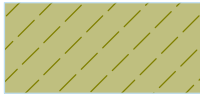
Project

Projeto : Seção 11_SPT02_talude inicial_sem intervenção_rebaixamento rápido
 Descrição : Talude inicial sem intervenção_condição de rebaicamento rápido
 Data : 28/01/2026


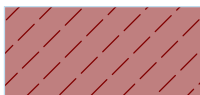
Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	18,04	28,29	17,55	29,75	17,50
		36,79	16,51	43,94	15,95	47,01	15,64
		51,42	14,67	56,33	14,38	57,83	11,21
		58,45	9,94	58,99	9,25	60,91	6,75
		63,25	6,21	68,33	5,42	69,61	5,42
2		0,00	9,25	58,99	9,25		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo		26,00	6,00	18,00
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		28,00	10,00	18,50

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo		20,00		
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		20,50		

Soil parameters

Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\phi_{ef} = 26,00$ °
 Cohesion of soil : $C_{ef} = 6,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00$ kN/m³

Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		58,99	9,25	58,45	9,94	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a
		57,83	11,21	56,33	14,38	
		51,42	14,67	47,01	15,64	
		43,94	15,95	36,79	16,51	
		29,75	17,50	28,29	17,55	
		0,00	18,04	0,00	9,25	
2		0,00	9,25	0,00	-2,58	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		69,61	-2,58	69,61	5,42	
		68,33	5,42	63,25	6,21	
		60,91	6,75	58,99	9,25	

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	18,70	69,61	18,70		
GWT		0,00	6,07	69,61	6,07		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

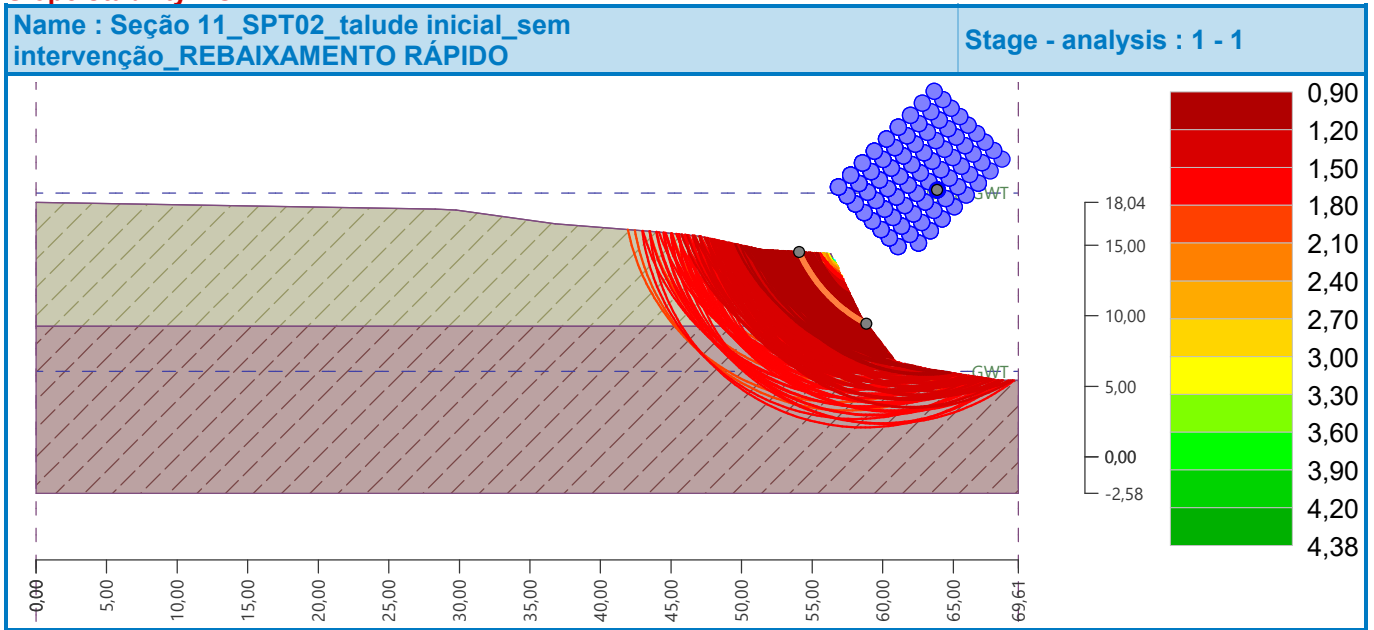
Slip surface parameters							
Center :	x =	63,87	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-65,82	[°]
	z =	18,91	[m]		$\alpha_2 =$	-27,88	[°]
Radius :	R =	10,73	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 154,59 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 0,90 < 1,50

Slope stability NOT ACCEPTABLE



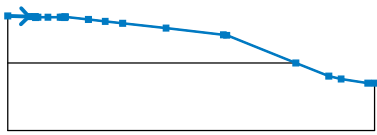
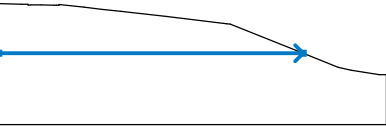
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)



Project

Projeto : S11_SPT2_TALUDE REAFEIÇADO_REBAIXAMENTO RÁPIDO
 Descrição : Talude reafeiçoado para 21,8°_condição de rabiaxamento rápido
 Data : 28/01/2026



Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	18,18	4,04	18,05	5,24	18,02
		5,28	17,87	5,73	17,91	7,63	17,94
		9,94	17,90	10,34	17,90	10,79	17,85
		10,83	18,00	10,95	18,00	15,30	17,51
		18,49	17,15	21,83	16,77	30,04	15,85
		40,91	14,57	41,54	14,49	54,66	9,25
		60,94	6,74	63,25	6,21	68,33	5,42
		69,61	5,42				
2		0,00	9,25	54,66	9,25		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo		26,00	6,00	18,00
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		28,00	10,00	18,50

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo		20,00		
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		20,50		

Soil parameters

Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo

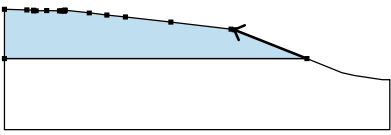
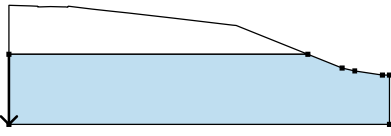
Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 26,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 6,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo

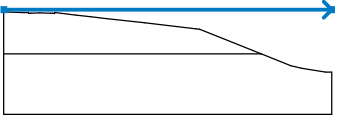
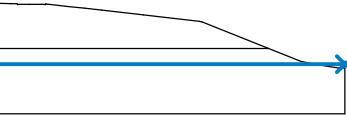
Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		54,66	9,25	41,54	14,49	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a
		40,91	14,57	30,04	15,85	
		21,83	16,77	18,49	17,15	
		15,30	17,51	10,95	18,00	
		10,83	18,00	10,79	17,85	
		10,34	17,90	9,94	17,90	
		7,63	17,94	5,73	17,91	
		5,28	17,87	5,24	18,02	
		4,04	18,05	0,00	18,18	
		0,00	9,25			
2		0,00	9,25	0,00	-3,58	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		69,61	-3,58	69,61	5,42	
		68,33	5,42	63,25	6,21	
		60,94	6,74	54,66	9,25	

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	18,64	69,61	18,64		
GWT		0,00	6,19	69,61	6,19		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

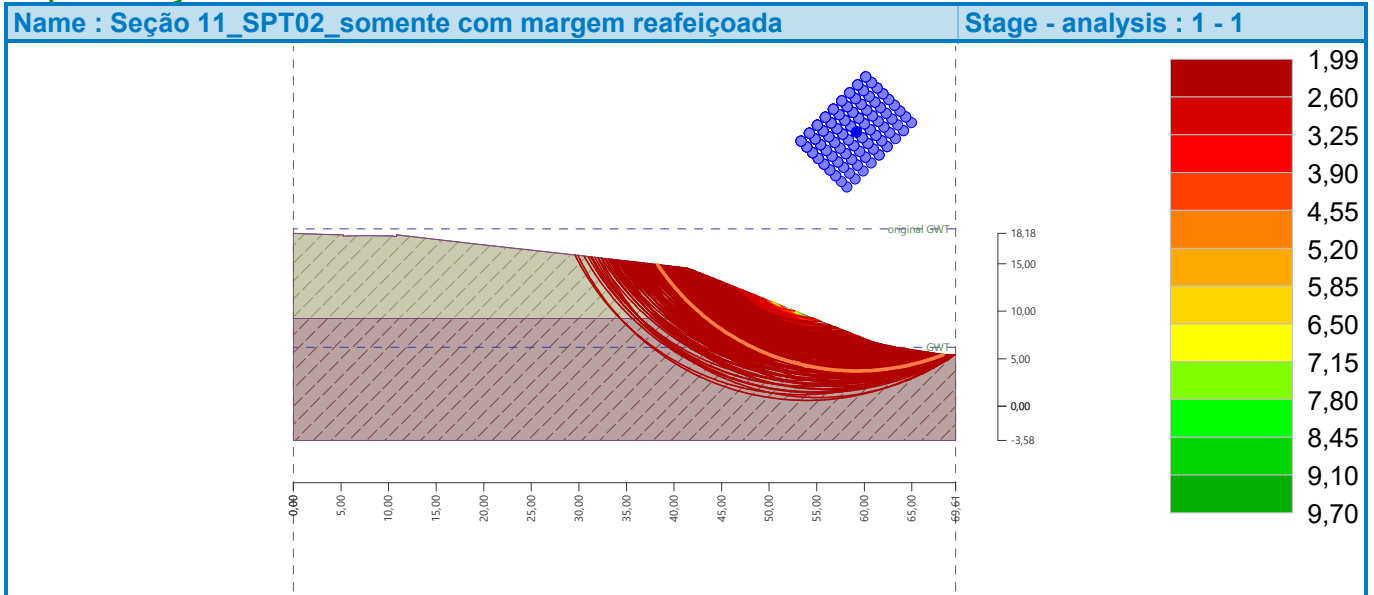
Slip surface parameters						
Center :	x =	59,17	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-56,24 [°]
	z =	28,84	[m]		$\alpha_2 =$	21,25 [°]
Radius :	R =	25,12	[m]			
Slip surface after grid search.						

Total weight of soil above the slip surface: 2270,67 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 1,99 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE



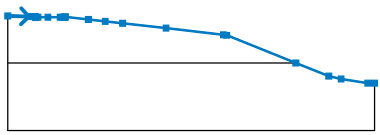
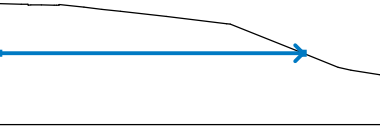
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Projeto : S11_SPT2_TALUDE REAFEIÇADO_ENROCAMENTO_REBAIXAMENTO RÁPIDO
 Descrição : Talude reafeiçoado para 21,8°_ENROCAMENTO_condição de rabiaxamento rápido
 Data : 28/01/2026

Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	18,18	4,04	18,05	5,24	18,02
		5,28	17,87	5,73	17,91	7,63	17,94
		9,94	17,90	10,34	17,90	10,79	17,85
		10,83	18,00	10,95	18,00	15,30	17,51
		18,49	17,15	21,83	16,77	30,04	15,85
		40,91	14,57	41,54	14,49	54,66	9,25
		60,94	6,74	63,25	6,21	68,33	5,42
		69,61	5,42				
2		0,00	9,25	54,66	9,25		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo		26,00	6,00	18,00
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		28,00	10,00	18,50

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo		20,00		
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		20,50		

Soil parameters

Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb

Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 26,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 6,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		54,66	9,25	41,54	14,49	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a
		40,91	14,57	30,04	15,85	
		21,83	16,77	18,49	17,15	
		15,30	17,51	10,95	18,00	
		10,83	18,00	10,79	17,85	
		10,34	17,90	9,94	17,90	
		7,63	17,94	5,73	17,91	
		5,28	17,87	5,24	18,02	
		4,04	18,05	0,00	18,18	
		0,00	9,25			
2		0,00	9,25	0,00	-3,58	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		69,61	-3,58	69,61	5,42	
		68,33	5,42	63,25	6,21	
		60,94	6,74	54,66	9,25	

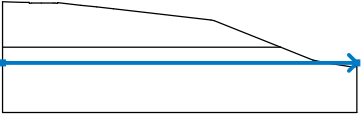
Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin	Length	Width	Slope	Magnitude		unit
				x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q ₁ , f, F, x	q ₂ , z	
1	strip	permanent	on terrain	x = 56,00	l = 5,00		21,80	52,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 46,00	l = 10,00		21,80	26,00		kN/m ²

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	18,64	69,61	18,64		

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
GWT		0,00	6,19	69,61	6,19		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

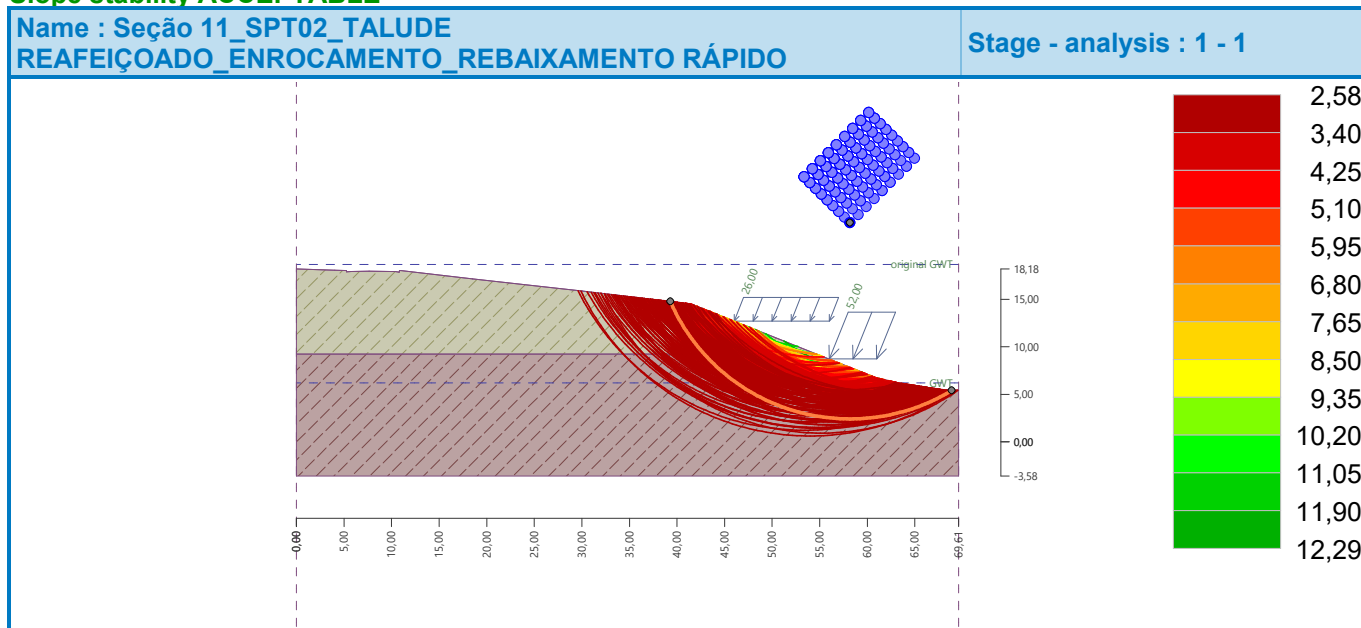
Slip surface parameters						
Center :	x =	58,18	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-66,32 [°]
	z =	23,04	[m]		$\alpha_2 =$	31,29 [°]
Radius :	R =	20,62	[m]			
Slip surface after grid search.						

Total weight of soil above the slip surface: 2822,05 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 2,58 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE



9.1.2 Seção 15_SPT03 (cenários: inicial; reafeiçoamento da margem; reafeiçoamento + enrocamento vegetado)

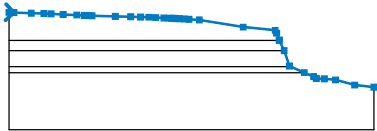
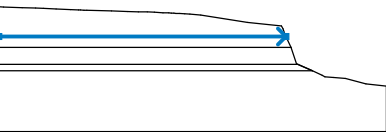
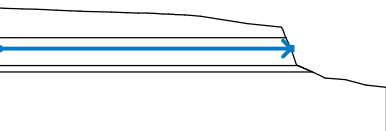
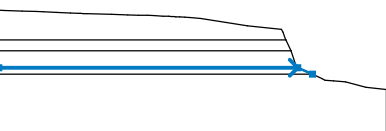
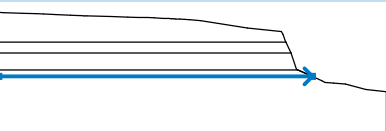
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)


Project



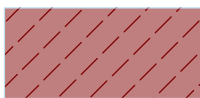
Projeto : SEÇÃO 15_SPT03_TALUDE INICIAL_rebaixamento rápido
 Descrição : Talude inicial_sem intervenção_rebaixamento rápido
 Data : 29/01/2026

Interface



No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	17,66	0,77	17,63	3,63	17,54
		5,69	17,47	6,86	17,42	8,87	17,33
		11,10	17,23	12,32	17,17	12,64	17,16
		13,19	17,13	13,62	17,11	17,44	17,01
		19,96	16,94	21,59	16,90	22,96	16,87
		24,07	16,82	25,40	16,75	26,27	16,71
		26,69	16,68	27,08	16,67	27,38	16,65
		27,97	16,62	28,73	16,58	29,55	16,52
		31,23	16,41	38,44	15,24	43,69	14,72
		43,93	14,24	44,34	13,13	44,37	13,07
		45,17	11,38	46,03	8,85	48,48	7,77
		50,00	7,10	50,44	6,82	51,76	6,76
		53,59	6,57	56,74	5,73	59,92	5,39
2		0,00	13,07	44,37	13,07		
3		0,00	11,37	45,17	11,38		
4		0,00	8,77	46,21	8,77	48,48	7,77
5		0,00	7,77	48,48	7,77		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média		25,00	5,00	18,00

No.	Name	Pattern	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
2	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo		26,00	6,00	18,00
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo		27,00	7,00	18,00
4	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		28,00	9,00	18,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média		20,00		
2	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo		20,00		
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo		20,00		
4	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		20,00		

Soil parameters

Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
Stress-state : effective
Shear strength : Mohr-Coulomb
Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 5,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
Stress-state : effective
Shear strength : Mohr-Coulomb
Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 26,00^\circ$
Cohesion of soil : $c_{ef} = 6,00 \text{ kPa}$
Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

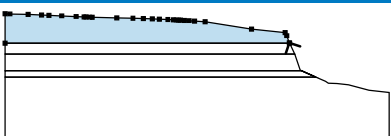

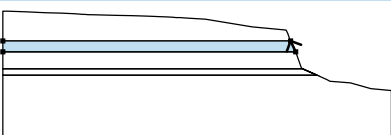

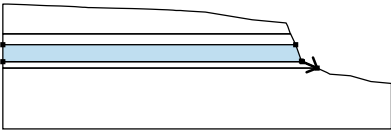

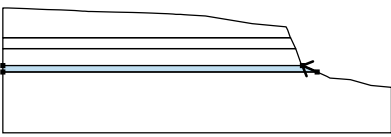

Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo

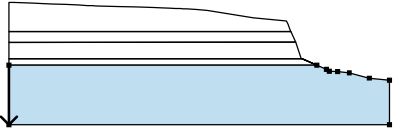

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 27,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 7,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 9,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

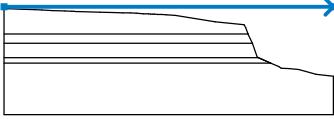
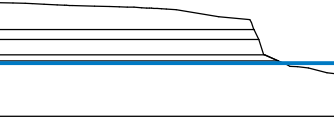
Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		44,37	13,07	44,34	13,13	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a 
		43,93	14,24	43,69	14,72	
		38,44	15,24	31,23	16,41	
		29,55	16,52	28,73	16,58	
		27,97	16,62	27,38	16,65	
		27,08	16,67	26,69	16,68	
		26,27	16,71	25,40	16,75	
		24,07	16,82	22,96	16,87	
		21,59	16,90	19,96	16,94	
		17,44	17,01	13,62	17,11	
		13,19	17,13	12,64	17,16	
		12,32	17,17	11,10	17,23	
		8,87	17,33	6,86	17,42	
		5,69	17,47	3,63	17,54	
0,77	17,63	0,00	17,66			
0,00	13,07					
2		45,17	11,38	44,37	13,07	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a 
		0,00	13,07	0,00	11,37	
3		46,21	8,77	48,48	7,77	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo 
		46,03	8,85	45,17	11,38	
		0,00	11,37	0,00	8,77	
4		48,48	7,77	46,21	8,77	Argilo-siltoso, levemente plástico, 
		0,00	8,77	0,00	7,77	

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
5		0,00	7,77	0,00	-1,61	Argilo-siltoso, levemente plástico, 
		59,92	-1,61	59,92	5,39	
		56,74	5,73	53,59	6,57	
		51,76	6,76	50,44	6,82	
		50,00	7,10	48,48	7,77	

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	18,00	59,92	18,00		
GWT		0,00	7,40	59,92	7,40		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters						
Center :	x =	48,52	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-66,97 [°]
	z =	18,49	[m]		$\alpha_2 =$	-19,54 [°]
Radius :	R =	8,80	[m]			
Slip surface after grid search.						

Total weight of soil above the slip surface: 215,51 kN/m

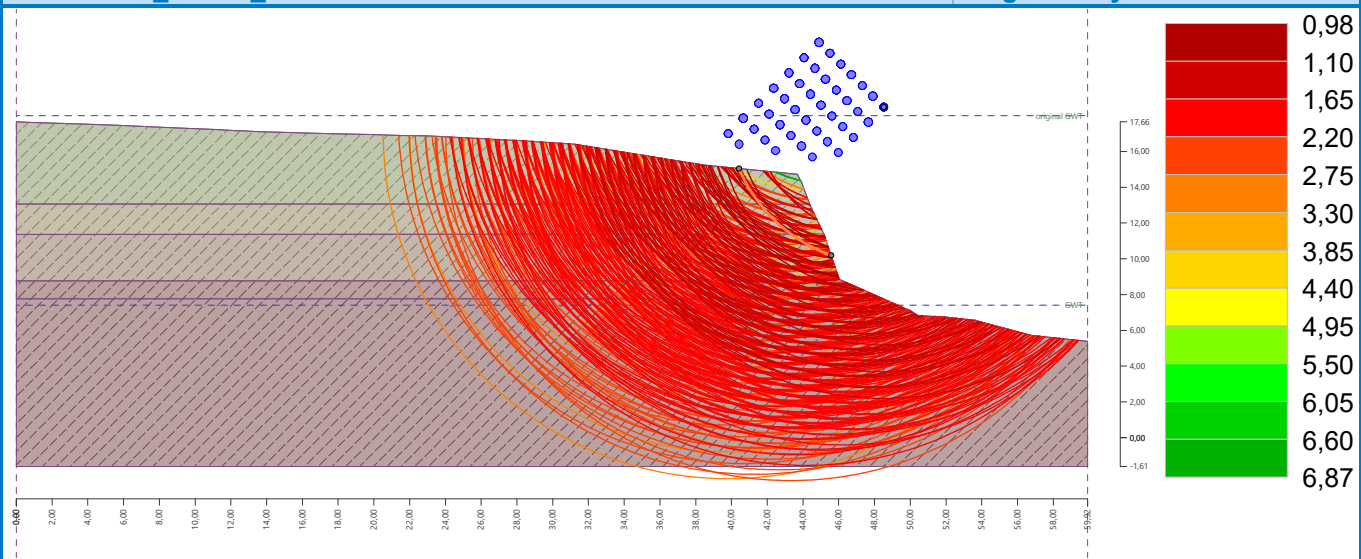
Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 0,98 < 1,50

Slope stability NOT ACCEPTABLE

Name : S15_SPT03_TALUDE INICIAL

Stage - analysis : 1 - 1



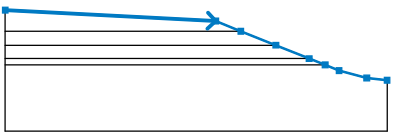
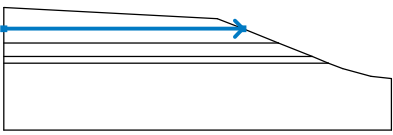
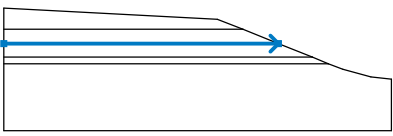
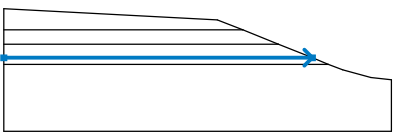
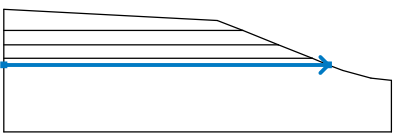
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)





Project

Projeto : SEÇÃO 15_SPT03_TALUDE REAFEIÇADO_rebaixamento rápido
 Descrição : Talude reafeiçoado para 21,8°_rebaixamento rápido
 Data : 29/01/2026





Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	16,38	33,02	14,65	36,96	13,07
		42,45	10,87	47,69	8,77	50,19	7,77
		52,39	6,89	56,74	5,73	59,92	5,39
2		0,00	13,07	36,96	13,07		
3		0,00	10,87	42,45	10,87		
4		0,00	8,77	47,69	8,77		
5		0,00	7,77	50,19	7,77		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média		25,00	5,00	18,00
2	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo		26,00	6,00	18,00
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo		27,00	7,00	18,00
4	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		28,00	9,00	18,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média		20,00		
2	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo		20,00		
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo		20,00		
4	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		20,00		

Soil parameters

Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média

Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 25,00$ °
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 5,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 26,00$ °
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 6,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 27,00$ °
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 7,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00$ kN/m³
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00$ °

Cohesion of soil : $c_{ef} = 9,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		36,96	13,07	33,02	14,65	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a
		0,00	16,38	0,00	13,07	
2		42,45	10,87	36,96	13,07	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a
		0,00	13,07	0,00	10,87	
3		47,69	8,77	42,45	10,87	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo
		0,00	10,87	0,00	8,77	
4		50,19	7,77	47,69	8,77	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		0,00	8,77	0,00	7,77	
5		0,00	7,77	0,00	-2,61	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		59,92	-2,61	59,92	5,39	
		56,74	5,73	52,39	6,89	
		50,19	7,77			

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]			
		x	z	x	z
Original GWT		0,00	17,16	59,92	17,16
GWT		0,00	6,11	59,92	6,11

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

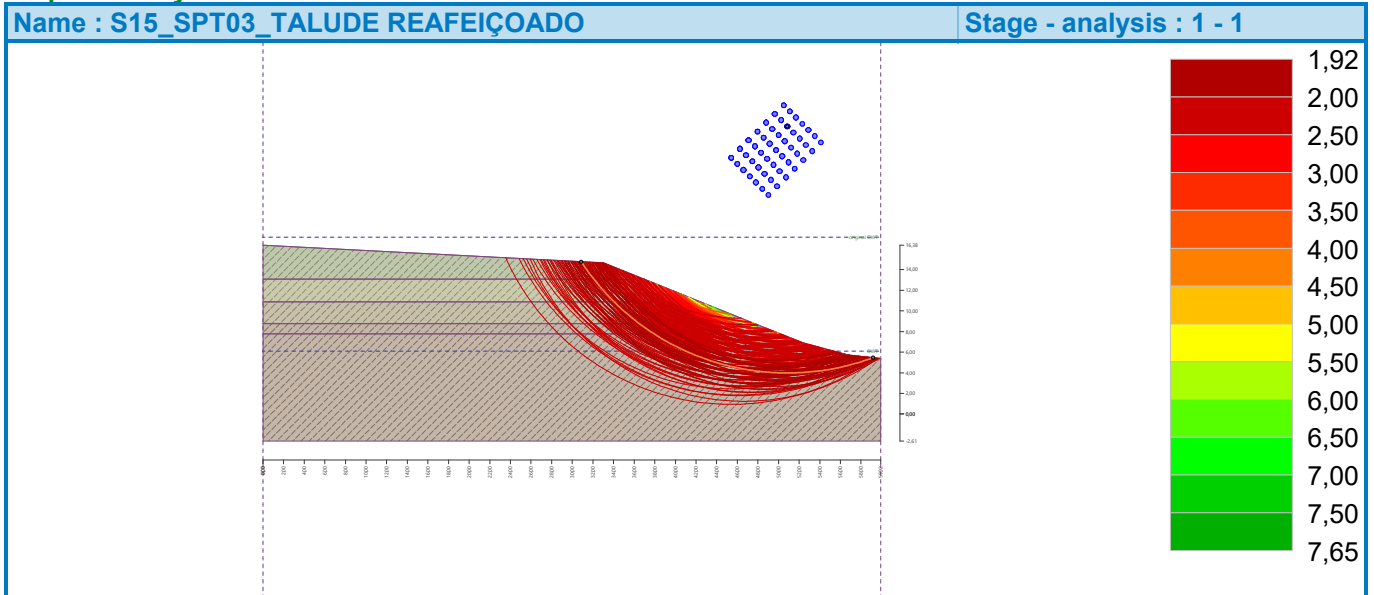
Slip surface parameters						
Center :	x =	50,86	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-56,70 [°]
	z =	27,89	[m]		$\alpha_2 =$	20,35 [°]
Radius :	R =	23,91	[m]			
Slip surface after grid search.						

Total weight of soil above the slip surface: 2008,85 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 1,92 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE



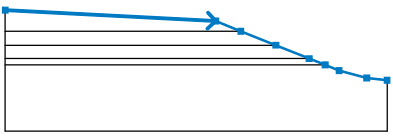
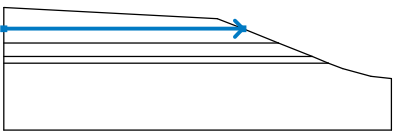
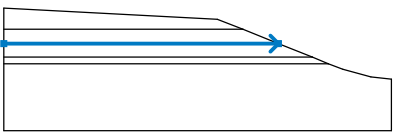
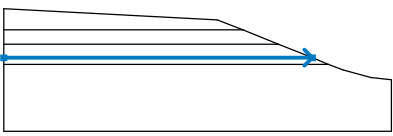
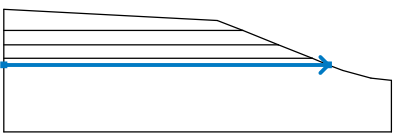
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

Project

Projeto : SEÇÃO 15_SPT03_TALUDE REAFEIÇADO_ENRCAMENTO_rebaixamento rápido
 Descrição : Talude reafeiçoado para 21,8°_enrocamento_rebaixamento rápido
 Data : 29/01/2026





Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	16,38	33,02	14,65	36,96	13,07
		42,45	10,87	47,69	8,77	50,19	7,77
		52,39	6,89	56,74	5,73	59,92	5,39
2		0,00	13,07	36,96	13,07		
3		0,00	10,87	42,45	10,87		
4		0,00	8,77	47,69	8,77		
5		0,00	7,77	50,19	7,77		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média		25,00	5,00	18,00
2	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo		26,00	6,00	18,00
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo		27,00	7,00	18,00
4	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		28,00	9,00	18,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média		20,00		
2	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo		20,00		
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo		20,00		
4	Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo		20,00		

Soil parameters

Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a média

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 5,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 26,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 6,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 27,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 7,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 9,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		36,96	13,07	33,02	14,65	Argilo-siltoso, sem plasticidade, mole a
		0,00	16,38	0,00	13,07	
2		42,45	10,87	36,96	13,07	Argilo-siltoso, média plasticidade, médio a
		0,00	13,07	0,00	10,87	
3		47,69	8,77	42,45	10,87	Argilo-siltoso, sem plasticidade, rijo
		0,00	10,87	0,00	8,77	
4		50,19	7,77	47,69	8,77	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		0,00	8,77	0,00	7,77	
5		0,00	7,77	0,00	-2,61	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		59,92	-2,61	59,92	5,39	
		56,74	5,73	52,39	6,89	
		50,19	7,77			

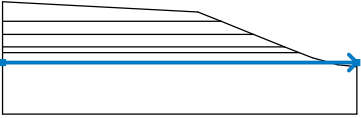
Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin x [m]	Length l [m]	Width b [m]	Slope α [°]	Magnitude	
								q, q1, f, F, x	q2, z unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 50,00	l = 5,00		21,80	52,00	kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 40,00	l = 10,00		21,80	26,00	kN/m ²

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	17,16	59,92	17,16		

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
GWT		0,00	6,11	59,92	6,11		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters						
Center :	x =	49,76	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-61,22 [°]
	z =	25,59	[m]		$\alpha_2 =$	25,88 [°]
Radius :	R =	22,41	[m]			

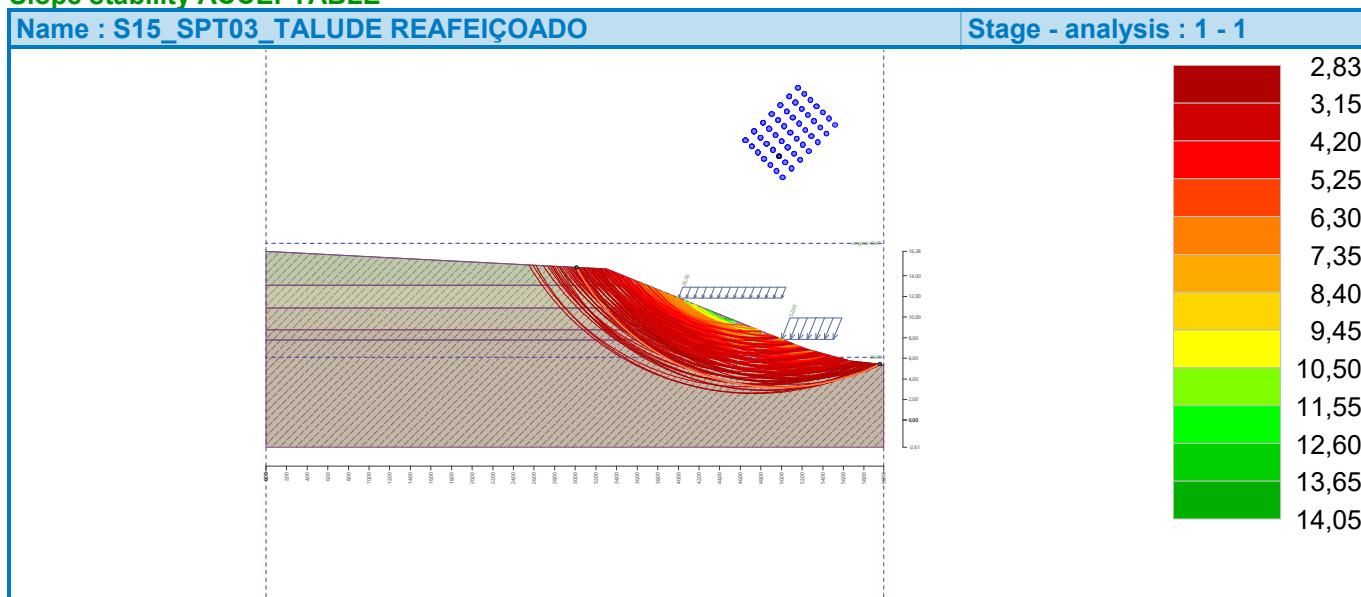
Slip surface after grid search.

Total weight of soil above the slip surface: 2544,02 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 2,83 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE



9.1.3 Seção 38_SPT06 (cenários: inicial; reafeiçoamento da margem; reafeiçoamento + enrocamento vegetado)

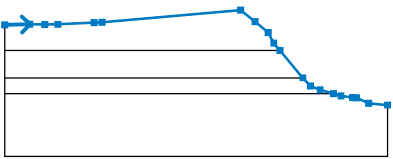
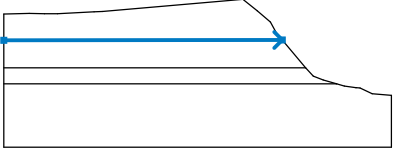


Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)

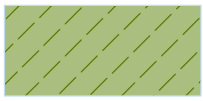



Project

Projeto : S38_SPT06_INICIAL_REBAIXAMENTO RÁPIDO
 Descrição : Talude inicial sem intervenção_rebaixamento rápido
 Data : 29/01/2026





Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	18,80	3,92	18,88	6,24	18,85
		8,27	18,87	13,92	19,15	15,17	19,20
		36,78	21,09	39,00	19,30	41,06	17,58
		41,92	15,94	42,88	14,80	46,46	10,53
		47,64	9,25	49,15	8,67	51,23	8,05
		52,40	7,70	54,21	7,47	54,26	7,46
		54,81	7,40	56,71	6,56	59,66	6,29
2		0,00	14,78	42,88	14,80		
3		0,00	10,53	46,46	10,53		
4		0,00	8,05	51,23	8,05		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo		10,00	29,00	18,50
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo		10,00	29,00	18,50
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro		12,00	30,00	19,00
4	Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro		15,00	31,00	19,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo		20,50		
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo		20,50		
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro		21,00		
4	Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro		21,00		

Soil parameters

Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 10,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 29,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 10,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 29,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro

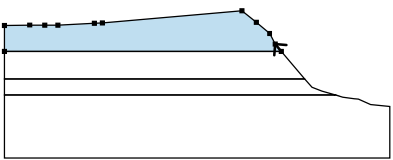
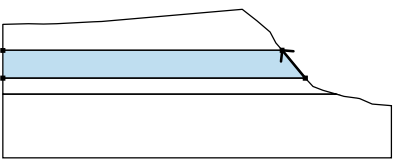
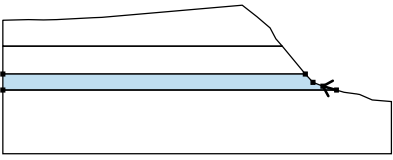
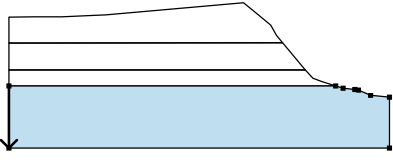
Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 12,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 15,00^\circ$

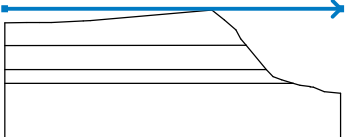
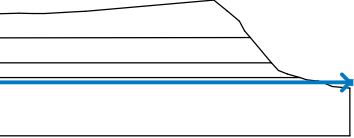
Cohesion of soil : $c_{ef} = 31,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		42,88	14,80	41,92	15,94	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a
		41,06	17,58	39,00	19,30	
		36,78	21,09	15,17	19,20	
		13,92	19,15	8,27	18,87	
		6,24	18,85	3,92	18,88	
		0,00	18,80	0,00	14,78	
2		46,46	10,53	42,88	14,80	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		0,00	14,78	0,00	10,53	
3		51,23	8,05	49,15	8,67	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo
		47,64	9,25	46,46	10,53	
		0,00	10,53	0,00	8,05	
4		0,00	8,05	0,00	-1,71	Argilo-siltoso variegado, sem
		59,66	-1,71	59,66	6,29	
		56,71	6,56	54,81	7,40	
		54,26	7,46	54,21	7,47	
		52,40	7,70	51,23	8,05	

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	21,30	59,66	21,30		
GWT		0,00	7,24	59,66	7,24		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

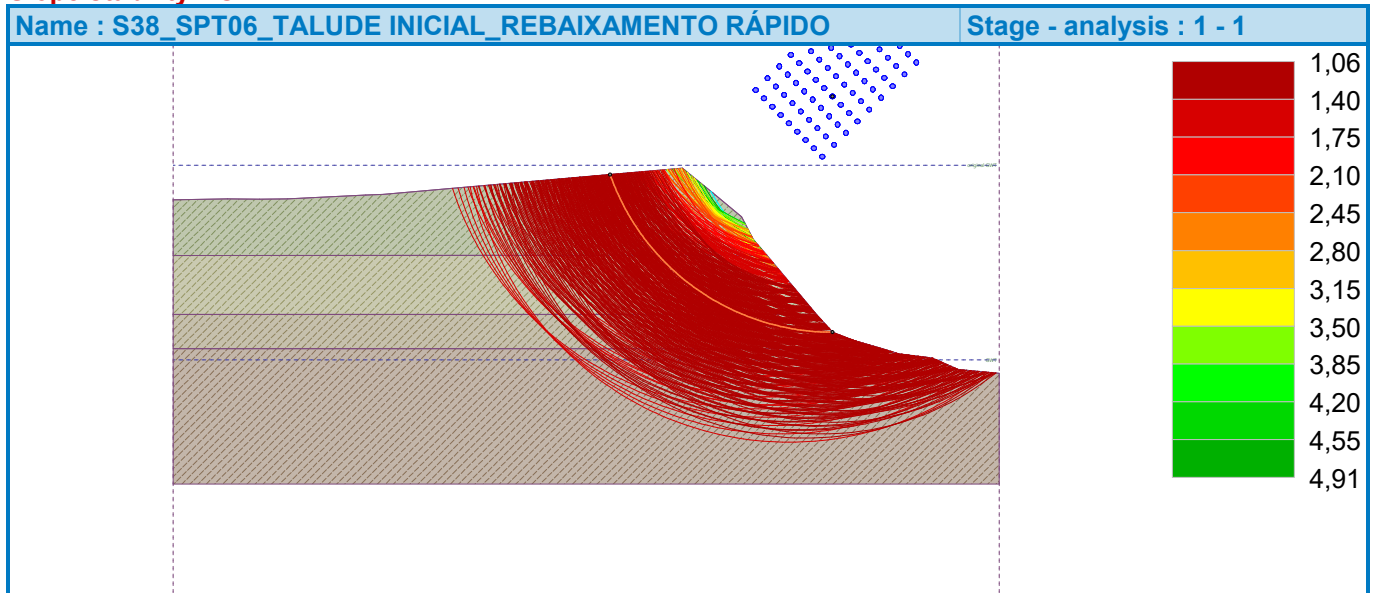
Results (Construction stage 1)**Analysis 1****Circular slip surface**

Slip surface parameters							
Center :	x =	47,63	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-70,64	[°]
	z =	26,28	[m]		$\alpha_2 =$	0,02	[°]
Radius :	R =	17,03	[m]				
Slip surface after grid search.							

Total weight of soil above the slip surface: 1630,73 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 1,06 < 1,50

Slope stability NOT ACCEPTABLE

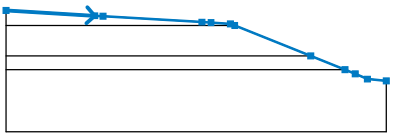
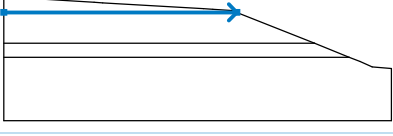
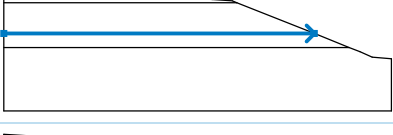
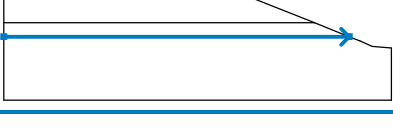
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)



Project

Projeto : S38_SPT06_TALUDE REAFEIÇADO_REBAIXAMENTO RÁPIDO
 Descrição : Talude reafeiçoado para 21,8°_condição de rebaixamento rápido
 Data : 29/01/2026





Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	17,33	13,92	16,50	15,22	16,43
		30,74	15,50	32,17	15,41	35,19	15,23
		35,89	14,95	47,82	10,19	53,18	8,05
		54,81	7,40	56,71	6,56	59,66	6,29
2		0,00	14,95	35,89	14,95		
3		0,00	10,20	47,82	10,19		
4		0,00	8,05	53,18	8,05		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo		28,00	10,00	18,50
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo		29,00	10,00	18,50
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro		30,00	12,00	19,00
4	Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro		31,00	15,00	19,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo		20,50		
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo		20,50		
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro		21,00		
4	Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro		21,00		

Soil parameters

Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 29,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 12,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		35,89	14,95	35,19	15,23	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a
		32,17	15,41	30,74	15,50	
		15,22	16,43	13,92	16,50	
		0,00	17,33	0,00	14,95	
2		47,82	10,19	35,89	14,95	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		0,00	14,95	0,00	10,20	
3		53,18	8,05	47,82	10,19	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo
		0,00	10,20	0,00	8,05	
4		0,00	8,05	0,00	-1,71	Argilo-siltoso variegado, sem
		59,66	-1,71	59,66	6,29	
		56,71	6,56	54,81	7,40	
		53,18	8,05			

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	17,92	59,00	17,92	59,66	17,92
GWT		0,00	6,48	59,66	6,48		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	50,38	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-57,79	[°]
	z =	28,15	[m]		$\alpha_2 =$	22,75	[°]
Radius :	R =	23,70	[m]				

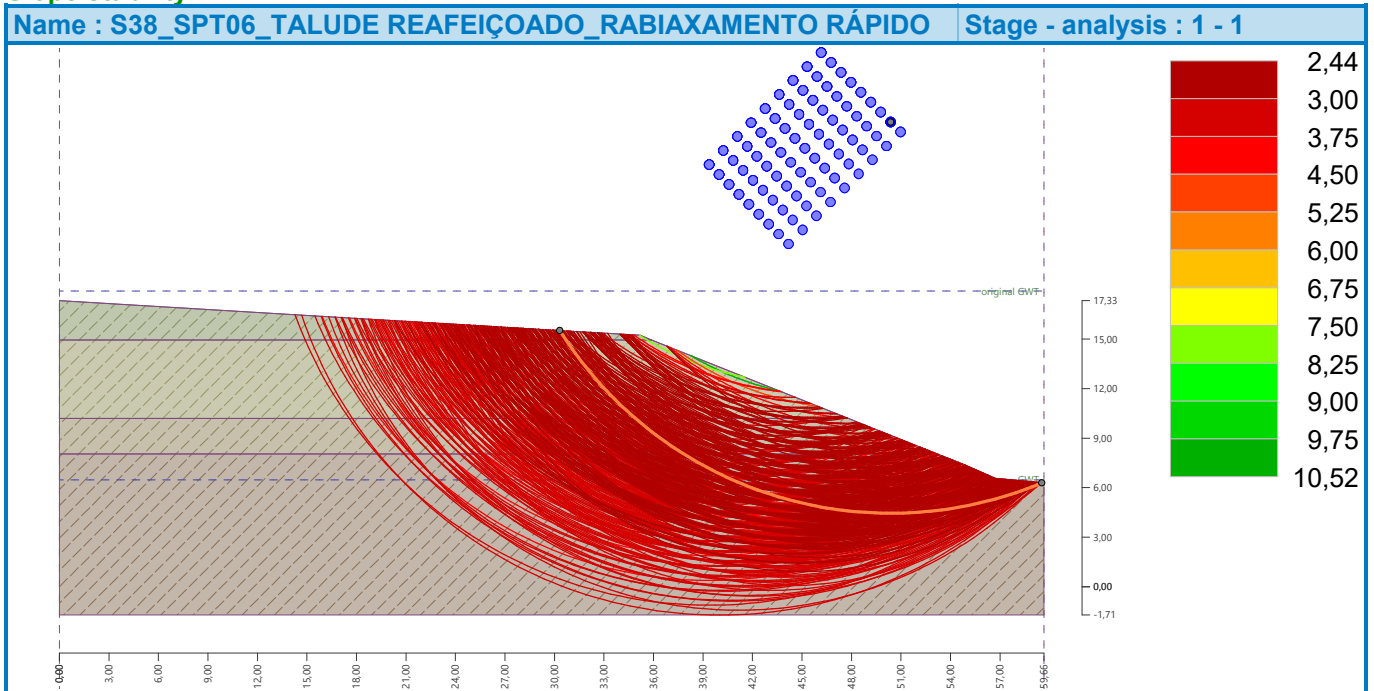
Slip surface after grid search.

Total weight of soil above the slip surface: 2638,81 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 2,44 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE



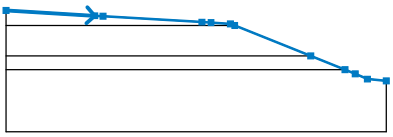
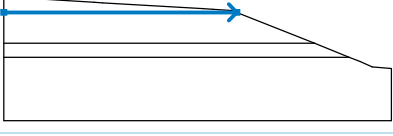
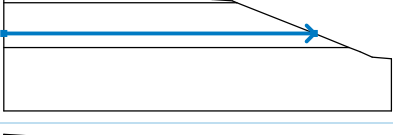
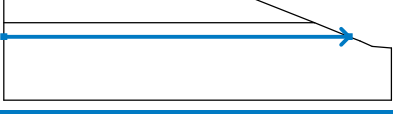
Slope stability analysis

Input data (Construction stage 1)



Project

Projeto : S38_SPT06_TALUDE REAFEIÇADO_ENROCAMENTO_REBAIXAMENTO RÁPIDO
 Descrição : Talude reafeiçoado para 21,8°_ENROCAMENTO_condição de rebaixamento rápido
 Data : 29/01/2026





Interface

No.	Interface location	Coordinates of interface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		0,00	17,33	13,92	16,50	15,22	16,43
		30,74	15,50	32,17	15,41	35,19	15,23
		35,89	14,95	47,82	10,19	53,18	8,05
		54,81	7,40	56,71	6,56	59,66	6,29
2		0,00	14,95	35,89	14,95		
3		0,00	10,20	47,82	10,19		
4		0,00	8,05	53,18	8,05		

Soil parameters - effective stress state

No.	Name	Pattern	Φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo		28,00	10,00	18,50
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo		29,00	10,00	18,50
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro		30,00	12,00	19,00
4	Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro		31,00	15,00	19,00

Soil parameters - uplift

No.	Name	Pattern	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo		20,50		
2	Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo		20,50		
3	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro		21,00		
4	Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro		21,00		

Soil parameters

Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, levemente plástico, muito rijo

Unit weight : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 29,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 20,50 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo a duro

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Cohesion of soil : $c_{ef} = 12,00 \text{ kPa}$
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Argilo-siltoso variegado, sem plasticidade, duro

Unit weight : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Stress-state : effective
 Shear strength : Mohr-Coulomb
 Angle of internal friction : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$

Cohesion of soil : $c_{ef} = 15,00$ kPa
 Saturated unit weight : $\gamma_{sat} = 21,00$ kN/m³
 Coeff. of reduction of pore pressure : $X = 1,00$

Assigning and surfaces

No.	Surface position	Coordinates of surface points [m]				Assigned soil
		x	z	x	z	
1		35,89	14,95	35,19	15,23	Argilo-siltoso, média plasticidade, rijo a
		32,17	15,41	30,74	15,50	
		15,22	16,43	13,92	16,50	
		0,00	17,33	0,00	14,95	
2		47,82	10,19	35,89	14,95	Argilo-siltoso, levemente plástico,
		0,00	14,95	0,00	10,20	
3		53,18	8,05	47,82	10,19	Argilo-siltoso, sem plasticidade, muito rijo
		0,00	10,20	0,00	8,05	
4		0,00	8,05	0,00	-1,71	Argilo-siltoso variegado, sem
		59,66	-1,71	59,66	6,29	
		56,71	6,56	54,81	7,40	
		53,18	8,05			

Surcharge

No.	Type	Type of action	Location z [m]	Origin	Length	Width	Slope	Magnitude		
				x [m]	l [m]	b [m]	α [°]	q, q_1, f, F, x	q_2, z	unit
1	strip	permanent	on terrain	x = 51,00	l = 5,00		21,80	52,00		kN/m ²
2	strip	permanent	on terrain	x = 41,00	l = 10,00		21,80	26,00		kN/m ²

Water

Water type : Rapid drawdown

Interface	Surface location	Coordinates of surface points [m]					
		x	z	x	z	x	z
Original GWT		0,00	17,92	59,00	17,92	59,66	17,92
GWT		0,00	6,48	59,66	6,48		

Tensile crack

Tensile crack not input.

Earthquake

Earthquake not included.

Settings of the stage of construction

Design situation : permanent

Results (Construction stage 1)

Analysis 1

Circular slip surface

Slip surface parameters							
Center :	x =	50,38	[m]	Angles :	$\alpha_1 =$	-57,81	[°]
	z =	28,15	[m]		$\alpha_2 =$	22,78	[°]
Radius :	R =	23,70	[m]				

Slip surface after grid search.

Total weight of soil above the slip surface: 2643,66 kN/m

Slope stability verification (Morgenstern-Price)

Factor of safety = 3,53 > 1,50

Slope stability ACCEPTABLE

