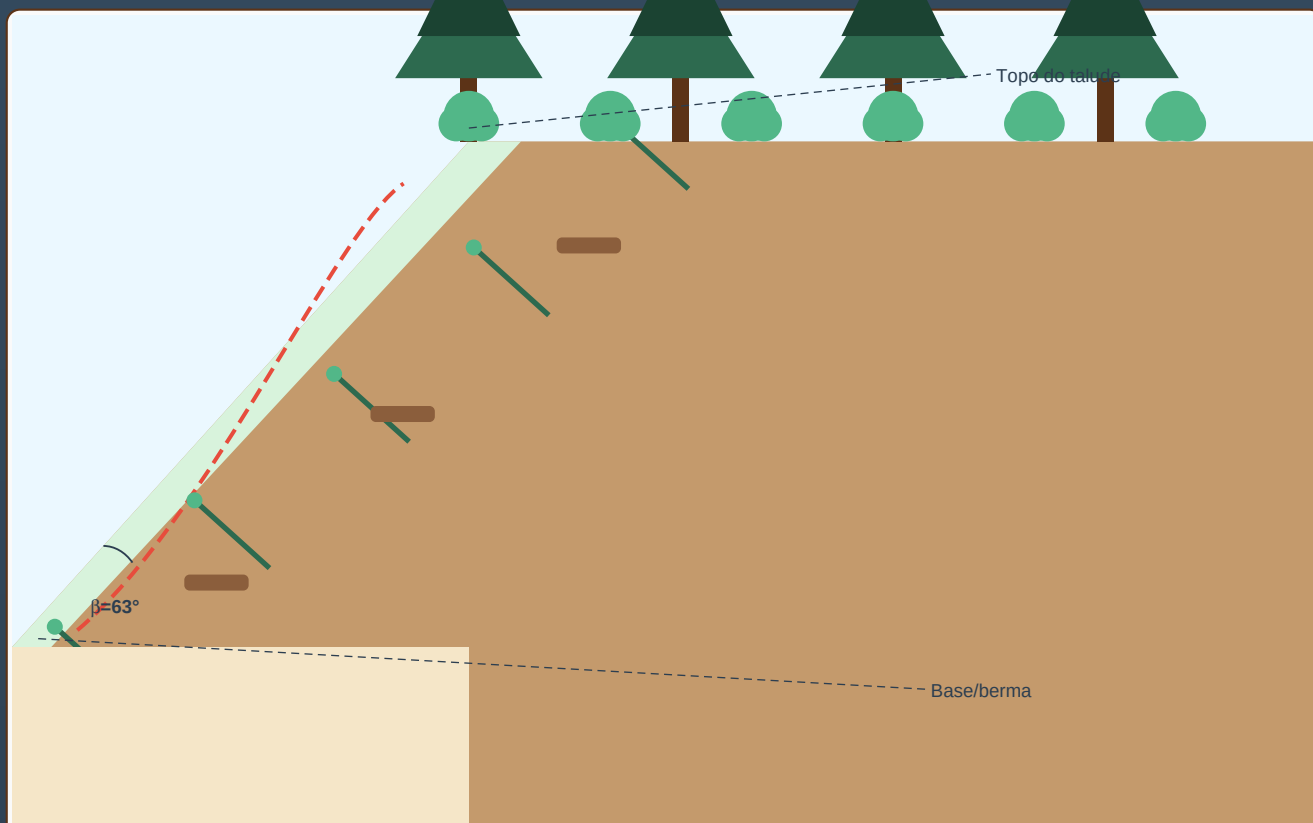


Estabilização de Taludes e Encostas

Manual Técnico · Geotecnia Natural e Bioengenharia

Técnicas de bioengenharia para estabilização geotécnica: estacaria viva, faxinas, entrançado, camadas de ramagem e combinações com geossintéticos.

03



Análise de estabilidade de talude — técnicas de bioengenharia e reforço radicular

Coleção Técnica EcoSalix · Volume 03 de 15

Manuais Técnicos de Engenharia Natural para Profissionais em Portugal

ECOSALIX

Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, Lda

Estabilização de Taludes e Encostas

Manual Técnico · Geotecnia Natural e Bioengenharia

Publicação: EcoSalix — Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, Lda

Morada: Rua D, Lote 8 · Zona Industrial Casal dos Frades · 2435-661 Ourém

Contacto: geral@ecosalix.pt · +351 964 169 349

Website: www.ecosalix.pt

Ano: 2025

Versão: 1.0 — Volume 03/15 da Coleção Técnica EcoSalix

Público-alvo: Engenheiros, Arquitetos Paisagistas, Técnicos Ambientais, Biólogos, Gestores de Espaços Naturais

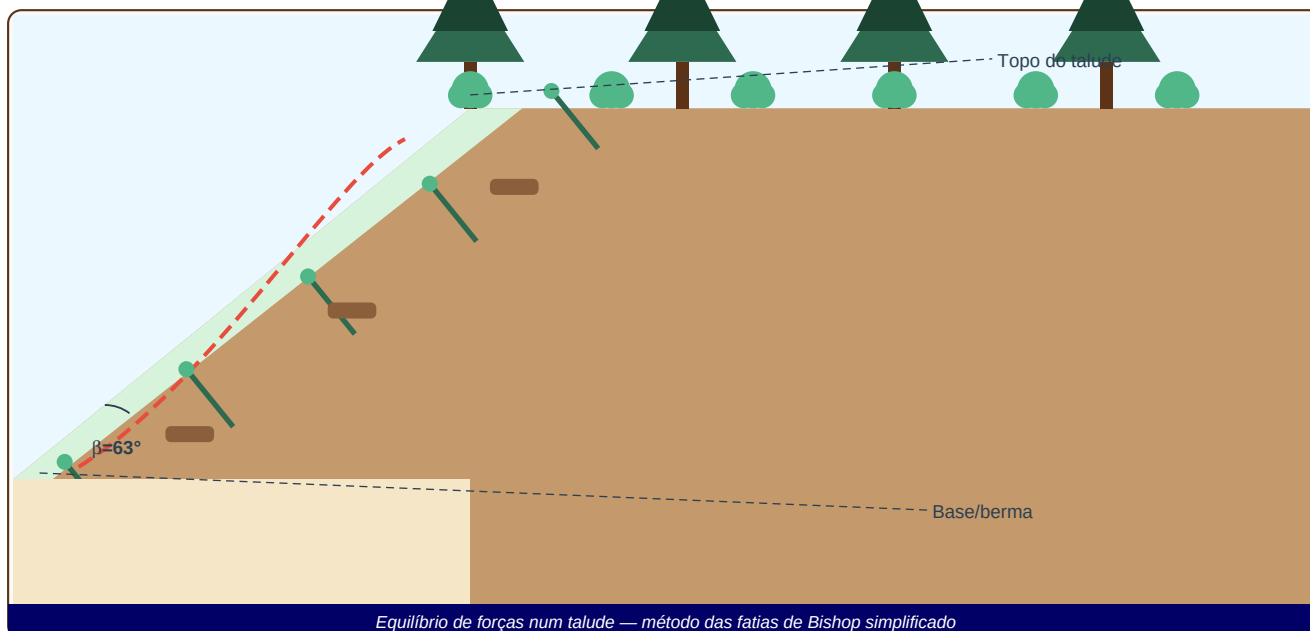
Este documento é propriedade intelectual da EcoSalix — Sistemas Ecológicos de Engenharia Natural, Lda. A reprodução total ou parcial sem autorização expressa da empresa é proibida. As informações técnicas contidas neste manual têm carácter informativo e de referência, não substituindo o julgamento profissional qualificado na aplicação de soluções técnicas específicas. A EcoSalix não se responsabiliza pela aplicação indevida das técnicas descritas sem adequada avaliação técnica do local e das condições específicas de cada projeto.

Índice

Estabilização de Taludes e Encostas · Manual Técnico

● 1. Mecânica de Taludes — Fundamentos Geotécnicos	4
● 2. Classificação dos Movimentos de Massa	5
● 3. Estacaria Viva — Especificações Técnicas Completas	6
● 4. Faxinas Vivas — Execução e Dimensionamento	7
● 5. Camadas de Ramagem — Técnica Avançada para Taludes Altos	8
● 6. Espécies para Estabilização de Taludes	9
● 7. Análise Custo-Benefício e Caderno de Encargos	10
● 8. Casos de Estudo — Estabilização de Taludes EcoSalix	11
● 9. Monitorização e Gestão Adaptativa	12

1. Mecânica de Taludes — Fundamentos Geotécnicos



Equilíbrio de forças num talude — método das fatias de Bishop simplificado

A estabilidade de taludes é governada pelo critério de Mohr-Coulomb: $\tau = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi'$. O Fator de Segurança é a razão entre a resistência ao corte disponível e a mobilizada: $FS = [c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi'] / \tau_{\text{mobilizada}}$. O deslizamento ocorre quando $FS < 1.0$.

A Engenharia Natural atua em dois mecanismos: (1) aumenta c' através do reforço radicular ($\Delta C = 3-12$ kPa); (2) reduz u através da evapotranspiração (10-30 kPa na estação seca). O efeito combinado pode aumentar o FS em 0.3-0.8 pontos — equivalente a instalar uma geogrelha de 60-100 kN/m de capacidade.

Fator de Segurança (FS): $FS = \text{Resistência disponível} / \text{Resistência mobilizada}$. Mínimos EN 1997: $FS \geq 1.5$ (perm.), (sismo).

Superfície de Deslizamento: Superfície ao longo da qual ocorre a rotura (geralmente circular em solos coesos). As e abaixo desta superfície.

Pressão de Água (u): $u = \gamma_w \times h_w$. A saturação do solo (u elevado) é a causa mais comum de deslizamentos em por evapotranspiração.

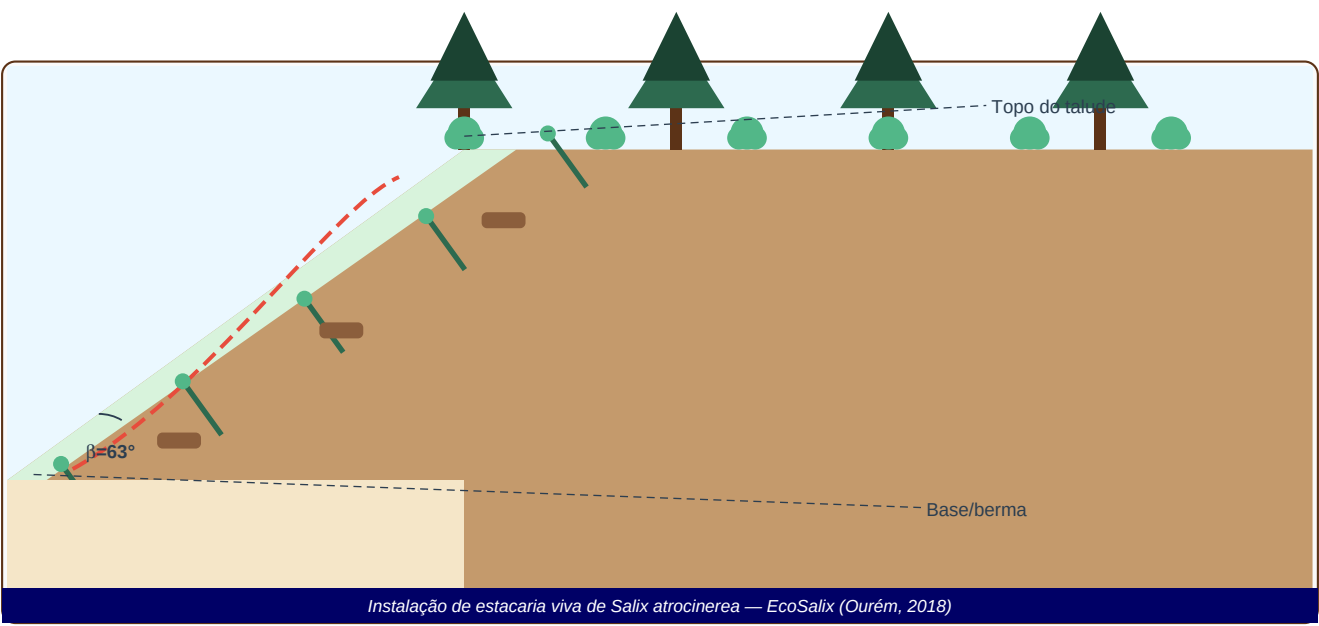
Slip Circle (Bishop): Método de análise mais utilizado em Portugal: assume superfície circular, equilíbrio de momentos. GeoStudio® SLOPE/W e GEO5®.

2. Classificação dos Movimentos de Massa

Tipo	Mecanismo	Prof. (m)	Causa Principal	EN Eficaz?	Abordagem
Desliz. rotacional	Sup. circular; bloco	0.5-5	Saturação+chuva intensa	Sim	Raízes profundas+drenagem
Desliz. translacional	Sup. planar; lençol	0.3-2	Interface solo/rocha	Sim	Reforço radicular+geogrelha
Escorr. superficial	Paralelo sup.; solos	<0.5	Splash+saturação rápida	Muito	Cobertura vegetal densa
Queda de blocos	Fratura+descalçamento	Var.	Meteorização	Não	Geotecnia convencional
Fluxo detritico	Solo saturado+agua	0.3-2	Chuva extrema	Parcial	Drenagem+estacaria
Erosão regressiva	Solapamento de base	Var.	Corrente hídrica	Sim	Bio-rolos+defletores

3. Estacaria Viva — Especificações Técnicas Completas

A estacaria viva é a técnica mais simples e económica de bioengenharia. Adequada para taludes com problemas de erosão superficial e instabilidade superficial (0-0.5m de profundidade).



Parâmetro	Valor de Projeto	Observação
Comprimento total	50-150 cm	Mínimo 2/3 enterrado (>humidade do solo)
Diâmetro	2-8 cm	Sem ramos laterais >2mm no terço inferior
Espaçamento (risco alto)	30×30 cm (triangular)	Para FS < 1.2 ou declive >45°
Espaçamento (risco mod.)	60×60 cm	Para FS = 1.2-1.4 ou declive 30-45°
Orientação	10-15° contra o talude	Evitar estacas verticais — menor eficácia
Época de instalação	Novembro-Março	Estado vegetativo em repouso; seiva baixa
Prazo após corte	<48 horas	Manter em água após corte se necessário
Taxa de enraizamento	70-95%	Salix em boas condições; Tamarix >95%

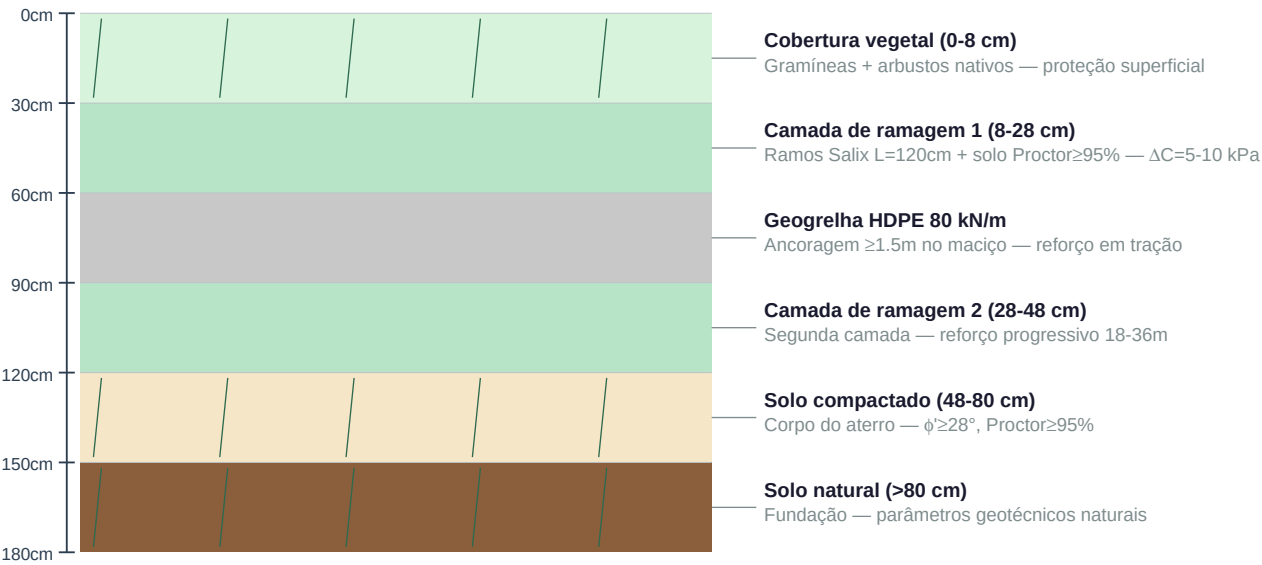
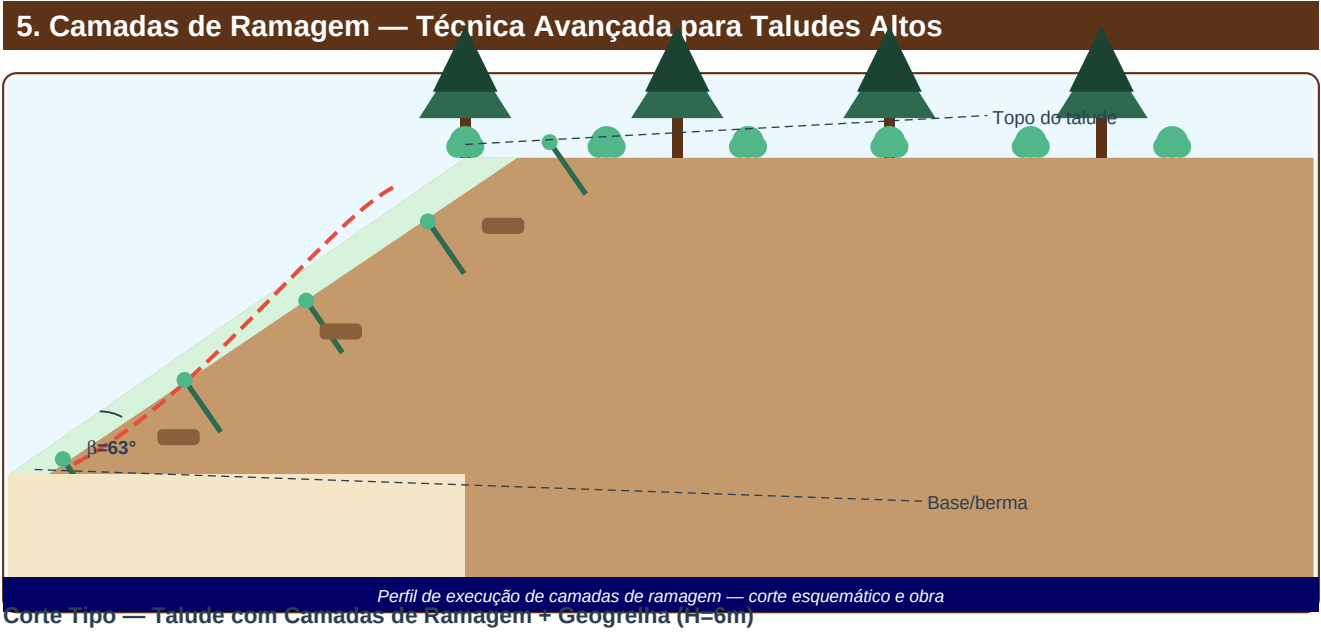
4. Faxinas Vivas — Execução e Dimensionamento

■ Nota Técnica:

O espaçamento entre faxinas vivas determina a eficácia: 1m para taludes $\leq 30^\circ$; 0.7m para $30-45^\circ$; 0.5m para $>45^\circ$. Em taludes muito instáveis, combinar faxinas vivas com geogrelha de HDPE (80-120 kN/m) em tração.

■ Procedimento de Execução de Faxina Viva

- 1 Abertura de sulco horizontal em curva de nível com retroescavadora ou manualmente: largura 30cm, profundidade 30cm
- 2 Colheita do material: ramos de Salix ($\varnothing 1-4\text{cm}$, $L=80-150\text{cm}$), cortados há $<48\text{h}$, com gemas intumescidas
- 3 Preparação do feixe: 20-50 ramos por feixe, atados com arame galvanizado a cada 30cm
- 4 Instalação do feixe no sulco, com as pontas dos ramos apontando para fora do talude (para a luz)
- 5 Cravação de estacas mortas de madeira ($\varnothing 5-8\text{cm}$, $L=60\text{cm}$) a cada 50cm para fixar o feixe
- 6 Cobertura com solo local compactado (Proctor $\geq 90\%$); deixar expostos 5-10cm dos ramos na face
- 7 Aplicação de mulch ou geotêxtil na face do talude entre faxinas para proteção do solo
- 8 Rega inicial se instalação em período seco (novembro-dezembro com déficit hídrico)



6. Espécies para Estabilização de Taludes

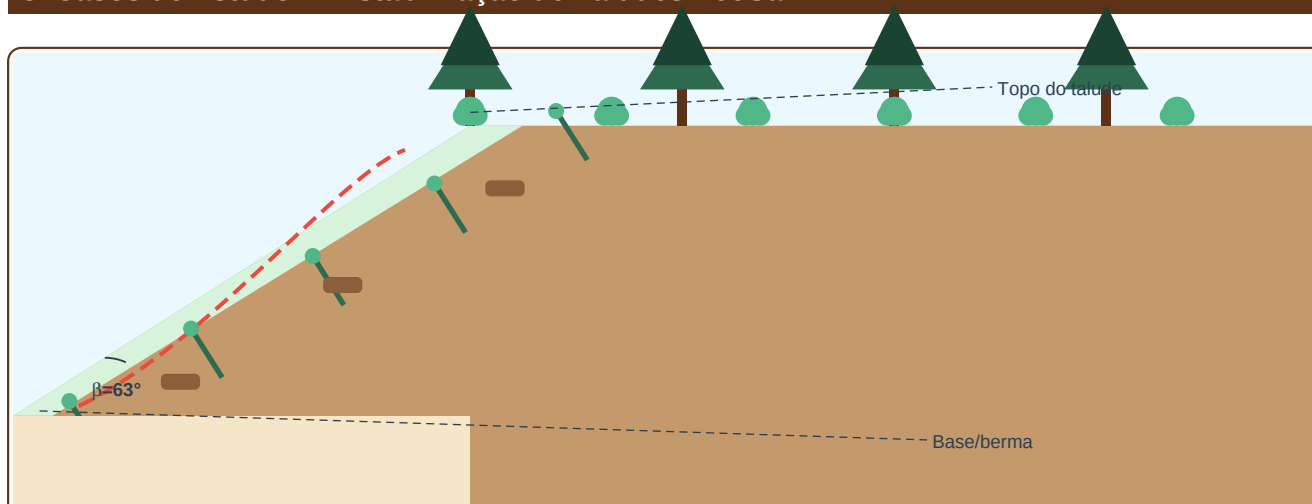
Espécies Recomendadas por Tipo de Talude — Portugal

Nome Comum	Nome Científico	Família	Uso em EN
Salgueiro Cinzento	Salix atrocinerea	Salicaceae	Universal — taludes húmidos; estacaria e
Choupo Branco	Populus alba	Salicaceae	Margens e encostas frescas — porte
Amieiro	Alnus glutinosa	Betulaceae	Ribeiras e zonas ripárias — fixa azoto, raiz
Sabugueiro	Sambucus nigra	Adoxaceae	Sombra e frescos — crescimento muito
Pilriteiro	Crataegus monogyna	Rosaceae	Encostas secas — raiz profunda, resistente à
Giesta	Cytisus scoparius	Fabaceae	Encostas secas, ácidas — fixa N■,
Esteva	Cistus ladanifer	Cistaceae	Sul e centro — pós-fogo, solos secos e
Festuca Vermelha	Festuca rubra	Poaceae	Hidrossementeira — cobertura rápida em

7. Análise Custo-Benefício e Caderno de Encargos

Técnica	Rendimento Equipa (2 op.	Mat. (€/m²)	M.O. (€/m²)	Total (€/m²)
Hidrossementeira L (<100kg/ha)	3000-5000 m²/dia	0.8-1.5	0.5-0.8	1.3-2.3
Hidrossementeira H (>100kg/ha)	2000-3000 m²/dia	2.0-4.0	0.8-1.5	2.8-5.5
Estacaria viva (Salix, 60×60)	90-130 m²/dia	1.5-3.0	2.0-3.5	3.5-6.5
Faxinas vivas (esp. 1m)	25-40 m/h (eq. 2)	3.0-6.0	4.0-7.0	7.0-13.0
Camadas de ramagem	50-80 m²/dia	5.0-9.0	8.0-14.0	13.0-23.0
Gabião vegetado (Ø50)	8-15 m³/dia	40-65/m³	18-30/m³	58-95/m³

8. Casos de Estudo — Estabilização de Taludes EcoSalix



Talude estabilizado — 30 meses após instalação — Viseu, 2023

Estudos de Caso — Estabilização de Taludes (seleção)

88€/m².

faxinas (esp.1.5m) + geotêxtil coco 800g/m². Resultado 18m: FS = 1.72, cobertura 91%, NDVI 0.74. Custo: 32€/m² vs. betão:

Talude granítico, inclinação 2H:1V, FS inicial = 1.18 (GeoStudio® Bishop). Solução: estacaria Salix 40×40cm + 5 fileiras

Estacaria + Faxinas + Geotêxtil coco — Talude Granítico 8m

■ EN10, Ourém (2018)

2018

Monitorização semestral UAV. Resultado: cobertura 94%, erosão <3t/ha/ano, certificação ambiental 24 meses.

Talude aterro 5m, 3H:2V, erosão em sulcos avançada. Entrançado vivo Salix esp.1.2m + hidrossementeira Tipo B 100kg/ha.

Etrançado + Hidrossementeira — Aterro Rodoviário 5m

■ A23, Torres Novas (2019)

2019

80kN/m + hidrossementeira nativa. FS: 1.12→1.82. Zero movimentos 36m.

Encosta florestal: historial de deslizamentos superficiais. Camadas ramagem Salix (esp.1m, 4 fiadas) + geogrelha Tensar TriAx

Camadas Ramagem + Geogrelha — Encosta Florestal 3.5 ha

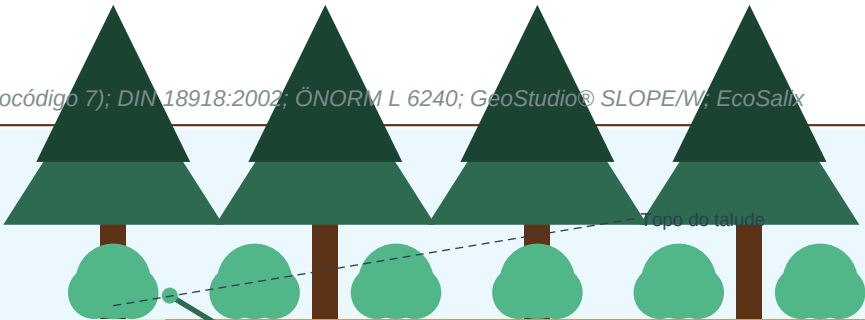
■ Serra da Estrela (2021)

2021

9. Monitorização e Gestão Adaptativa

Indicador	Instrumento	Frequência	Ação se Limiar
Deslocamento talude	Inclinómetro ±1mm	Semanal ano 1; mensal	Análise imediata se >5mm/sem
Piezometria	Piezómetro Casagrande	Semanal (chuva intensa)	Se $u \geq 50\%$ pressão total
Cobertura vegetal	Drone + quadrats	30/90/180/365 dias	Replantação se <60% a 90d
NDVI	Drone multiespectral	6 em 6 meses	Investigação se <0.40
Trinca de tração	Inspeção visual	Semanal	Evacuação + análise urgente
Erosão superficial	Erosion pins (12/ha)	Após precipit. >20mm	>5mm/evento → reforço

Referências: EN 1997-1:2004 (Eurocódigo 7); DIN 18918:2002; ÖNORM L 6240; GeoStudio® SLOPE/W; EcoSalix CE-Taludes-2024



Serviços EcoSalix

- **Engenharia Natural e Bioengenharia**
Estabilização de taludes, controlo de erosão, restauro ecológico
- **Arquitetura Paisagista**
Projeto de espaços verdes, jardins sustentáveis, espaços públicos
- **Engenharia Civil Ambiental**
Geossintéticos, estruturas ecológicas, drenagem natural
- **Consultoria Técnica**
Estudos de impacto, licenciamento, peritagem ambiental
- **Monitorização Ambiental**
UAV/drones, índices NDVI, relatórios de conformidade
- **Formação e Workshops**
Cursos práticos de bioengenharia, formação in-company

