

A ESTABILIZAÇÃO DO TALUDE DO NÓ DE MALVEIRA NA A21. UM PROJETO DE INTEGRAÇÃO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA E NATURAL.

Carlo Bifulco¹, Anabela Marcos Pereira¹, Vera Calado Ferreira², Ana Pinto Mota², Lara Rodrigues Martins², Francisco Castro Rego¹

¹ Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

email: carlo.bifulco@gmail.com <http://www.isa.utl.pt/ceabn/>

² Infraestruturas de Portugal S.A., Praça da Portagem, 2809-013 Almada, Portugal

Sumário

No Nó de Malveira da A21 tinham-se detetado graves problemas de instabilidade num talude de escavação com altura máxima de 40 m e extensão de 400 m. Em toda a sua superfície eram visíveis ravinamentos, mobilização de rochas e terras, dois escorregamentos circulares, devidos à complexa estrutura e variabilidade dos estratos litológicos do talude.

Em 2013 foi desenvolvido um Projeto-Piloto, através de protocolo realizado entre a Infraestruturas de Portugal S.A. e o Centro de Ecologia Aplicada Baeta Neves da Universidade de Lisboa, que visou a renovação do talude recorrendo a técnicas de engenharia natural, combinadas com as usuais soluções de engenharia geotécnica.

Com este projeto pela primeira vez foram projetadas em Portugal soluções de engenharia natural na estabilização de taludes de grande dimensão, destacando-se também os benefícios ambientais e económicos deste tipo de projetos.

Palavras-chave: Proteção da erosão, estabilização superficial de taludes, consolidação das encostas, engenharia geotécnica, engenharia natural.

1 INTRODUÇÃO

A A21 tem um percurso de 21 km e liga Lisboa à costa Atlântica e foi construída no período 2005-2008 por uma entidade local do Município de Mafra. A gestão e a administração da A21 foram transferidas em 2011 para a Estradas de Portugal S.A., agora Infraestruturas de Portugal S.A. (IP), que ficou responsável pelas operações de manutenção.

O Nó da Malveira no ramo de saída da A21 (sentido A8 – Malveira) apresentou desde a sua construção graves problemas associados a processos erosivos e de instabilidade, resultantes de deficiências na drenagem, que condicionavam a circulação em segurança na via e que motivaram uma intervenção no mesmo.

No talude de escavação, com altura máxima de 40 m e uma extensão de 400 m, afloram formações sedimentares, cujas distintas características geomecânicas e de permeabilidade, associadas à interstratificação exibida e à geometria do talude, propiciavam quer a ocorrência de fenómenos erosivos de natureza diferencial, nalguns casos numa fase avançada do processo de erosivo, quer a presença de níveis de água suspensos.

Esta situação motivou em 2013 o desenvolvimento de um Projeto-Piloto, através de um protocolo realizado entre a IP e o Instituto Superior de Agronomia, com o Centro de Ecologia Aplicada Baeta Neves (CEABN), no sentido da renovação do talude, combinando soluções usuais em engenharia com técnicas correntes em obras de Engenharia Natural (EN), que utilizam fundamentalmente plantas vivas no processo construtivo.

A seleção das técnicas atendeu a dois constrangimentos gerais: por um lado colaborar na função de estabilizar e consolidar os taludes, proteger da erosão as linhas de água temporária ou as superfícies dos taludes, e, por outro,

dotar o talude de inclinações que melhor se adequassem às características geológico e geotécnicas exibidas pelos materiais ocorrentes,

Com este projeto pretendeu-se testar a viabilidade de soluções de EN na estabilização efetiva de taludes com esta dimensão, bem como demonstrar os benefícios ambientais e económicos associados aos projetos de EN quando comparados com obras de estabilização que recorrem apenas a técnicas tradicionais.

Para além de técnicas já conhecidas, como a *hidrossementeira* e a *sementeira com cobertura de esteira de palha*, para proteger os taludes da erosão superficial; foram introduzidas outras técnicas inéditas no contexto rodoviário Português, como *faixas de vegetação*, *gabiões vivos*, *banquetas vivas*, *degraus vivos de pedra e madeira*, *escovas vivas e colchões vivos*.

Com este projeto pretendeu-se, simultaneamente, minorar fenómenos prementes de erosão e ao mesmo tempo renovar uma paisagem estéril transformando-a numa paisagem verde semi-natural.

2 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO EXISTENTE

A região na qual se encontra o Nó de Malveira, mesmo que muito próxima à costa do Oceano Atlântico insere-se no clima Termo-Mediterrâneo da costa Luso-Andalusa [1]. Na Tapada Nacional de Mafra, que se encontra a 5,5 km do Nó da Malveira, a precipitação média anual varia entre 850 e 950 mm, e os meses mais secos são Junho, Julho e Agosto, nos quais a precipitação é de cerca de 3% da anual. A média anual da temperatura varia entre 13 e 15 °C e a humidade relativa entre 75% e 80% [2].

O Nó de Malveira da A21 desenvolve-se em terrenos sedimentares do Cretácico Inferior de fácies marinhas, localmente representados por camadas interestratificadas de arenitos de granulometria variada, com frequentes intercalações de argilas, argilitos, argilo-siltitos, argilas margosas e raramente intercalações de calcários e margas. A estratificação é geralmente irregular, frequentemente lenticular e com pendores suaves para o quadrante Sul. Como consequência da variabilidade geológica, o comportamento destas litologias é muito variável, coexistindo desde fácies areníticas com caracter francamente rochoso a sub-rochoso, a fácies areno-argilosas com comportamento terroso. Nesta zona são ainda frequentes a presença de depósitos recentes, sobrejacentes às formações cretácicas, nomeadamente aterros de materiais indiferenciados. Em termos morfológicos era possível identificar a presença de um alinhamento de uma antiga linha de água, transversal ao ramo e materializada a partir do topo da escavação.

No talude era visível o caracter irregular dos estratos litológicos (figura 1), bem como a sua variabilidade e alternância.



Fig.1. Perspetiva geral do talude de escavação do nó da Malveira (sentido A8-Malveira)

Nos panos superiores e na encosta contígua, o talude apresentava uma predominância de formações areníticas, frequentemente sobreconsolidadas; enquanto na parte inferior do talude prevaleciam formações de natureza argilosa, siltosa e argilo-margosa. A superfície apresentava-se na sua generalidade sem revestimento vegetal, à

exceção da zona inicial do ramo, na qual se detetou, sob o coberto vegetal, a presença de um aterro de constituição heterogénea.

O talude de escavação era composto por duas banquetas de estabilização aos 8 e 16 metros de altura, e geometrias variáveis entre os 2/1 e 1/1.5 (V/H). Na zona com maior altura, junto ao pano superior do talude este chegava a atingir 14 metros com inclinações próximas de 1/1 (V/H). No talude existiam diversos dispositivos de drenagem e órgãos de ligação e derivação associados.

Ao longo do desenvolvimento do talude observavam-se graves problemas de drenagem e de estabilidade, nomeadamente:

- Assoreamento de órgãos de drenagem superficial existentes no alinhamento da zona preferencial de escorrência de água no topo do talude.
- Rotura e colapso dos órgãos de drenagem existentes nos panos dos taludes e nas banquetas no alinhamento do caminho preferencial das águas de escorrência, com o conseqüente insuficiente encaminhamento das águas e arrastamento dos materiais dos taludes para a valeta da plataforma rodoviária. Na sequência de episódios de pluviosidade intensa, verificava-se ainda a mobilização de volumes consideráveis de materiais, ficando parte destes retidos pelas guardas de segurança da rodovia e outros arrastados para a plataforma rodoviária, numa zona em que o traçado se desenvolve em curva com evidentes conseqüências para a integridade da via e circulação rodoviária (figura 2);
- Escorregamentos rotacionais nos panos superiores do talude, em formações com carácter terroso ficando estes retidos nas banquetas de estabilização.
- Ravinamentos superficiais e profundos em todos os panos do talude (figura 3).
- Colapso de algumas das obras de reparação e reabilitação realizadas no talude: máscaras argamassadas e drenantes e órgãos de drenagem superficial (figura 3).
- Linhas de escoamento superficial aleatórias com maior incidência na crista do talude e nos terrenos sobranceiros, onde eram visíveis sulcos escavados pela água, por vezes com profundidades e larguras métricas (figuras 4, 5).
- Exsurgências de água no talude, nomeadamente nas zonas de contacto entre litologias com diferente permeabilidade.

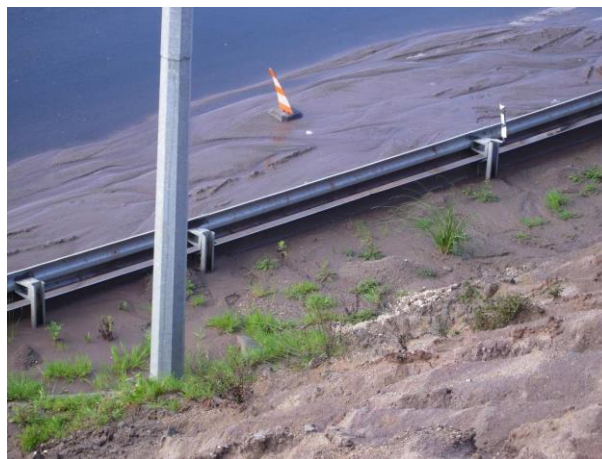


Fig.2. Materiais finos para a plataforma rodoviária



Fig. 3. Ravinamentos superficiais e profundos ao longo de todos os panos do talude; colapso de algumas obras de reparação realizadas.



Fig.4. Sulcos escavados pela água nos terrenos sobranceiros do talude



Fig.5. Sulcos muito profundos com mobilização de blocos de rochas

Dada a percolação interna das areias foi possível constatar que a eficácia das valetas de crista existentes ficou comprometida, em alguns casos motivou mesmo o colapso dos órgãos existentes, uma vez que com o arrastamento dos solos arenosos a ligação das valetas ao terreno adjacente tornou-se ineficaz. Neste contexto

importava que complementarmente com a reabilitação do sistema de drenagem fossem adotadas medidas de minimização que permitissem controlar a erosão e garantir a efetiva ligação à drenagem.

Dado o cenário geológico e hidrológico de fragilidade a episódios de precipitação prolongada e intensa, atendendo às dimensões do talude em questão e a proximidade à plataforma rodoviária, tornava-se premente dotar o mesmo de soluções que permitissem melhorar as condições de estabilidade geral do talude.

3 SOLUÇÕES ADOTADAS

O projeto combinou soluções tradicionais da engenharia geotécnica com técnicas da engenharia natural, com o fim de obter uma nova configuração do talude: com revestimento vegetal, para minimizar futuras erosões, quedas de pedra e arrastamento de material fino. A implementação das técnicas de engenharia natural, muitas das quais não tendo sido testadas em Portugal, devia ocorrer sobre um talude proveniente de nova escavação e reperfilamento, ou seja, sobre solos minerais desprovidos de húmus.

Os principais fatores ponderados foram o relevo da zona do talude, a estrutura geológica do maciço, a variabilidade de comportamento geotécnico manifestada pelos diferentes estratos e o estado hídrico dos materiais. Foram tidos em conta também o tipo e mecanismos de instabilização, o estado de degradação do talude e os limites da intervenção que foram que se encontravam condicionados aos da estrutura rodoviária.

Os objetivos do projeto foram baseados nos seguintes pontos:

- Reduzir a inclinação média do talude, adequando-a às características geológico-geotécnicas exibidas pelo maciço existente e às necessidades de controlo da erosão superficial;
- Eliminar as superfícies potenciais de rotura dos taludes já instaladas, nomeadamente no pano de talude intermédio e superior, minimizando o risco de ocorrência de novas instabilizações;
- Reformular o sistema de drenagem superficial do talude que se encontrava comprometido;
- Reduzir a afluência à plataforma rodoviária de águas de escorrência e materiais finos, provenientes da área de exploração contígua;
- Reduzir a percolação interna e a erosão diferencial no talude através da execução de obras de reforço, contenção e drenagem;
- Reabilitar o sistema de drenagem da plataforma, com carácter redundante, face à área de bacia de captação existente e aos volumes de água rececionados.
- Implementar técnicas de requalificação ambiental e estrutural do território através de obras de engenharia natural.

Nomeadamente estes objetivos foram desenvolvidos com a *(i)* definição da reconfiguração do perfil do talude, *(ii)* com a reformulação das obras de drenagem e com a *(iii)* definição de obras de engenharia natural.

3.1 Reconfiguração do perfil do talude

Face aos escorregamentos verificados e às características das superfícies de rotura visíveis na crista do talude optou-se pelo reperfilamento geométrico do talude, de forma concordante com o desenvolvimento do ramo e a topografia existente. Tendo em consideração que, o pano inferior do talude apresentava instabilidades de carácter superficial, bem como o facto de se cingir a intervenção ao limite de terreno já expropriado, optou-se apenas pelo reperfilamento do talude ao nível dos panos intermédio e superior, e pela regularização do pano inferior de talude.

Dado que os panos superiores do talude apresentavam alturas e geometrias agressivas e não compatíveis com as características geomecânicas dos materiais existentes, a intervenção proposta pretendeu melhorar as condições de estabilidade global do talude, reduzindo a inclinação média deste, através do adoçamento da geometria dos panos e da criação de banquetas, recorrendo para tal a terraplenagens.

Face ao exposto considerou-se a modelação geométrica do talude, como referido mantendo o talude existente no pano inferior e reperfilando os panos superiores a uma geometria de 1/1.5 (V/H), com alturas máximas de 8 m, e com banquetas com 4,5 e 3,0 m de largura de acordo com o perfil tipo (figura 6).

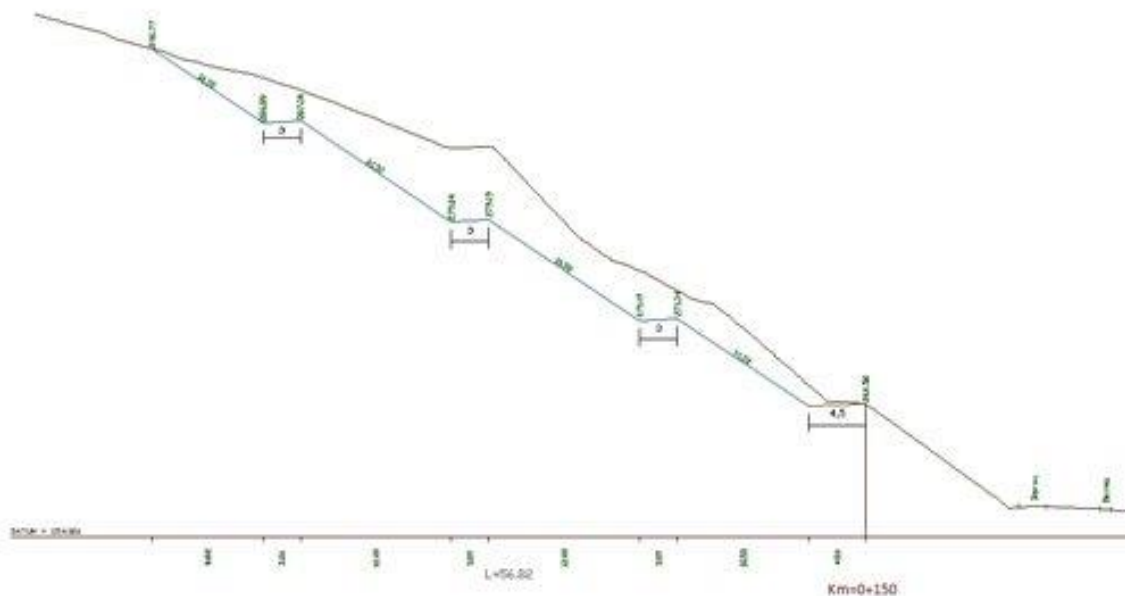


Fig.6. O perfil existente na seção de maior altura, em preto; em azul o novo perfil de projeto.

Na parte superior do talude foi prevista a execução de órgãos do tipo esporão e máscara drenante, respetivamente nos 4º e 5º panos de talude, devido ao carácter arenoso observado e simultaneamente com função de reforço, contenção e drenagem do talude. Nomeadamente em áreas contíguas a estruturas de drenagem e em intersecções de níveis freáticos e ressurgências localizadas de águas. Estes elementos drenantes projetados são constituídos com material rochoso, de granulometria entre 100/500 mm, envolvido em geotêxtil com funções de separação e filtro. Preconizou-se que a localização destes elementos fosse ajustada em obra, em função das condições efetivamente encontradas depois das terraplenagens.

3.2 Reformulação das obras de drenagem

Grande parte dos problemas que originaram o abatimento do talude devera-se fundamentalmente ao escoamento bastante desordenado da água proveniente de um areeiro existente a montante do talude; ao longo do tempo esta água acabou por erodir o talude, provocando a sua ruína numa extensão relativamente grande (figura 5). Além deste problema, detetaram-se ainda outros escorregamentos provocados pela deficiente drenagem nas cristas de taludes. Nalgumas zonas constatou-se que a água não era recolhida convenientemente uma vez que encontrava um outro caminho através dos ravinações longitudinais paralelos aos órgãos existentes. Tendo em conta os problemas detetados, definiram-se, as seguintes intervenções:

- Descida de talude em degrau de gabiões, para o encaminhamento da água proveniente do areeiro; no início da descida foi igualmente definida a implementação de uma bacia de receção com o fundo constituído por colchão tipo 'reno' e paredes de gabião com a função de recolher e encaminhar a água proveniente do areeiro para a descida em degraus.
- Coletor para entrega dos caudais provenientes da descida de talude, através de uma boca em recipiente a realizar na zona da valeta de plataforma, que fará a recolha dos caudais provenientes da descida de talude e os encaminhará para o novo coletor.
- Reforço, reformulação e compatibilização da drenagem existente com a nova geometria de taludes, com a demolição e substituição de valetas de banquetas, descidas de talude, caixas de ligação e dissipação de energia, valas de crista de talude.

3.3 Definição de obras de engenharia natural

As técnicas de engenharia natural definidas em projeto foram ajustadas à medida da nova configuração do talude e das obras de drenagem previstas, como é próprio de um Projeto-Piloto. Na figura 7 apresenta-se a localização das diferentes técnicas a instalar no talude, com os diferentes objetivos de proteger os taludes da erosão

superficial, estabilizar a superfície dos taludes, e consolidar as encostas. A definição das técnicas, de entre as variadíssimas referidas na literatura [3,4,5,6,7], foi orientada pelos diferentes objetivos que tinham de ser desempenhados, pelos diferentes ângulos de inclinação dos locais e pela variabilidade e heterogeneidade dos estratos litológicos exibidos.

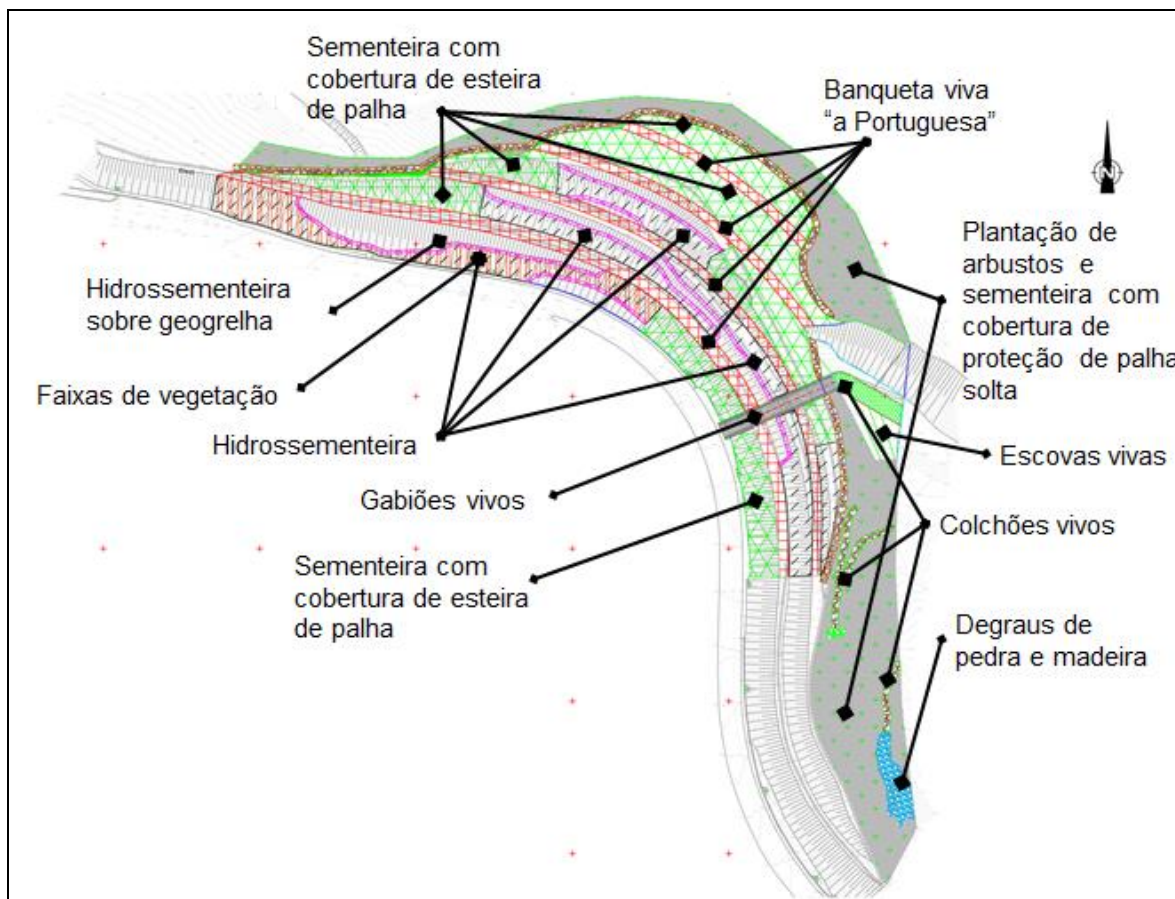


Fig.7. Zonamento por tipo de intervenção de engenharia natural

Uma vez reconfigurado o perfil do talude era necessário proteger os seus panos da erosão superficial, devida às precipitações, com um revestimento vegetal composto por herbáceas. Sendo a maior proteção garantida pelas plantas que se desenvolvem junto ao solo, quanto mais acentuada esta característica melhor [3,5]. Para favorecer a instalação das plantas, a partir de sementes em terrenos sem húmus e íngremes, as técnicas de engenharia natural preconizam a adição de outros materiais, para fixar as sementes ao terreno e para proteger o terreno no entanto das plantas afirmar-se, para providenciar materiais que com a sua degradação sejam de suporte ao processo de formação do húmus, como palha e fibras de celulosa [3].

O procedimento descrito foi realizado na parte alta do talude, entre a vala de crista e o limite da propriedade, com declives inferiores a 25°, onde decidiu-se aplicar a técnica *sementeira com cobertura de palha solta* associada com a plantação de arbustos. Nos panos de taludes com inclinações até 35° optou-se por *hidrossementeiras* e *sementeiras com cobertura de esteira de palha* com o fim de comparar a eventual diferença no êxito da aplicação das duas técnicas. Optou-se, de igual modo, pela aplicação da *sementeira com cobertura de esteira de palha* em panos de talude com inclinação entre 35° e 45° e por colocar a *hidrossementeira sobre geogrelha tridimensional* nas áreas onde ocorria a transição entre arenitos e argilas.

Para consolidar os taludes nos quais havia fluxos de água proveniente do areeiro adjacente e em áreas com declive menor de 35° optou-se por implementar *degraus vivos em pedra e madeira*. Nas áreas com declive superior aos 35°, nos quais já se tinha decidido implementar uma descida de talude com degraus de gabiões, foi proposta a implementação da técnica *gabiões vivos*. Esta preconizava a inclusão de estacas de espécies lenhosas de pequeno porte na construção dos gabiões, para que enraizassem no tardez destes, contribuindo para a sua

ancoragem de modo distribuído e para a sua estabilidade geral. A vegetação produzida pelas estacas tinha também por objetivo conferir um efeito estético que mitigasse o impacto visual das estruturas. Foi projetado incluir as estacas entre as pedras das estruturas dos gabiões, em posição sub-horizontal (conforme o esquema da figura 8); foi evitado colocar as estacas entre as camadas de gabiões com o fim de evitar por um lado o esmagamento das mesmas devido ao peso das estruturas e por outro que o desenvolvimento das estacas não pudessem interferir com o posicionamento dos gabiões a longo prazo.

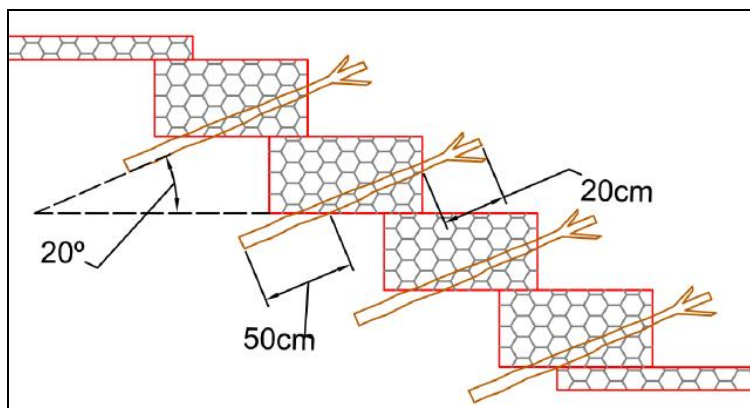


Fig.8. Esquema da instalação de estacas nos gabiões vivos

Nos taludes argilosos com inclinações de 45° com o propósito de estabilizar a superfície do talude com os sistemas radiculares das plantas, foi decidido aplicar a técnica das *faixas de vegetação*, utilizando estacas e plantas de arbustos como ilustrado no esquema apresentado na figura 9, colocados na posição sub-horizontal típica das técnicas de engenharia natural.

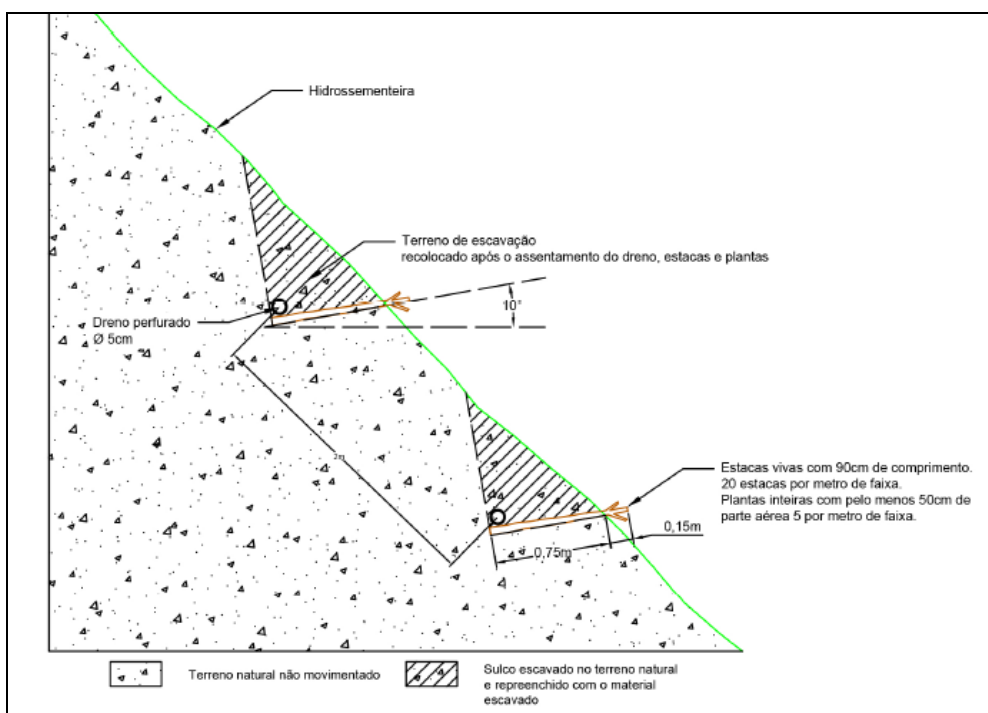


Fig.9. Seção tipo das faixas de vegetação, esquema de instalação de estacas e plantas arbustivas

Para as linhas temporárias de escorrência de água superficial com inclinação inferior a 25° optou-se por implementar a técnica dos *colchões vivos*, instalando nas extremidades laterais de colchões tipo 'reno' estacas de espécies lenhosas. Numa área com declive inferior a 25°, posto no lado da bacia de receção das águas do areeiro,

a montante da descida em degraus de gabiões optou-se por implementar com estacas de espécies lenhosas *escovas vivas* para orientar as águas de escorrência superficial.

Para impermeabilizar as banquetas, entre os panos de talude, foi definida uma nova técnica original, que se designou *banqueta viva "a Portuguesa"*. Sobre esta técnica inovadora foi também preparada uma comunicação específica sobre o seu modelo construtivo o seu enquadramento paisagístico no âmbito do Projeto-Piloto.

As espécies de plantas, estacas e sementes foram escolhidas tendo por base as investigações e os ensaios realizados pelo CEABN sobre as espécies da flora de Portugal continental [8].

Foram projetadas misturas de sementes compostas por gramíneas em 40% do peso total (*Bromus catharticus* Vahl, *Festuca arundinacea* Schreb., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Lolium multiflorum* Lam. e *L. perenne* L.); e espécies de leguminosas em 60% do peso total (*Medicago polymorpha* L., *M. truncatula* Gaertn., *M. rugosa* Desr., *Trifolium incarnatum* L., *T. michelianum* Savi, *T. subterraneum* L., *Lupinus angustifolius* L., *Onobrychis viciifolia* Scop., *Vicia villosa* Roth e *V. sativa* L.). As estacas lenhosas previstas, com diâmetro superior a 5 cm, foram das espécies *Salix atrocinerea* Brot., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. e *Tamarix* spp.; e com diâmetro entre 0,5 cm e 2 cm da espécie *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter. As plantas arbustivas escolhidas para serem plantadas com o seu caule enterrado foram *Coronilla glauca* L., *Viburnum tinus* L., *Rosmarinus officinalis* L., *Tamarix* spp., *Teucrium fruticans* L., *Crataegus monogyna* Jacq., e *Phillyrea angustifolia* L.

Não foram escolhidas espécies arbóreas, que pelo porte que podem atingir e sob a acção do vento pudessem induzir alterações mecânicas ao solo.

3.4 Condicionamentos ao projeto e ao programa dos trabalhos

Na definição das soluções do projeto algumas questões apresentaram-se como condicionantes relevantes. Entre elas: o limite da área de intervenção ser o limite pertencente à infraestrutura rodoviária, a impossibilidade do condicionamento a circulação rodoviária nos ramos do Nó e a circulação das águas subterrâneas no maciço do talude; outros elementos a considerar na definição das soluções foram a existência e aterros indiferenciados, de um poste de média tensão e a presença de um antigo areeiro nos terrenos sobrejacentes.

Na definição do programa de execução dos trabalhos, foram tidas em consideração outras condicionantes, nomeadamente as adequadas condições de segurança na execução dos trabalhos, atendendo às características geomecânicas dos materiais ocorrentes no talude e às características topográficas do talude, destacando-se a altura dos panos dos taludes. De facto, sendo o comportamento mecânico dos materiais aflorantes no talude substancialmente influenciado pelo seu grau de saturação, era providente que os trabalhos fossem realizados faseadamente e em época de estio. Por outro lado, a utilização de elementos vivos como sementes, estacas e plantas implicava que o período mais apropriado, para a implementação das técnicas de engenharia natural, fosse o período de repouso vegetativo: compreendido entre o fim do outono e o fim do inverno. Foram também definidas prioridades para as intervenções, de modo a responder à necessidade de revestir e proteger a superfície dos taludes imediatamente após a sua escavação, assim como o tratamento das interfaces nas áreas de contacto ou sobreposição de diferentes técnicas.

Foram especificados cuidados nas opções para o manuseamento e armazenamento dos materiais vivos, nomeadamente plantas e estacas e para fazer frente a eventuais condições climáticas adversas, de seca excecional, que pudessem inviabilizar a sobrevivência das plantas instaladas.

De facto, a área de intervenção insere-se na região mediterrânica, que se caracteriza por uma distribuição irregular da humidade no terreno, no espaço e no tempo. Em literatura existem poucos exemplos de projetos de engenharia natural nos quais tenham sido monitorizado o sucesso de obras neste tipo de contexto [9], sendo a engenharia natural aplicada com mais frequência em margens de rios e nas encostas da Europa central, onde a disponibilidade de água raramente representa um fator limitante. O clima mediterrânico, com os seus períodos de seca prolongada, é por si mesmo um constrangimento geral aos projetos de engenharia natural, que, contudo, nos últimos vinte anos tem vindo a ser encarado e controlado [10].

3.5 Custo das soluções do projeto

A introdução no projeto das técnicas de engenharia natural, em alternativa às tradicionais, resultou numa diminuição do custo total das obras planeadas no projeto em acerca de 30% da estimativa da abordagem inicial.

Este dado confirma o que já tinha sido registado por Schiechtl [3] em projetos análogos realizados na Áustria ao longo da autoestrada do Brenner.

4 CONCLUSÕES

O Projeto-Piloto projetado para resolver complexos processos de erosão detetados no Nó da Malveira da A21, num talude de escavação de grandes dimensões, demonstra que é possível combinar soluções da engenharia geotécnica com as de engenharia natural para atingir os objetivos de estabilização de taludes e encostas em Portugal.

A engenharia natural com os seus elementos construtivos vivos produz soluções que, para além dos seus efeitos estéticos, proporcionam resultados funcionais ao fim (i) da proteção da erosão superficial, através das folhas das plantas herbáceas, (ii) da estabilização das superfícies, com as estruturas radiculares de arbustos e árvores de pequeno porte, e (iii) da consolidação as encostas, através do uso combinado das plantas lenhosas e de materiais como pedras e postes de madeira. É também possível utilizar as plantas na implementação dos sistemas de drenagem. Para a estabilização das superfícies e a consolidação das encostas são relevantes quer as funções mecânicas quer as biológicas que as raízes realizam nos terrenos.

As relevantes reduções de custos quando comparadas com os custos das soluções tradicionais, os efeitos estruturais esperados do reforço do terreno proporcionado pelos sistemas radiculares das plantas e o resultado esperado de integração na paisagem de uma obra verde, fazem deste Projeto-Piloto, pelo tipo de contexto e dimensões, um importante primeiro ensaio em Portugal pela viabilidade das técnicas de engenharia natural.

5 REFERÊNCIAS

1. S. Rivas-Martínez, A. Penas, T.E. Díaz, *Bioclimatic Map of Europe – Bioclimates*. Cartographic Service University of León. 2004. <http://www.globalbioclimatics.org/form/maps.htm> (consultado em 02/01/2014)
2. F. Catry, M. Bugalho, J. Silva, *Recuperação da floresta após o fogo. O caso da tapada nacional de Mafra*. CEABN-ISA, Lisboa, 2007. p. 40.
3. H. Schiechtl, *Bioingegneria forestale, basi, materiali da costruzione vivi, metodi* Edizioni Castaldi, Feltre, 1985, p. 263.
4. P. Cornelini, G. Sauli (Eds.), *Compendio di ingegneria naturalistica per docenti e professionisti; analisi, casistica, ed elementi di progettazione*, Regione Lazio, Roma, 2015, p. 525.
http://www.regione.lazio.it/rl_ingegneria_naturalistica/sala_stampa/news_dettaglio.php?id=1985 (consultado em 2/11/2015)
5. F. Florineth, *Pflanzen statt Beton. Sichern und Gestalten mit Pflazen*, Patzer Verlag Berlin-Hannover, 2012, p. 340.
6. C. Bifulco, Engenharia Natural na reabilitação de taludes e vertentes, *7º Congresso Rodoviário Português*. p. 1-11, Lisboa, 10-12 Abril 2013, LNEC, http://www.crp.pt/docs/A45S130-10_Art_T4_7CRP_2013.pdf (consultado em 2/2/2015)
7. H. Zeh, *Ingenieurbiologie Handbuch Bautypen*, Hochschulverlag AG an der ETH, Zurich, 2007, p. 439.
8. C. Bifulco, F. Rego, Seleção de espécies lenhosas adequadas às técnicas de engenharia natural, *Silva Lusitana*, Vol. 20 (1/2), 15-38, 2013.
9. C. Bifulco, P. Giugliano, F. Rego, Evolution of shrub communities in soil bioengineering projects on Vesuvius, *VIII congresso AEIP BIOINGENIERÍA e INFRAESTRUCTURA VERDE: una oportunidad para la biodiversidad y el empleo*, p. 1-11 Vitoria, 23-24 Octubre 2014.
10. C. Bifulco (Ed.), *Interventi di ingegneria naturalistica nel Parco nazionale del Vesuvio*, Parco nazionale del Vesuvio, San Sebastiano al Vesuvio, 2001, p. 192.
http://www.vesuviopark.it/pnv/comunicazione/libri/ING_NAT_media.pdf (consultado em 2/2/2015)