

# **TRATAMENTO E ESTABILIZAÇÃO DAS ENCOSTAS DA ESTRADA NACIONAL E.N. 379-1, ENTRE OUTÃO E O PORTINHO DA ARRÁBIDA**

## **TREATMENT AND STABILIZATION OF THE NATIONAL ROAD E.N. 379-1 HILLSIDES, BETWEEN OUTÃO AND THE PORTINHO DA ARRÁBIDA**

Dinis, Jorge, *Teixeira Duarte, S.A., Porto Salvo, Portugal, jd@tduarte.pt*

Pina, João, *Teixeira Duarte, S.A., Porto Salvo, Portugal, jsp@tduarte.pt*

Xavier, Baldomiro, *Teixeira Duarte, S.A., Porto Salvo, Portugal, bx@tduarte.pt*

### **RESUMO**

O agravamento das situações de instabilização de massas rochosas ao longo das escarpas e dos taludes suprajacentes ao troço da estrada nacional E.N. 379-1, entre Outão e o Portinho da Arrábida, determinou o encerramento desta via. No sentido de conferir as condições de segurança necessárias, foram implementadas uma série de soluções de estabilização e de protecção. Pretende-se com esta comunicação descrever as soluções estruturais adoptadas, tanto na estrada como nas encostas, bem como as dificuldades enfrentadas na sua execução. No que se refere à estrada, recorreu-se essencialmente a estruturas de betão armado, das quais se destacam muros de contenção e falsos túneis. Quanto às encostas, os trabalhos concentraram-se essencialmente na protecção e estabilização de taludes com redes de protecção e redes pregadas, reforçadas com cabos de aço, bem como na instalação de barreiras dinâmicas de protecção.

### **ABSTRACT**

The increase of rock mass instabilization occurrences through the national road EN 379-1 hillsides, between Outão and the Portinho da Arrábida, leads to its closing. In order to insure the necessary safety conditions of the road a set of stabilization and protection solutions has been implemented. The aim of this communication is to report the constructive solutions adopted, on the road and hillsides, and to describe the problems encountered during the execution of the works. On the road, it has been essentially executed concrete structures, such as stabilization walls and false tunnels for protection. On the hillsides, the work mostly consisted in the installation of dynamic protection barriers against rock falls and protection nets, sometimes reinforced with steel cables and soil nailing.

### **1. INTRODUÇÃO**

Em consequência dos fogos florestais ocorridos no Verão de 2004 no Parque Natural da Arrábida, as condições de estabilidade das encostas contíguas à Estrada Nacional E.N. 379-1, entre Outão e o Portinho da Arrábida, foram fortemente afectadas numa extensão aproximada de 4km.

Verificou-se, então, uma intensificação dos casos de desprendimento de massas rochosas (Fig. 1) que, por colocarem em risco a segurança das pessoas e bens, deram origem ao fecho deste troço. No seguimento, foram iniciadas todas as diligências no sentido de conferir à via as condições de segurança necessárias à sua utilização.

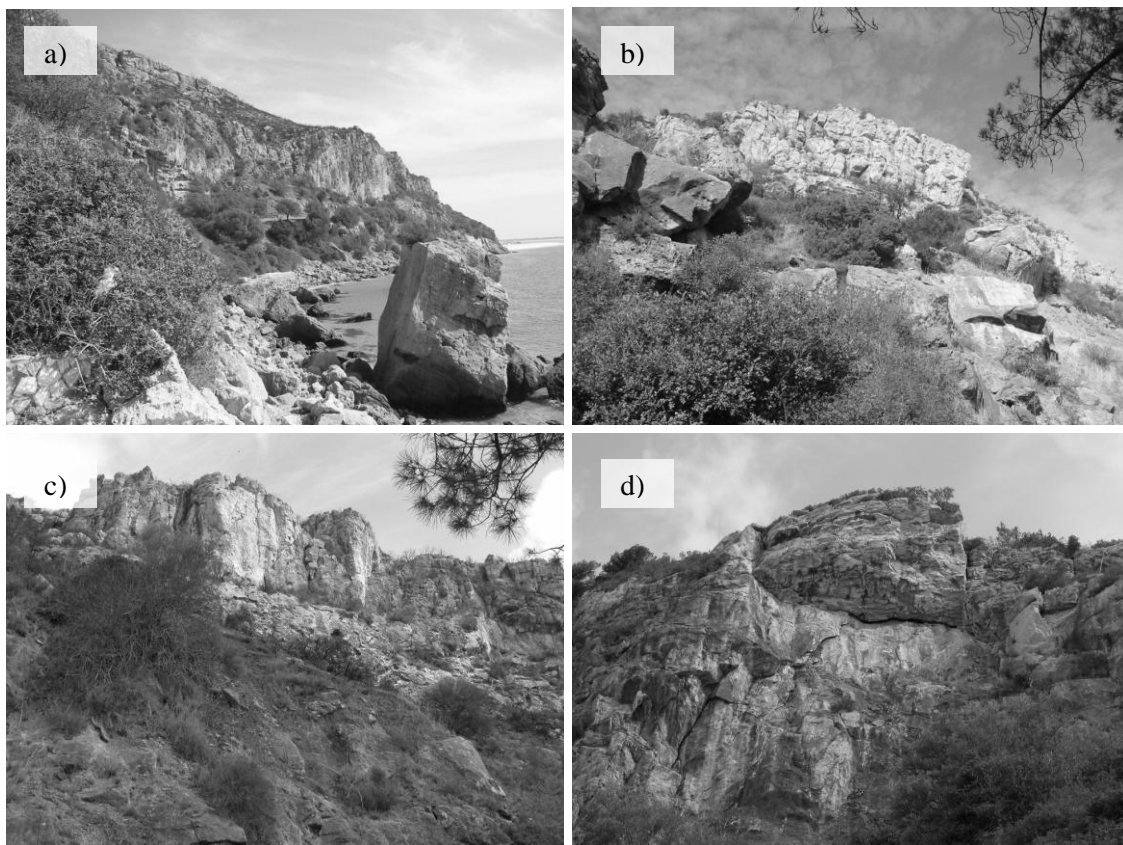


Figura 1 – Algumas das situações de risco que conduziram ao fecho da via: (a) queda de blocos, (b) destacamento de blocos, (c) cicatrizes de escorregamento em taludes e (d) maciços em consola.

Tratando-se do único acesso a duas das praias mais procuradas pelos moradores do Distrito de Setúbal (Praias da Figueirinha e Galapos) e não só, foi determinado pelas entidades competentes e por despacho ministerial que, sendo uma obra de carácter urgente, deveria ir a concurso ao abrigo de uma consulta por ajuste directo e sem estar sujeita à fiscalização prévia do Tribunal de Contas.

A gestão de todo este processo foi confiada ao E.P. – Estradas de Portugal, E.P.E. que, a 24 de Março de 2005 colocou a concurso uma Empreitada em regime de Concepção e Construção, tendo como suporte um Projecto Base. A 16 de Maio de 2005, data limite para a entrega das propostas, a Teixeira Duarte, S.A. entregou o Projecto de Execução e o respectivo plano de trabalhos, mapa de quantidades e preço. A obra foi então contratada a 31 de Agosto de 2005 e consignada a 2 de Setembro desse mesmo ano.

Por se tratar de uma via de intenso tráfego em época estival, foi imposto pelo Dono de Obra que em Junho de 2006 estivessem garantidas, entre Outão e a Praia da Figueirinha, as condições de segurança necessárias à circulação de transportes públicos e que, em Agosto do mesmo ano, estivessem concluídos todos os trabalhos.

Pelo facto da área de intervenção estar inserida numa zona classificada, protegida e de elevada sensibilidade, a proposta a concurso exigia que as soluções projectadas e implementadas em obra garantissem a preservação de todo o património natural, nomeadamente no que se refere aos aspectos ecológicos e paisagísticos. Tal condicionante implicou o envolvimento directo das entidades reguladoras e gestoras do parque na aprovação das soluções. Referimo-nos em

concreto ao Parque Natural da Arrábida (PNA), ao Instituto de Conservação de Natureza (ICN) e Ministério do Ambiente, entre outros.

Tanto as soluções, como os trabalhos inerentes à sua implementação tiveram que se adaptar à extremamente acidentada orografia e à realidade geológica e geotécnica existentes. Para tal, foram desenvolvidas medidas com vista à maximização da segurança e minimização do impacto visual, através da preservação das encostas no seu estado natural.

## 2. SOLUÇÃO PROJECTADA

### 2.1. Generalidades

Face às condicionantes enunciadas e tendo como suporte o levantamento topográfico, o relatório geotécnico e demais elementos do Projecto Base, foi desenvolvido o Projecto de Execução. Para a sua elaboração procurou-se manter a filosofia e a estrutura do Projecto Base, essencialmente no que se refere à concepção das soluções estruturais. As opções de projecto foram genericamente divididas em dois grupos de soluções estruturais: as aplicadas ao nível da estrada e as aplicadas ao nível da encosta.

### 2.2. Soluções aplicadas ao nível da estrada

Ao nível da estrada, com vista à criação de valas artificiais de retenção de blocos, à estabilização dos taludes, que se apresentavam com sinais de instabilidade na base, e, nalguns casos, com o objectivo de resistir ao impacto de blocos em queda, foram projectados muros de contenção e de protecção de betão armado, com secção em “L”, em “T” invertido e inclinados com pregagens, e muros em betão ciclópico (Fig. 2).



Figura 2 – Muros: (a) muro inclinado com pregagens (b) muro de protecção contra a queda de blocos, (c) muro de contenção em betão armado, (d) muro de contenção em betão ciclópico com barreira rígida no coroamento.

Adicionalmente, sempre que foi identificada a hipótese de ocorrer a projecção de pedras de reduzida dimensão, foi prevista a instalação de barreiras rígidas no coroamento e no tardo dos muros. Com o objectivo de fazer um enquadramento paisagístico dos muros, toda a superfície exposta foi revestida por pedra natural de calcário.

Nas situações em que a escarpa se encontrava sobre a estrada ou que exibia sobreescavações ao nível do pé do talude, que pudessem potenciar fenómenos de instabilidade e que se constatasse o risco de desprendimento de massas rochosas sobre a estrada, foram projectados falsos túneis com secção em pórtico, em geral, e em arco, na continuidade do túnel da Figueirinha (Fig. 3).

Os falsos túneis em pórtico, previstos para três zonas distintas do traçado, foram definidos com secção transversal caracterizada por uma laje em betão armado, suportada do lado da encosta por um muro vertical contínuo, e do lado do mar por uma fiada de pilares de secção circular  $\varnothing 600\text{mm}$ .

No que se refere às suas fundações, estava previsto que estas fossem directas, por intermédio de sapatas, no lado da encosta, e indirectas, por intermédio de microestacas, encabeçadas por uma viga longitudinal, ou por intermédio de estacas  $\varnothing 600\text{mm}$ , no lado do mar.

A laje superior foi dimensionada para resistir, para além das sobrecargas regulamentares exigidas, ao impacto de um bloco com 500kg de massa, que eventualmente pudesse desprender-se da encosta a uma altura de 100m. Em termos de cálculo, esta ocorrência foi simulada pela aplicação de uma força estática de 750kN. O amortecimento da queda deste bloco foi assegurado por uma camada de aterro, colocada sobre a laje do pórtico.



Figura 3 – Túneis de protecção: (a) Túnel 1, (b) Túnel 2, (c) Túnel 3 e (d) Túnel da Figueirinha

### 2.3. Soluções aplicadas nas encostas

Nas zonas onde os taludes se apresentavam estáveis, mas onde se admitia a probabilidade de ocorrência de desprendimentos localizados de massas pouco significativas, e com o objectivo de impedir que os blocos ganhassem velocidade excessiva, foram aplicadas redes de protecção suspensas na crista do talude, por intermédio de um sistema constituído por cabos de sustentação fixos ao talude com pregagens.

Nas situações em que o maciço se encontrava junto à estrada e evidenciava significativa meteorização e erosão, com potencialidade para o desprendimento ou deslizamento de massas rochosas sobre a estrada, recorreu-se a um sistema de retenção com recurso a redes de protecção, reforçadas com painéis de cabos de aço de alta resistência (Fig. 4 a) e b)). Como elemento de reforço dos taludes e de suporte dos painéis de cabos de aço, foram previstas pregagens distribuídas numa malha quadrada de 2.00 e 2.50m de lado e com comprimentos variáveis entre 6.00 e 10.00m.

Quando os taludes e encostas se encontravam mais afastados da estrada e se verificava a possibilidade de múltiplos desprendimentos de massas significativas que poderiam embater na estrada ou vizinhança, recorreu-se à instalação de barreiras dinâmicas de média energia (1500kJ) e alta energia (3000kJ), colocadas em zonas pré-determinadas a jusante das escarpas (Fig. 4 c) e d)), com o objectivo de reter estas massas.

Estes sistemas são formados por redes reforçadas de aço de elevada resistência, suportados por postes metálicos com 5.00m de altura, ancorados ao terreno e solidarizados com um sistema de cabos portantes, aos quais foi associado um sistema de travagem formado por uma placa perfurada, através da qual foi entrelaçado um jogo de cabos para dissipação da energia de impacto dos blocos.



Figura 4 – (a) e (b) Redes pregadas e reforçadas com painéis de cabos de aço;  
(c) e (d) Barreiras dinâmicas de protecção contra a queda de blocos

Por fim, nas situações em que nenhuma das anteriores soluções dava resposta às necessidades exigidas, procedeu-se ao desmonte das massas rochosas que apresentavam sinais de instabilidade. Para tal, recorreu-se a diversas metodologias, das quais se destaca a demolição com recurso a explosivos.

### **3. DIFICULDADES E IMPREVISTOS NA EXECUÇÃO DA EMPREITADA**

#### **3.4. Preparação dos trabalhos**

Após adjudicação da empreitada e de forma a permitir o início dos trabalhos, foi necessário definir toda a estratégia de ataque da obra. Face às condicionantes impostas, nomeadamente as de ordem ambiental, orográfica e de natureza geológica e geotécnica, que impossibilitavam a execução de qualquer acesso alternativo à EN379-1, e ainda à necessidade de realizar inúmeras actividades em simultâneo, tanto na estrada como nas encostas suprajacentes, a elaboração de um planeamento eficaz, que respondesse adequadamente às exigências de todas entidades envolvidas, demonstrou ser um processo moroso e de extrema dificuldade.

Adicionalmente, houve que estruturar a obra de forma a criar equipas autónomas, experientes e dotadas dos meios necessários para dar resposta às exigências contratuais, nomeadamente no que respeita às produções necessárias nas actividades de redes e barreiras, dentro dos prazos contratuais assumidos. A título de exemplo, de modo a obter a aprovação dos procedimentos de segurança, com o intuito de formar trabalhadores e definir metodologias específicas a aplicar em casos especiais, optou-se por solicitar a colaboração um técnico de renome nacional em escalada que, além de colaborar na implementação dos sistemas de segurança para trabalhos em altura, deu formação às equipas da Teixeira Duarte, bem como da Fiscalização e do Dono de Obra.

Por fim, foi necessário adoptar no local soluções que permitissem criar as condições de segurança necessárias para a execução dos trabalhos. Das múltiplas soluções aplicadas, destacam-se a colocação de linhas de vida nas encostas e a colocação de cerca de 3000m<sup>2</sup> de redes provisórias de protecção de dupla torção nas zonas de implantação dos muros e dos túneis.

#### **3.5. Trabalhos ao nível da estrada**

Após a entrada em obra, e indo de acordo com o previsto no programa de trabalhos colocado a concurso, foi realizada uma campanha de reconhecimento geotécnico complementar ao longo da via que consistiu na execução de sondagens adicionais, com ensaios de penetração dinâmica nos troços onde seriam executados túneis e poços de sondagem na zona dos muros. Em paralelo, procedeu-se a um rigoroso levantamento topográfico e dos serviços afectados, nestes mesmos troços.

No seguimento destes trabalhos, verificou-se que muitos dos pressupostos considerados na elaboração do projecto não eram válidos, nomeadamente no que se refere às condições de fundação e ao traçado dos elementos estruturais. Houve então a necessidade de proceder à pormenorização do Projecto de Execução de todos os muros e túneis. Este trabalho incidiu essencialmente na reimplantação e redimensionamento das estruturas, sem se terem introduzido alterações ao nível da sua concepção.

Na maioria dos túneis, ao longo da parede longitudinal a executar no lado da encosta, onde se previa que as fundações fossem directas por intermédio de sapatas contínuas, verificou-se que ocorriam depósitos de vertente até profundidades de cerca de 20.00m. Deste facto, resultou a necessidade de executar fundações indirectas no lado da encosta por intermédio de estacas. A nível estrutural, esta alteração conduziu a uma perda de rigidez global que, essencialmente por questões de comportamento à acção sísmica, levaram à substituição da solução de fundação por

microestacas (prevista no lado do mar de um dos túneis) por estacas e à execução de vigas de fundação transversais de travamento em todos os túneis. Adicionalmente, por questões construtivas, nomeadamente pela necessidade de atravessar depósitos de vertente com blocos de variadas dimensões envolvidos em matrizes arenosas de reduzida compacidade, alteraram-se os diâmetros das estacas para 800mm.

Destas alterações, para além das evidentes consequências ao nível do custo de execução, resultaram grandes constrangimentos a todo o planeamento previsto, essencialmente pelo facto da circulação na via ter que ser interrompida durante a execução das vigas de fundação transversais. Esta última dificuldade conseguiu ser superada através da colocação de passadiços metálicos provisórios sobre a zona das vigas.

Por outro lado, visto que a execução das fundações de dois dos túneis tinha imperativamente de estar concluída até meados de Fevereiro de 2006, altura da nidificação do falcão peregrino, uma ave cujos ninhos se localizavam nas escarpas suprajacentes a estes túneis, houve a necessidade de proceder ao reforço das equipas, o que obrigou a um esforço de obra adicional.

No que se refere aos muros, para além da necessidade de rectificação do traçado e do desvio de dos serviços afectados, que, no geral, estavam localizados no seu alinhamento, teve que se proceder em muitos casos à alteração da geometria dos elementos enterrados, de forma a permitir a sua execução sem provocar fenómenos de instabilização nos taludes que se desenvolvem no seu tardo. A título de exemplo, num dos troços onde estava previsto um muro de contenção e de protecção contra a queda de blocos com cerca de 5.00m de altura, todo o talão teve que ser suprimido e, em alternativa, tiveram que ser executados pegões armados a resistir à flexão, com 3.50m de profundidade, de secção  $1.20 \times 2.00 \text{m}^2$  e afastados de 4.00m.

### **3.6. Trabalhos nas encostas**

Para além das todas as dificuldades inerentes a este tipo de intervenções, essencialmente no que se refere à segurança dos intervenientes em praticamente todas as actividades e à segurança da via, onde se estavam a realizar outros trabalhos, houve, numa fase inicial, que proceder a um levantamento exaustivo do local, de forma a adaptar as soluções projectadas à real geomorfologia.

De seguida, foi necessário definir a forma de colocação do equipamento no local, em certos casos, a alturas superiores a 50m. Neste caso, face à acidentada orografia e pela impossibilidade de criar acessos, optou-se por recorrer a gruas de grande porte. Esta actividade, embora aparentemente simples, teve como consequência directa a interrupção da circulação da via, o que obrigou a um esforço adicional na já difícil gestão de todas as frentes de trabalho.

No que se refere ao desenvolvimento dos trabalhos, pela necessidade de execução de pregagens em taludes sub-verticais com alturas de 40-50m, foi necessário recorrer a equipamentos de furação de pequeno diâmetro para operarem suspensos por cabos de aço e movimentados por tirlfor's hidráulicos.

Por se estar na presença de formações calcárias, com maciços muito fracturados e, embora espaçadas, com fissuras muito abertas por fenómenos de carsificação, no decorrer dos trabalhos de selagem das pregagens verificaram-se sobreconsumos de calda de cimento muito superiores aos que seriam expectáveis. Face a esta circunstância, por forma a que esta actividade não se tornasse crítica, foi necessário reforçar significativamente os meios de injeção, o que conduziu a sobrecustos relevantes, tanto ao nível dos materiais como dos meios humanos e de equipamentos mobilizados.

### 3.7. Implementação de soluções estruturais adicionais

Numa das frentes de maior grau de dificuldade e concentração de trabalhos de redes e barreiras, situada logo no início do troço e por onde passava o caminho crítico da empreitada, foi identificada a existência de uma fenda com um desenvolvimento horizontal de 40.00m, 14.00m de profundidade e uma abertura média de 0.30m.

Face a esta situação, houve a necessidade de implementar uma solução que consistiu, numa primeira fase, na identificação exacta da dimensão e características da fenda. Posteriormente, procedeu-se ao seu enchimento com betão fluído, de forma faseada e controlada por um plano de instrumentação previamente definido, tendo-se de seguida procedido à execução de 56 ancoragens definitivas, pré-esforçadas a 600kN, com comprimentos compreendidos entre 16.00 e 18.00m, também realizadas de forma faseada e monitorizada (Fig. 5).

Durante a execução das ancoragens, devido ao elevado grau de carsificação das formações, foram injectadas cerca de 650ton de cimento, o que representa quase 12ton por ancoragem, valor extremamente elevado, tendo em consideração o tipo de trabalho realizado.



Figura 5 – Ancoragens de estabilização na zona onde foi identificada uma fenda.

## 4. CONCLUSÕES

A dimensão da zona sujeita a intervenção, associada à elevada heterogeneidade das formações, fez com que muitos dos pressupostos considerados no Projecto Base tivessem que ser alterados. Como é frequente neste tipo de intervenções, houve a necessidade de desenvolver, em simultâneo com a obra, toda a pormenorização do Projecto de Execução, sem que, no entanto, se tenham introduzido alterações ao nível da concepção.

A implementação das diversas soluções ao nível das encostas no prazo previsto, o volume de trabalho, a inexistência de acessos, a distância à estrada e ainda as difíceis condições de trabalho, que, regra geral, apresentavam elevadas pendentes, conduziram à mobilização e formação de grande número de trabalhadores especializados, na sua maioria, em trabalhos em altura e à utilização de grande número de equipamentos ligeiros, desenvolvidos especificamente para as condições onde se desenvolveram os trabalhos.

Com a criação de equipas pluridisciplinares foi possível, em apenas 330 dias, realizar cerca de 25.0km de pregagens e de 950.0m de ancoragens; injectar 1800ton de cimento; instalar 35.000m<sup>2</sup> de redes e 2.7km de barreiras dinâmicas; e executar mais de 1.0km de muros e 285.0m de túneis, fundados sobre um total de cerca de 1.0km de estacas de betão armado.