

Quinta-Ferreira, M., Veiga Pinto, A. 1994. "Enrocamento compactado? Sim.", Vertical: Revista da Associação de Engenharia da Universidade de Coimbra, nº1, 38 - 43.

VERTICAL

A.E.U.C. • NÚMERO 1 • MAIO/94

Ordem:
O ÚLTIMO OBSTÁCULO

ENGENHARIA GEOLÓGICA

Enrocamento compactado? Sim.

A técnica de construção de aterros de enrocamento está hoje perfeitamente comprovada, permitindo obter elevados rendimentos, baixos custos e facilidade de construção mesmo em condições meteorológicas adversas.

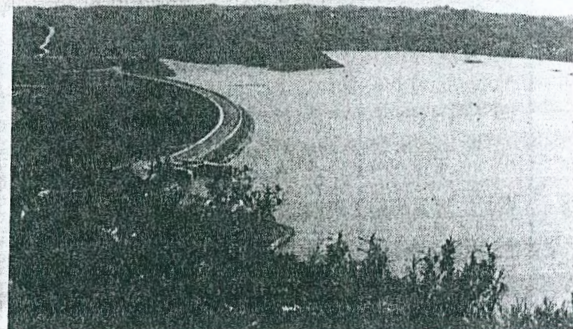
Os aterros nas obras de engenharia são normalmente construídos com solos dado o seu reduzido custo. As técnicas de construção e de controlo de qualidade deste material estão bastante divulgadas e são bem conhecidas.

No entanto, em Portugal ocorrem grandes extensões em que abundam os maciços rochosos com escassez de solos. Nestes locais o custo de utilização dos solos torna-se muitas vezes proibitivo dadas as distâncias de transporte. Por outro lado, a crescente interferência das obras com o terreno, em resultado das maiores dimensões dos empreendimentos e de projectos mais exigentes, origina a escavação de grandes volumes de rocha cujo destino é necessário acautelar

para não conduzir a grandes depósitos com custos acrescidos. Para a construção de aterros de enrocamento com os tipos de rochas existentes em obra há que proceder à caracterização e selecção das rochas e utilizar procedimentos na colocação e compactação adequados aos materiais de enrocamento.

Caracterização e aplicação de enrocamento compactado

Os enrocamentos, utilizados em aterros, são constituídos por fragmentos de rocha com dimensões que atingem os 2 metros até pequenas partículas de dimensão da argila (Maranha das Neves, 1979). O facto de limitar os finos (fracção inferior a 0,074 mm) a valores da ordem dos 10% conduz a um material bastante permeável, facilmente trabalhável durante os períodos chuvosos ou mesmo de neve. Os enrocamentos exibem, relativamente aos outros materiais da Mecânica dos Solos, elevada resistência ao corte e reduzida deformabilidade, nomeadamente em granulometrias extensas, onde se obtêm reduzidos índices de vazios. A introdução, na década de 60, de equipamento de



Cedido pelo responsável do artigo

Fig. 1 - Barragem de Beliche e Apartadura (INAG).

compactação na construção de aterros de enrocamento conduziu a estruturas mais seguras e económicas. Na realidade, pelo efeito da acção de cilindros vibradores, os enrocamentos apresentam uma significativa melhoria das suas características mecânicas.

Os estudos de materiais de enrocamento iniciaram-se em Portugal, no LNEC, em meados da década de 70, seguindo, sobretudo, a experiência de investigadores do México, USA e Itália (Maranha das Neves e Veiga Pinto, 1977). Desses estudos destaca-se a apropriação de ferramentas (ensaio de amostras de grande dimensão e modelos matemáticos) que permitem a previsão do comportamento estrutural de barragens de enrocamento (Veiga Pinto, 1983).

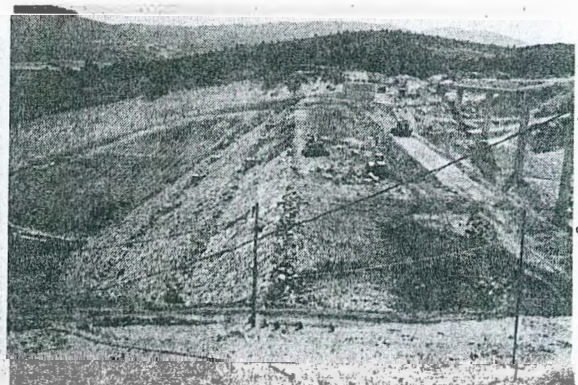
A primeira aplicação de estruturas de enrocamento compactado em Portugal, verificou-se em 1982, com a construção da barragem de Beliche (Fig. 1, Maranha das Neves et al., 1987). Depois construíram-se as Barragens de S. Domingos, Apartadura (Figs. 1 e 2) e Lagoacho (Fig. 3) com colaboração significativa por parte do LNEC. Importantes aterros de enrocamento foram também construídos nas obras de prolongamento das pistas dos aeroportos do Funchal (Fig. 4) e de Ponta Delgada (Fig. 5, Veiga Pinto et al., 1987). Mais recentemente tem havido uma importante intervenção do LNEC na construção de aterros de enrocamento para vias rodoviárias, em que se destaca a variante de Rio Maior, o lanço Torres Novas - Leiria da Auto-estrada do Norte (Fig. 6) e a Via Longitudinal do Algarve. (Fig. 7, Veiga Pinto et al., 1993). Das outras aplicações de materiais de enrocamento destacam-se as obras portuárias e nos aterros de plataformas de vias ferroviárias, de parques de estacionamento e industriais.

Técnica construtiva

A construção dos aterros de enrocamento requer a utilização de algumas técnicas específicas a este tipo de materiais.

Na exploração dos materiais rochosos é necessário, normalmente, recorrer a pedras de fogo com a utilização de explosivos. Poderá ainda ser necessário proceder ao taqueamento dos blocos que após o arranque possuam tamanhos superiores à máxima altura prevista para a camada. Para obter o melhor rendimento, a realização de ensaios de pedra é importante, permitindo otimizar o plano de fogo de acordo com as

Fig. 2 - Barragem da Apartadura (INAG).



Carida pelo repositório do artigo

características da rocha e superfícies de compartimentação, do tipo de explosivo, da malha de furação e da distribuição granulométrica que se pretende obter.

A colocação dos materiais de enrocamento deve ser feita em camadas, sendo muito importante a técnica utilizada. Os materiais devem ser colocados com a técnica vulgarmente designada de “deposição em cordão” que se exemplifica na Fig. 8. Esta técnica aumenta o rendimento da colocação pois permite o rearranjo dos materiais de modo que os mais grossos se deslocam para a base da camada enquanto os mais finos preenchem os vazios entre os maiores, permitindo um bom imbricamento e diminuindo o índice de vazios. Obtem-se ainda uma superfície mais plana e relativamente uniforme para o topo da camada, o que facilita a circulação dos veículos de transporte e a utilização do cilindro vibrador.

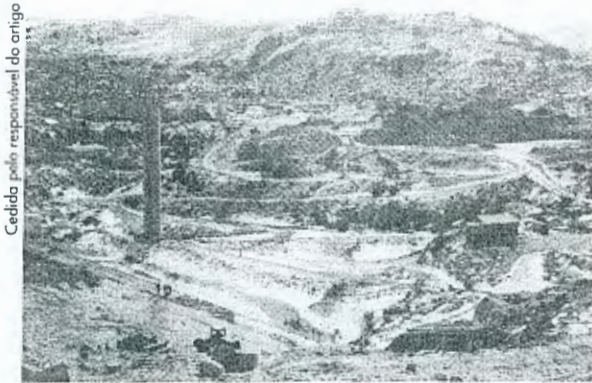


Fig. 3 - Barragem de Lagoaço (EDP).

Durante as operações de descarga e espalhamento há que proceder, normalmente e tendo em conta os resultados dos ensaios de propriedades índice do material rochoso, à rega dos materiais de enrocamento com um mínimo de 10% de água em relação ao volume colocado. A superfície da camada é então compactada com o cilindro vibrador. A molhagem facilita a compactação e melhora o comportamento futuro do enrocamento. Se a molhagem pode ser dispensada em pequenos aterros de enrocamento ou quando a funcionalidade da estrutura admite grandes deformações, ela é imprescindível nos enrocamentos de maiores alturas; de modo a diminuir os assentamentos unitários. O número de passagens do cilindro vibrador é definido a partir dos resultados de aterros experimentais, de modo a obter-se o menor índice de vazios compatível com as condições construtivas adoptadas. O número de passagens do cilindro vibrador mais adequado à construção dos enrocamentos varia frequentemente entre 6 e 8.

Ensaio para aprevisão do comportamento e controlo de construção

Antes de se construir o enrocamento é possível estimar as suas características com base nas propriedades índice dos fragmentos rochosos (Quinta Ferrei-



Fig. 4 - Ampliação do Aeroporto do Funchal (SRES da Madeira).

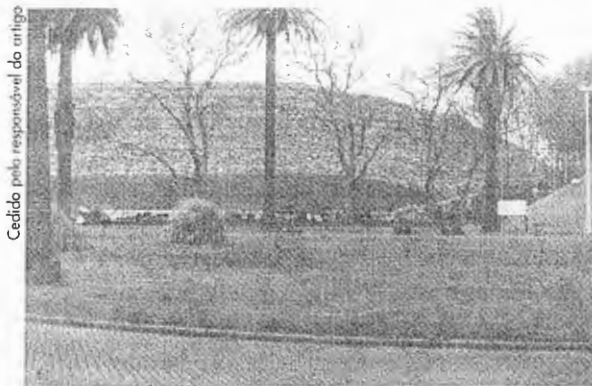


Fig. 5 - Ampliação do Aeroporto de Ponta Delgada (SRES dos Açores).

ra, 1990; 1991) que vão ser utilizados. Correntemente determinam-se a resistência dos fragmentos recorrendo ao ensaio de esmagamento, ou mesmo ao ensaio de carga pontual (Quinta Ferreira et al., 1990). A determinação da porosidade e pesos volúmicos dos fragmentos é igualmente realizada. No ensaio de Los Angeles e no ensaio de desgaste em meio húmido determinam-se as características de resistência ao desgaste dos materiais.

A avaliação da durabilidade dos materiais é importante em particular nos materiais utilizados nos enrocamentos de protecção.

Para a execução do controlo de colocação recorre-se a nivelamentos de precisão e à realização de ensaios macro. As medições topográficas são obtidas sobre placas metálicas de referência colocadas à superfície do enrocamento. Nos ensaios macro, efectuando a abertura de

poços de dimensão apreciável, determina-se o peso volúmico, o índice de vazios e a granulometria do enrocamento colocado.

Sobre o material do enrocamento, mas utilizando uma granulometria modelada a partir da granulometria de campo, são efectuados ensaios de laboratório em câmaras de grande diâmetro de modo a determinar as características de deformabilidade, utilizando o ensaio de compressão unidimensional, e as características de resistência utilizando o ensaio triaxial (Veiga Pinto, 1983). Em Portugal estes equipamentos de grande dimensão apenas existem no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Equipamento necessário

A construção dos enrocamentos requer a utilização de equipamentos correntes no trabalho com materiais rochosos.

Destacamos os martelos pneumáticos ou outro equipamento de furação para a abertura dos furos a carregar com explosivos, pás carregadoras, camiões ou dumpers e cilindros vibradores com pesos estáticos superiores a 10 toneladas. Para efectuar a molhagem é ainda conveniente um sistema de rega que debite

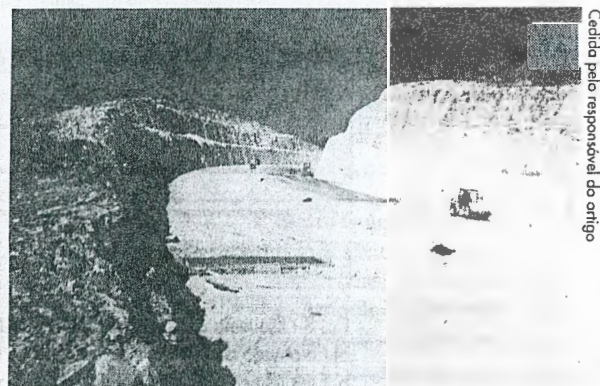


Fig. 6 - Auto-estrada do Norte (BRISA).

um caudal compatível com a aplicação de pelo menos 10% de água em relação ao volume de enrocamento que está a ser colocado.

Na abertura dos poços de elevado diâmetro é necessário utilizar uma pá escavadora quando os materiais são grosseiros, podendo proceder-se à abertura manual quando os materiais são de menores dimensões. Para a medição do volume do poço recorre-se frequentemente a um medidor de caudal sendo ainda necessário uma folha de plástico, de modo a impermeabilizar o interior do poço. Para a execução dos nivelamentos de precisão, para além dos equipamentos correntes de topografia, são necessárias placas metálicas com forma especial de modo a manterem-se na superfície da camada durante a compactação. Na determinação da granulometria utilizam-se peneiros para os materiais finos. Para as dimensões

Cedida pelo responsável do artigo



Fig. 7 - Via longitudinal do Algarve (JAE).

intermédias facilmente se executa no estaleiro uma malha com as dimensões desejadas, utilizando barras de ferro que são soldadas nos nós de modo a formar uma rede rígida. Para os grandes blocos procede-se, individualmente, à medição das suas dimensões principais e calcula-se o seu peso multiplicando pelo peso volúmico da rocha. Para a pesagem dos materiais separados por peneiração, de modo a construir-se a curva granulométrica, é necessário uma balança de grande capacidade.

Conclusões

A técnica de construção de aterros de enrocamento está hoje perfeitamente com-

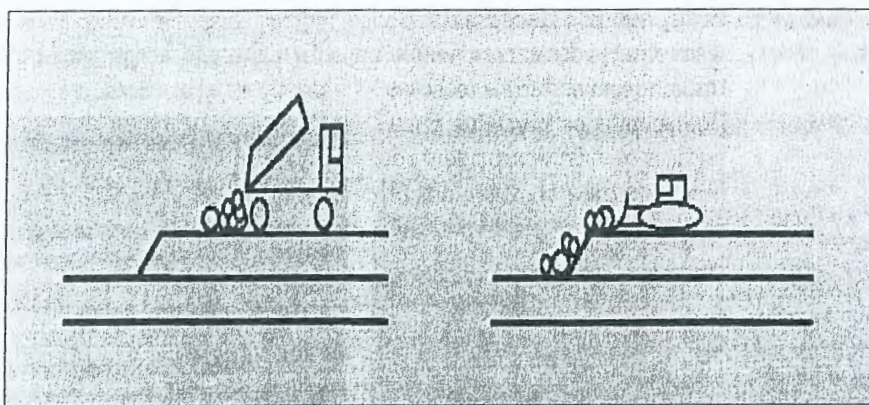


Fig. 8 - Esquema da colocação do material de enrocamento segundo a técnica de "deposição em cordão".
a) Colocação do material sobre o topo da camada em construção entre 3 a 5 m da frente;
b) Espalhamento do material que é empurrado por um buldozer para a frente em avanço.

provada, permitindo obter elevados rendimentos, baixos custos e facilidade de construção mesmo em condições meteorológicas adversas.

Os equipamentos necessários à sua construção são acessíveis à generalidade dos construtores. A sua utilização eficiente e a obtenção de elevados rendimentos requer o conhecimento dos materiais rochosos a utilizar, o domínio das técnicas de exploração da rocha, da selecção e carregamento, colocação no aterro e espalhamento para construção das camadas.

Podemos mesmo afirmar que os aterros de enrocamento são uma técnica de construção amadurecida e de grande futuro.

Bibliografia

- MARANHA DAS NEVES, E. (1979) - "Notas sobre o dimensionamento de barragens de aterros de enrocamento". Geotecnia Nº 28, p.3-49.
- MARANHA DAS NEVES, E. e VEIGA PINTO, A. (1977) - "Enrocamentos. Actualização de conhecimentos, estudos experimentais e aplicações em barragens e vias de comunicação". LNEC, Relatório Interno, 135 p.
- MARANHA DAS NEVES, E.; MATIAS RAMOS, C. e VEIGA PINTO, A. (1987) - "Aspectos relativos à concepção, projecto e construção da barragem de Beliche". Conferência Ibero-Americana sobre Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa, Anais 1, Tema 1, p.141-157.
- QUINTA FERREIRA, M. (1990) - "Aplicação da geologia de engenharia ao estudo de barragens de enrocamento". Dissertação de doutoramento apresentada na Universidade de Coimbra, 322 p., Coimbra.
- QUINTA FERREIRA, M. (1991) - "Geologia de engenharia e barragens de enrocamentos". III Congresso Nacional de Geologia, 22 a 25 de Outubro de 1991, Memórias e Notícias, Publicação do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, Nº 112, p.300-326, Coimbra.
- QUINTA FERREIRA, M., DELGADO RODRIGUES, J., VEIGA PINTO, A. e JEREMIAS, F.T. (1990) - "Evaluation of strength of irregular rock lumps for characterization of rockfills". Proc. 6th International Congress of the International Association of Engineering Geology (IAEG), Vol. 4, p.3119-3124, Amesterdão.
- VEIGA PINTO, A. (1983) - "Previsão do comportamento estrutural de barragens de enrocamento". Tese para especialista, LNEC, 159 p.
- VEIGA PINTO, A.; MARANHA DAS NEVES, E. e MOTA, C. (1987) - "Os aterros de enrocamento e solos pomíticos do Aeroporto de Ponta Delgada". 2º Encontro Nacional de Geotecnia, Vol. 1, p.35-61.
- VEIGA PINTO, A.; PAPADIMITROPOULOS, I.; PRATES, M. e BARROS, R. (1993) - "Via Longitudinal do Algarve. Análise dos assentamentos verificados à superfície dos aterros junto à ponte do rio Sêco". Relatório no âmbito do protocolo JAE/LNEC, p.1-72.

Mário Quinta Ferreira

Professor Auxiliar do Departamento de Ciências da Terra
Universidade de Coimbra

António Veiga Pinto

Investigador Principal

Laboratório Nacional de Engenharia Civil