

DESCARREGADORES DE CHEIAS NÃO CONVENCIONAIS SOBRE BARRAGENS DE ATERRO. APRESENTAÇÃO DE SOLUÇÕES E ESTUDO COMPARATIVO.

António T. RELVAS ⁽¹⁾; António N. PINHEIRO ⁽²⁾

RESUMO

O estudo de descarregadores de cheias não convencionais sobre barragens de aterro tem-se intensificado nas últimas três décadas. A procura de novas soluções para a construção deste tipo de descarregadores tem sido desenvolvida com o objectivo de reduzir o custo do descarregador, que pode chegar a atingir cerca de 40% do custo global da barragem.

Na presente comunicação é feita uma breve descrição de quatro tipos de descarregadores não convencionais sobre barragens de aterro, referindo exemplos já construídos, que se considera poderem constituir alternativas de menor custo em comparação com os descarregadores habitualmente projectados. Os quatro tipos são: descarregador de betão armado moldado *in situ*; descarregador de gabiões com soleira em degraus; descarregador de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus; e descarregador sobre terra armada.

Com base num programa de cálculo automático, que permite efectuar, para diferentes dados de base, o pré-dimensionamento dos três primeiros tipos de descarregadores não convencionais referidos, é apresentado um estudo comparativo com outros tipos de descarregadores já projectados ou em construção, para o que se aplicou a metodologia desenvolvida no programa às barragens das ribeiras da Foz do Guadiana, do Enxoé e de Oeiras.

Os resultados da aplicação da metodologia proposta aos casos de estudo seleccionados, permitiu concluir que os descarregadores não convencionais analisados poderão constituir, na generalidade dos casos, uma alternativa de custo significativamente inferior à dos descarregadores habitualmente projectados.

(1) – Engenheiro Civil, Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos - Colaborador da COBA, Consultores de Engenharia SA.

(2) - Engenheiro Civil , Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico.

De entre os descarregadores não convencionais analisados, o descarregador em blocos de betão prefabricados permitirá a redução de custo mais significativa (nos casos em estudo, estimou-se uma redução de 50% a 60% do custo da solução projectada).

Palavras-chave: descarregador de cheias não convencional, descarregador com soleira em degraus, blocos de betão prefabricados, terra armada.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações iniciais

Em barragens de aterro, as soluções clássicas de descarregadores de cheias integram habitualmente importantes obras de betão armado implantadas nas encostas ou ao nível da fundação da barragem ou, menos frequentemente, túneis escavados nas encostas. Estas soluções são, ainda hoje, as que continuam a ser utilizadas na grande maioria das barragens de aterro.

Nos últimos anos, tem vindo a desenvolver-se o estudo de descarregadores que não correspondem a soluções clássicas e que, de um modo genérico, são designados por descarregadores de cheias não convencionais. Em geral, a construção destes descarregadores tem menores custos e menores impactes na paisagem, comparativamente com os descarregadores clássicos.

À luz dos relatórios apresentados por membros do ICOLD sobre a aplicação de novos conceitos no dimensionamento de descarregadores de cheias (ICOLD, 1994), foi possível verificar que, embora existam conceitos gerais subjacentes aos descarregadores não convencionais, tais conceitos traduzem-se numa grande diversidade de soluções.

Na generalidade, os conceitos subjacentes ao dimensionamento de descarregadores não convencionais têm por objectivo principal, do ponto de vista hidráulico, promover a dissipação de parte significativa da energia do escoamento ao longo do canal do descarregador. Este objectivo levou a que em ICOLD (1994) se preconizasse o estudo dos descarregadores não convencionais segundo duas linhas:

- utilização de túneis ou canais com soleira não revestida, apresentando rugosidade elevada;
- utilização de descarregadores com soleira em degraus.

No que se refere à localização do descarregador em relação à barragem, o desenvolvimento dos estudos sobre descarregadores não convencionais tem incidido, em grande parte, sobre a possibilidade de construir este órgão sobre o corpo da barragem, no caso de esta ser de aterro. Neste caso, o comprimento da obra é, em geral, substancialmente reduzido em relação à solução clássica de construir um canal numa das vertentes, em particular no caso de barragens construídas em vales abertos. Face à deformabilidade da fundação, é necessário que as estruturas do descarregador possam acompanhar os inevitáveis assentamentos diferenciais a que estarão sujeitas sem que a operacionalidade das estruturas seja posta em causa. O estudo de soluções para obviar a este problema constitui o aspecto mais significativo do desenvolvimento dos descarregadores localizados sobre o corpo de barragens de aterro.

Refira-se que, apesar de existirem diversos exemplos da construção deste tipo de descarregadores fora de Portugal, o Regulamento de Pequenas Barragens (RPB) em vigor não admite a construção de descarregadores sobre o corpo de barragens de aterro. No ponto 4 do seu artigo 10º é referido que: “O descarregador não pode ficar fundado no corpo de barragens de aterro;” (MOPTC, 1993).

A restrição imposta pelo RPB pretenderá evitar os problemas associados à construção sobre uma fundação com grande deformabilidade e erodível, tal como o é uma barragem de aterro. De facto, os descarregadores não convencionais construídos sobre barragens de aterro devem apresentar na sua concepção soluções técnicas que permitam obviar aos problemas específicos referidos, que, por enquanto, não estão suficientemente estudadas e comprovadas, de modo a poderem ser admissíveis por um regulamento que é utilizado por grande número de técnicos, de qualificação variável, e aplicável a obras construídas, frequentemente, por empresas de reduzida dimensão, com recurso a fiscalizações incipientes.

Na presente comunicação, abordam-se aspectos relativos a descarregadores não convencionais sobre barragens de aterro, pretendendo-se que possam constituir uma contribuição para o desenvolvimento do estudo em Portugal deste tipo de descarregadores. Neste contexto, será desejável que, futuramente, se venham a consignar na legislação os progressos técnicos que, entretanto, tenham inequivocamente provado os seus méritos.

Os aspectos abordados nesta comunicação constam de um trabalho mais vasto desenvolvido pelo primeiro autor sob a orientação do segundo (RELVAS, 1997).

1.2 - Âmbito

Em RELVAS (1997), seleccionaram-se para análise quatro diferentes tipos de descarregadores não convencionais, todos eles localizados sobre o corpo da barragem:

- descarregadores de betão armado moldado in situ;
- descarregadores de gabiões com soleira em degraus;
- descarregadores de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus;
- descarregadores sobre terra armada.

Na presente comunicação são indicadas as principais características dos quatro descarregadores e referidos alguns exemplos de aplicação. Em seguida, apresentam-se resultados obtidos com a aplicação a casos de estudo da metodologia de dimensionamento técnico-económico desenvolvida. A comunicação é concluída enunciando os aspectos que se considera essencial desenvolver num programa de investigação subsequente ao trabalho de RELVAS (1997).

1.3 - Descarregadores sobre barragens de aterro. Problemas particulares

A construção de descarregadores sobre o corpo de barragens de aterro não é uma solução convencional, ou classicamente adoptada, face aos problemas particulares que este tipo de obra acarreta. Devido à inexistência de soluções adequadas para estes problemas, que serão referidos nos parágrafos seguintes, a construção de descarregadores sobre o corpo de barragens de aterro, que, frequentemente, poderia conduzir a soluções mais económicas, não é habitualmente considerada. Assim, os descarregadores das barragens de aterro são, na sua maioria, convencionalmente constituídos por canais laterais de betão a céu aberto,

implantados numa das vertentes, ou por descarregadores em poço seguido de galeria quase horizontal, implantada sob a barragem ou ainda, menos frequentemente, por túneis escavados nas encostas.

Os problemas particulares da construção de descarregadores sobre o corpo de barragens de aterro são, fundamentalmente, devidos à:

- **Deformabilidade do aterro:** as barragens de aterro estão sujeitas a assentamentos ao longo da sua vida. Os assentamentos são normalmente diferenciais, o que pode provocar uma alteração significativa das condições de fundação ao longo do descarregador e a conseqüente instabilização das estruturas que o constituem.
- **Reduzida resistência do aterro a cargas:** a fraca resistência dos aterros, em particular a cargas concentradas, desaconselha a instalação de comportas (constituídas por um órgão metálico apoiado em maciços de betão) para controlar a entrada do escoamento no descarregador, quando este se situa sobre o aterro.
- **Erodibilidade do aterro:** os aterros, em particular os de solos, são bastante susceptíveis à erosão superficial provocada pelo escoamento sobre o aterro.
- **Percolação através do aterro:** o escoamento por percolação através do aterro da barragem é devido, quer a fugas através das juntas de estanquidade, quer a fugas através do núcleo da barragem. Este escoamento de percolação através do aterro pode provocar subpressões significativas na base de descarregadores impermeáveis assentes sobre o aterro (e.g. descarregadores de betão).

2. BREVE DESCRIÇÃO DOS DESCARREGADORES ANALISADOS

2.1 - Descarregador de betão armado moldado *in situ*

2.1.1 - Características do descarregador

Tal como a generalidade dos descarregadores em canal implantado numa das encostas, os descarregadores em canal de betão armado sobre o corpo de barragens de aterro são constituídos pelas seguintes estruturas principais:

- soleira descarregadora;
- canal;
- estrutura de dissipação de energia.

A soleira descarregadora e o canal são construídos em betão armado, normalmente executado *in situ*. A estrutura de dissipação de energia é, habitualmente, constituída por uma bacia de dissipação de energia por ressalto. Em alternativa à bacia de dissipação de energia, sempre que as características do leito o permitam, o canal pode ser dotado de um trampolim de saída, sendo a dissipação de energia efectuada no leito. Para exemplificar este tipo de descarregador, apresenta-se na Figura 1 o perfil longitudinal e a planta do descarregador da barragem de Lebna.

Para permitir a superação dos principais problemas decorrentes da construção de descarregadores sobre aterros, foram desenvolvidas algumas soluções técnicas e disposições construtivas especiais. Em ALBERT e GAUTIER (1992) são indicadas as disposições mais importantes que seguidamente se resumem:

a) Soleira descarregadora

Com o objectivo de impedir o escoamento de percolação ao longo da superfície de contacto entre o aterro e a soleira de betão do descarregador, deverá ser prevista a construção de um corta-águas. No caso de barragens de perfil homogéneo, a soleira do descarregador deverá estar em contacto com o dreno principal da barragem, de forma a encaminhar para esse dreno eventuais escoamentos de percolação na fundação da soleira. Deverão ser tomadas também precauções especiais para evitar a percolação entre os muros laterais da soleira e o aterro (e.g. construção de muros corta-águas).

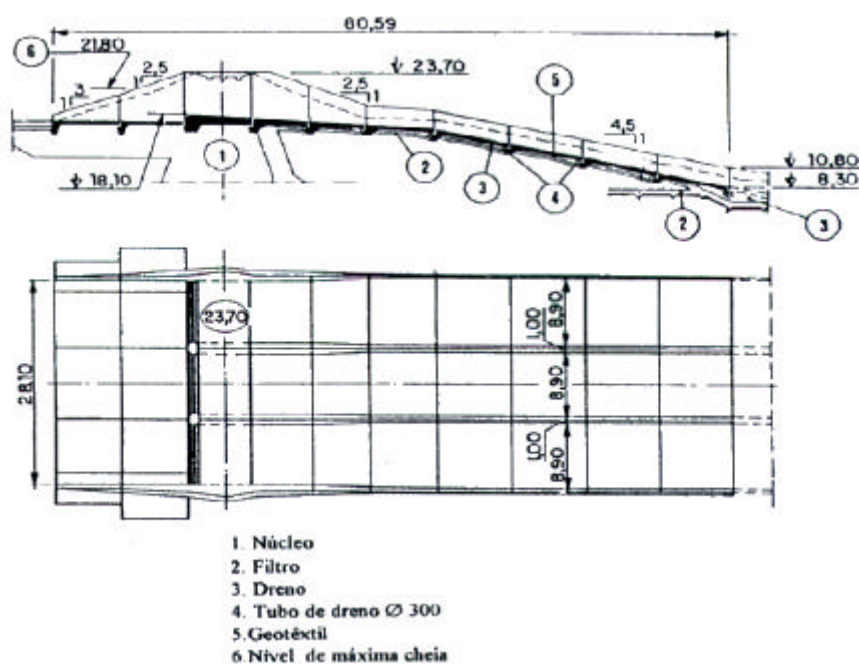


Figura 1 - Barragem de Lebna, Tunísia. Perfil longitudinal e planta do descarregador (adaptado de ALBERT e GAUTIER, 1992).

b) Canal

O canal deverá ser constituído por elementos de betão armado sucessivamente apoiados nos elementos imediatamente a jusante, de forma a assegurar a continuidade do escoamento na eventualidade de ocorrerem assentamentos diferenciais.

Para evitar a percolação através das juntas entre os elementos de betão, são colocadas membranas de estanquidade instaladas transversalmente a cada junta. Os apoios devem assegurar uma boa articulação entre as lajes de forma a permitir uma resposta adequada a assentamentos do aterro, limitando a abertura da junta no caso de a laje de montante sofrer um assentamento em relação à laje de jusante que provoque uma rotação em torno do apoio.

Para reduzir os movimentos relativos das lajes, são colocados varões de aço transversais às juntas entre lajes consecutivas de forma a solidarizar os movimentos entre esses elementos. A colocação dos varões permite aumentar a resistência a esforços transversais e de tracção que incidam sobre a zona da junta.

Não deverão ser consideradas juntas longitudinais no canal do descarregador construído sobre aterros em que se prevejam assentamentos diferenciais importantes. Esta precaução visa evitar que, no caso dos perfis de estanquidade se romperem, componentes da velocidade do escoamento perpendiculares à soleira do canal possam induzir subpressões nas zonas adjacentes às juntas (ALBERT e GAUTIER, 1992). Em canais com uma largura demasiado grande para não se considerarem juntas longitudinais, pode subdividir-se o canal em vários canais paralelos de largura inferior.

Ao longo da fundação do canal, deverá ser instalado um sistema de drenagem eficaz, que permita assegurar o escoamento dos caudais previstos e, assim, a integridade da obra.

2.1.2 - Exemplos de aplicação

Embora este tipo de descarregador tenha sido inicialmente adoptado apenas para barragens de pequena altura e reduzidos caudais de dimensionamento, desde há cerca de duas décadas que o seu campo de aplicação tem vindo a alargar-se significativamente com a sua construção em barragens com altura até 50 m e caudais de dimensionamento de várias centenas de m^3/s . No quadro seguinte apresentam-se alguns exemplos de aplicação.

Quadro 1
Descarregadores de betão armado moldado *in situ*. Exemplos de aplicação.

Barragem	País	Altura (m)	Caudal (m^3/s)	Observações
Chamboux	França	15	15	-
Meeks Cabin	EUA	46	180	9 m de largura e H=3,7 m
Regadera	EUA	-	700	largura entre 120 e 90 m, H=1,50 m
Lebna	Tunísia	22	300	24,9 m de largura e H=3,7 m

2.2 - Descarregador de gabiões com soleira em degraus

2.2.1 - Características do descarregador

Os descarregadores de gabiões com soleira em degraus são constituídos pelas seguintes estruturas principais:

- soleira descarregadora;
- canal com soleira em degraus;
- estrutura de dissipação de energia.

Para descarregadores sobre o corpo de barragens de aterro, a soleira ou crista descarregadora é normalmente constituída por uma estrutura de betão construída *in situ*, semelhante à soleira do descarregador da barragem de Mouilah, que é apresentado como exemplo deste tipo de descarregador (Figura 2).

A soleira do descarregador deverá ser dimensionada de forma a assegurar que o escoamento passe em regime crítico sobre o primeiro degrau do descarregador, controlando, assim, o escoamento à entrada do canal.

A soleira do canal é constituída por uma sucessão de pequenas quedas definidas pela disposição dos gabiões em degraus. A relação entre a altura e o comprimento dos degraus é, em geral, igual ao declive do paramento de jusante da barragem.

A construção de descarregadores em degraus permite dissipar parte significativa da queda bruta ao longo do canal em degraus, o que permite reduzir a dimensão da bacia de dissipação (10 a 30% do comprimento segundo PEYRAS *et al*, 1991).

A utilização de gabiões na construção de descarregadores de degraus permite aumentar a dissipação de energia devido à maior rugosidade da superfície dos degraus e, fundamentalmente, à infiltração do escoamento através dos vazios existentes entre os blocos de enrocamento que constituem os gabiões. O escoamento que aí se estabelece intersecta o escoamento sobre os gabiões dando origem a dissipação de energia adicional (STEPHENSON, 1979).

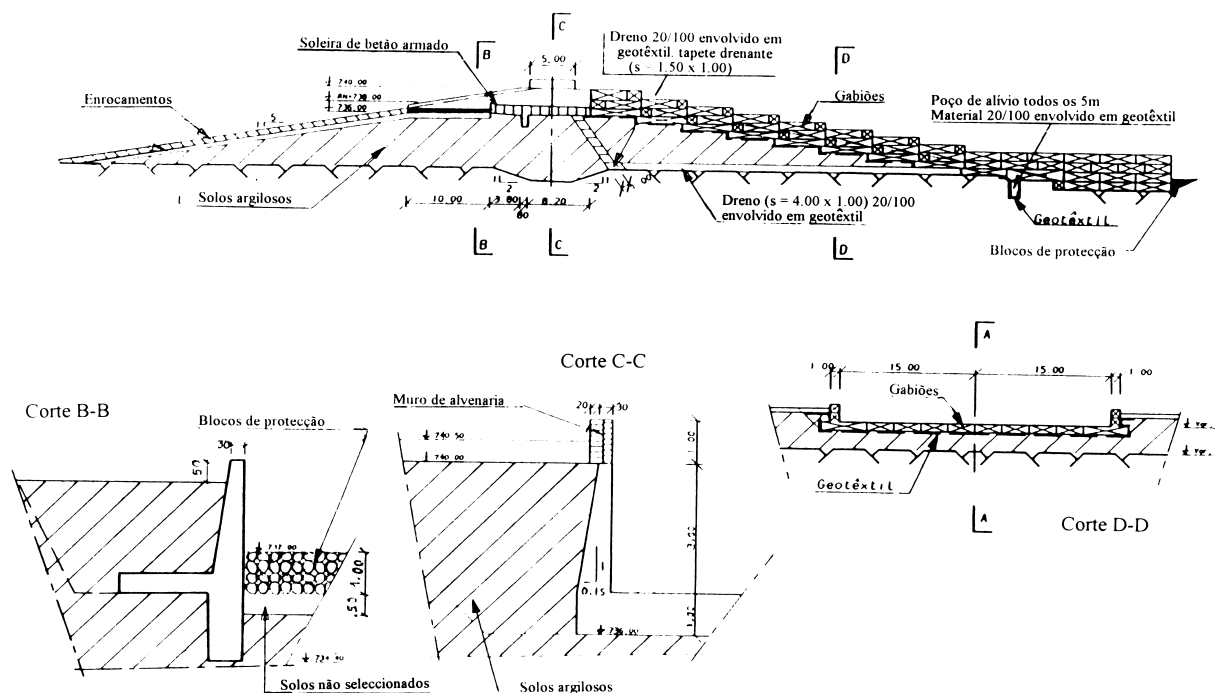


Figura 2 - Barragem de Mouilah, Marrocos. Corte longitudinal e pormenores (adaptado de ICOLD, 1994).

Sempre que a energia residual do escoamento na extremidade de jusante do canal e as características da zona de restituição o justifiquem, será construída uma estrutura de dissipação de energia. Esta estrutura é, no caso geral, constituída por uma bacia de dissipação por ressalto construída em gabiões.

2.2.2 - Campo de aplicação

Segundo PEYRAS *et al* (1991), os descarregadores de gabiões com soleira em degraus poderão ser dimensionados para caudais específicos até $3 \text{ m}^2/\text{s}$.

Segundo STEPHENSON (1991), a utilização de gabiões em descarregadores deverá ser limitada a escoamentos com velocidade média inferior a 4 m/s. Para valores superiores, os gabiões correm o risco de se tornarem estruturalmente instáveis devido a fenómenos de erosão e fadiga.

Identificados os condicionamentos deste tipo de descarregador, pode concluir-se que a sua construção é especialmente indicada para descarregadores com caudais específicos reduzidos.

A construção de descarregadores de gabiões com soleira em degraus encontra-se bastante divulgada, em particular em açudes galgáveis construídos para correcção torrencial de linhas de água.

Embora em menor número, a construção de descarregadores de gabiões com soleira em degraus tem sido utilizada em barragens de aterro. Destaca-se novamente o descarregador da barragem de Mouilah, cujos pormenores se apresentaram na Figura 2.

2.3 - Descarregador de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus

2.3.1 - Características do descarregador

Os descarregadores de blocos de betão prefabricados são constituídos pelas seguintes estruturas principais:

- soleira descarregadora;
- canal com soleira em degraus;
- estrutura de dissipação de energia.

A soleira descarregadora é normalmente constituída por uma estrutura de betão construída *in situ*.

O canal desenvolve-se sobre o corpo da barragem e é constituído por filas sucessivas de blocos prefabricados de betão, dispostos como se mostra na Figura 3. Na ex-USSR foram efectuadas várias experiências em protótipo com diferentes configurações de blocos (PRAVDIVETS e BRAMLEY, 1989). Os estudos desenvolvidos permitiram concluir que os blocos em forma de cunha apresentam melhor comportamento (BAKER, 1994), aumentando a estabilidade do descarregador.

Os blocos em forma de cunha, dispostos em degraus com sobreposição, mobilizam forças hidrodinâmicas decorrentes do impacto do escoamento no bloco para aumentar a estabilidade do conjunto.

Na base dos blocos é colocada uma camada de brita (camada de drenagem) que funciona como dreno, desempenhando papel predominante na estabilidade do canal. Entre o aterro da barragem e a camada de drenagem é colocado um filtro geotêxtil para evitar a erosão do corpo da barragem através da perda dos elementos finos.

As dimensões dos blocos são definidas em função do caudal específico de dimensionamento e do declive do canal.



Figura 3 - Barragem de Wadi Sahalnawt, Omã. Descarregador auxiliar ($q=5,1 \text{ m}^2/\text{s}$). a) vista geral; b) fase de construção; c) degraus (extraído de MELDRUM, 1995).

A disposição dos blocos em degraus permite criar uma macrorugosidade responsável por um aumento significativo da dissipação de energia (perda de carga) ao longo do descarregador. Assim, a utilização deste tipo de descarregador, permitirá reduzir as dimensões da estrutura de dissipação de energia a implantar na base do canal. Para construção desta estrutura, foram estudados três tipos de soluções (HEWLETT e BAKER, 1992):

- construir um bloco deflector, em forma de trampolim, de grandes dimensões (solução muito divulgada nos descarregadores construídos na ex-URSS);
- construir a bacia de dissipação em blocos de betão prefabricados, mas de maior espessura;
- construir uma bacia de dissipação por ressalto.

2.3.2 – Exemplos de aplicação

O campo de aplicação dos descarregadores de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus poderá ser generalizado, praticamente, a todos os tipos de barragens de terra, não havendo limitações especiais que inviabilizem a sua utilização. Na ex-USSR foram realizados, com sucesso, ensaios em que se utilizaram caudais específicos até $60 \text{ m}^2/\text{s}$.

As experiências de utilização de descarregadores de blocos na ex-USSR mostraram, segundo HEWLETT e BAKER (1992), que o custo destes descarregadores é potencialmente competitivo quando comparado com outros tipos de descarregadores, como sejam: o descarregador clássico em canal de betão armado betonado *in situ* e o descarregador de enrocamento.

No Quadro 2 apresentam-se exemplos de várias barragens com descarregadores de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus.

Quadro 2

Descarregadores de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus. Exemplos de aplicação.

Barragem e ano de conclusão	País	Altura (m)	Caudal Específico (m ² /s)	Observações
Dnieper, 1976	ex-URSS	-	60	$\alpha=8,75^\circ$, degraus horizontais
Sosnovski, 1978	ex-URSS	11	3,3	Soleira com 12 m de largura
Lukhovitsky, 1978, 1980 e 1981	ex-URSS	11, 11,5 e 7,5	3,0 3,3 e 2,9	Três descarregadores com soleira com 12, 12 e 7,5 m de largura
Transbaikal, 1986	ex-URSS	9,4	20	Soleira com 110 m de largura, $\alpha=14^\circ$
Brushes Clough, 1993	Reino Unido	-	1,83	Soleira com 2 m de largura, (1:3) (V:H)
Wadi Sahalnawt, 1994	Omã	-	5,1	Cerca de 1 km de largura

α - inclinação do canal do descarregador.

2.4 - Descarregador sobre terra armada

2.4.1 - Características do descarregador

Os descarregadores sobre barragens de terra armada apresentam características que decorrem directamente desta técnica de construção. O descarregador é constituído por uma soleira descarregadora de betão construída sobre o paramento de jusante vertical, a que se segue uma queda que corresponde à altura da barragem nessa secção. A dissipação de energia ocorre na base da queda devido ao impacto com uma soleira de betão ou com o fundo rochoso.

O princípio de funcionamento da terra armada consiste em sustentar o aterro com uma parede de suporte, normalmente vertical, constituída por placas de betão que se encontram ancoradas por armaduras de aço dispostas horizontalmente no seio do aterro. As armaduras (varões de aço) funcionam por atrito com a zona do aterro que se situa atrás da zona activa, causadora do impulso activo sobre a parede.

A soleira do descarregador deverá ser dimensionada de forma a assegurar uma elevada componente horizontal da velocidade do escoamento à saída da soleira, afastando o local de queda do jacto do paramento em terra armada e evitando, desta forma, a erosão na base deste.

Exemplificando este tipo de descarregador, apresenta-se na Figura 4 o perfil transversal do descarregador e vista de jusante da barragem de Vallon de Bîmes.

A técnica da terra armada poderá ser apenas aplicada na construção de parte da barragem, nomeadamente, da zona do descarregador, obtendo, assim, benefícios económicos resultantes da construção deste órgão integrado no corpo da barragem.

2.4.2 – Exemplos de aplicação

Segundo ALBERT e GAUTIER (1992), a altura máxima admissível para aterros construídos em terra armada é de 40 m e o caudal específico de 12 m²/s, utilizado na barragem de Taylor Draw, estará próximo do máximo admissível

No quadro seguinte apresenta-se uma breve inventariação das barragens com descarregador de cheias construído em terra armada.

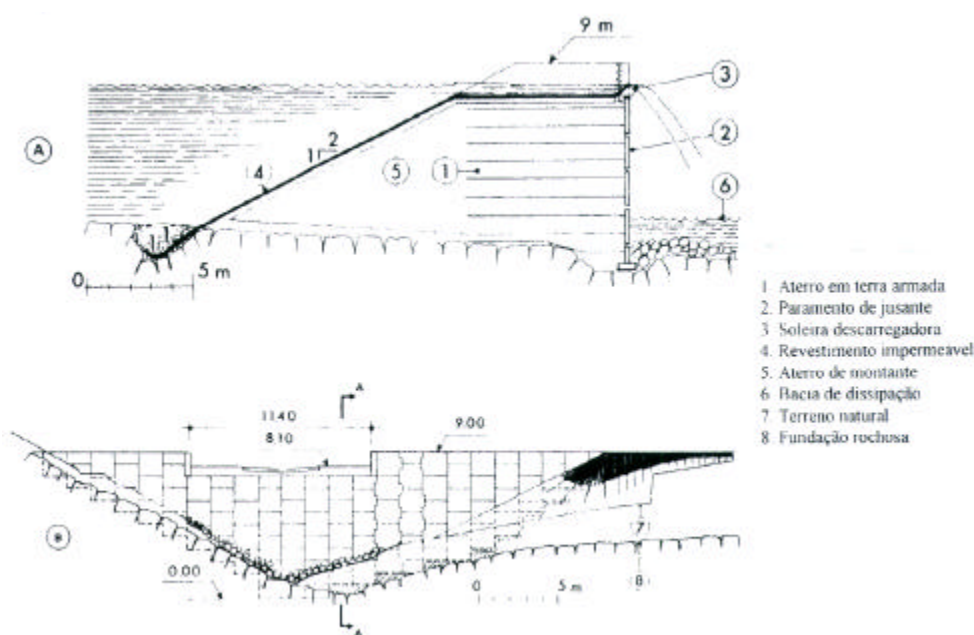


Figura 4 - Barragem de Vallon de Bîmes. a) Perfil transversal pelo descarregador; b) Vista de jusante da barragem (adaptado de ICOLD, 1993).

Quadro 3
Descarregadores sobre terra armada. Exemplos de aplicação.

Barragem	País	Altura Máxima (m)	Volume construído em terra armada (10^3 m^3)	Ano de Conclusão	Observações
Vallon des Bîmes	França	9	2,5	1973	Totalidade da barragem construída em terra armada
Ance du Nord	França	4,5	0,6	1974	“
Maraval	França	7	2	1976	“
Woodhollow Drive	EUA	10	4,8	1979	“
Pueblo Viejo	Republica Dominicana	10	4,9	1980	“
Trepanier	Canadá	4,3	2	1980	“
Taylor Draw	EUA	22,5	50,5	1984	Apenas o descarregador construído em terra armada

3 – DIMENSIONAMENTO TÉCNICO-ECONÓMICO

3.1 - Considerações iniciais

Com o objectivo de avaliar as vantagens económicas da construção de descarregadores não convencionais, em RELVAS (1997) desenvolveu-se um programa de cálculo automático que permite o pré-dimensionamento de descarregadores não convencionais dos três primeiros tipos analisados.

Com base nos dados de entrada (selecção do tipo de descarregador, caudal de dimensionamento, NPA, NJ, carga hidráulica máxima sobre a crista e perfil transversal do

aterro) o programa executa um ciclo de dimensionamento hidráulico em que se obtém as principais dimensões do descarregador. Para obter a estimativa de custo, são medidas as principais quantidades de trabalho às quais se aplica um conjunto de preços unitários.

Com base naquela análise bibliográfica, elaborou-se um programa de cálculo automático que permite efectuar, para diferentes dados de base, o dimensionamento de três tipos de descarregadores não convencionais, ao nível de estudo prévio, e determinar para cada um deles a solução que conduzirá a um menor custo. Para tal, o programa pré-dimensiona diversas soluções para cada tipo de descarregador e utiliza um conjunto de preços unitários das principais quantidades de trabalho relativas aos descarregadores considerados.

Devido a uma concepção substancialmente diferente da dos restantes descarregadores analisados, considerou-se prematura a inclusão do descarregador sobre terra armada no programa, que poderá ser encarada em fase posterior do desenvolvimento do programa, e possibilitando então uma análise conjunta com os restantes descarregadores.

Ao programa de cálculo automático desenvolvido, atribuiu-se a designação de DESNOC (**DESC**arregadores **NãO** Convencionais).

O programa foi desenvolvido em linguagem de programação C e compreende três módulos ou sub-programas, correspondendo cada módulo a um dos tipos de descarregador não convencionais considerados.

Para simplificação de posteriores referências, adoptam-se as seguintes designações para os descarregadores considerados:

- **Tipo I:** de betão armado moldado *in-situ*.
- **Tipo II:** de gabiões com soleira em degraus.
- **Tipo III:** de blocos de betão prefabricados com soleira em degraus.

O algoritmo de cálculo do programa DESCNOC foi convertido em aplicação para o ambiente de AutoCad (ACAD). A conversão em aplicação ACAD teve por objectivo beneficiar das potencialidades gráficas desse ambiente, que apresenta ainda a vantagem de ser uma das ferramentas de desenho assistido por computador mais divulgadas.

3.2 - Aplicação da metodologia proposta a alguns casos de estudo

Conforme referido inicialmente, pretendeu-se comparar técnica e economicamente a construção de descarregadores não convencionais, dos tipos considerados no programa DESCNOC, com descarregadores já projectados ou construídos. Para tal, seleccionaram-se alguns casos de estudo que correspondem a casos de barragens em construção (Enxoé, HP (1994)) ou com projecto recente (Foz do Guadiana, HP (1995^a) e Ribeira de Oeiras, HP (1995^b)).

Os casos de estudo analisados correspondem a três descarregadores com algumas características principais bem diferenciadas:

- **Foz do Guadiana:** descarregador em canal lateral de betão armado com caudal de dimensionamento relativamente reduzido (24 m³/s);
- **Enxoé:** descarregador em canal lateral, não convencional, em degraus de betão e

- gabiões com caudal de dimensionamento relativamente reduzido ($33,4 \text{ m}^3/\text{s}$);
- **Ribeira de Oeiras:** descarregador em canal lateral de betão armado com caudal de dimensionamento elevado ($291 \text{ m}^3/\text{s}$).

A altura das barragens, nas secções de implantação dos descarregadores não convencionais varia entre cerca de 16,5 m (barragem do Enxoé) e 21,0 m (barragem da Ribeira de Oeiras).

Nas Figuras 5, 6 e 7 é apresentado um esquema em planta das barragens e dos respectivos órgãos hidráulicos, com destaque para o descarregador de cheias projectado. Nessas figuras está também localizado o eixo proposto para o canal dos descarregadores não convencionais analisados.

Para a elaboração da estimativa de custo dos descarregadores não convencionais pré-dimensionados pelo programa DESCNOC, consideraram-se os seguintes custos unitários:

- Betão armado B25 e A400 em lajes e muros, incluindo cofragens. : $60\,000\$/\text{m}^3$
- Execução de gabiões. : $12\,000\$/\text{m}^3$
- Filtro geotêxtil não tecido. : $750\$/\text{m}^3$
- Enrocamento colocado na soleira de aproximação. : $5\,000\$/\text{m}^3$
- Camada de brita colocada na base do canal. : $3\,000\$/\text{m}^3$
- Escavação em terreno natural (solos) a jusante do canal. : $1\,000\$/\text{m}^3$

O custo dos blocos prefabricados de betão do descarregador tipo III foi estimado através de uma consulta realizada a uma empresa da especialidade, visto que, por não se conhecerem obras em Portugal em que se tenha utilizado este tipo de blocos, não seria fácil estimar o seu custo. Os elementos fornecidos permitiram obter a seguinte recta de custos:

$$\text{Preço_unitário} = 1721,95 + 11,67 \times \text{Peso_unitário} \quad (1)$$

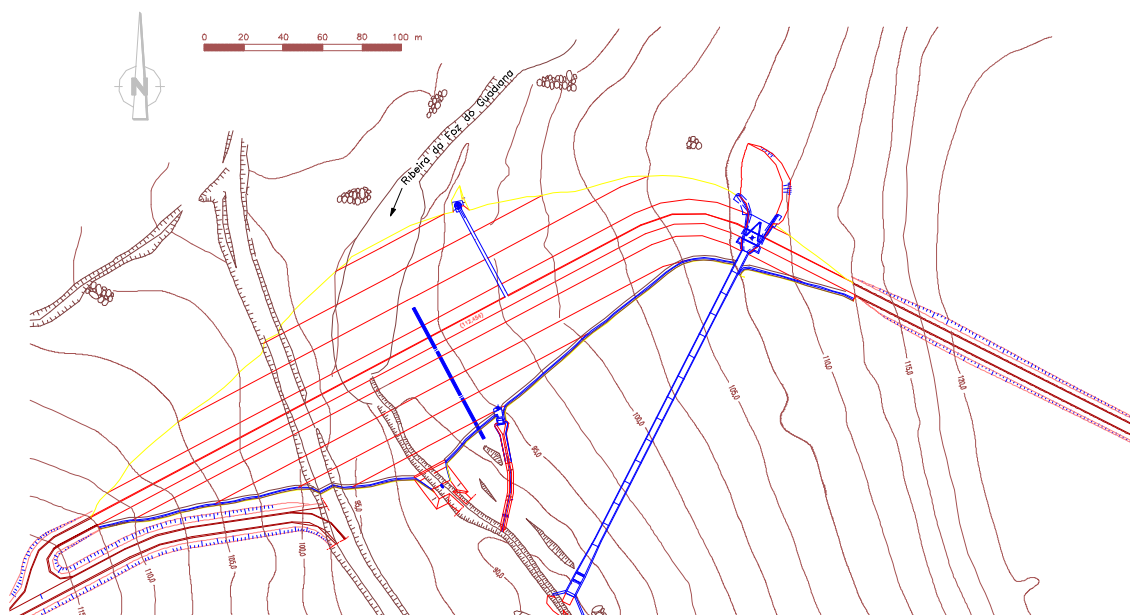


Figura 5 - Barragem da Foz do Guadiana. Planta (adaptado de HP, 1995^a).

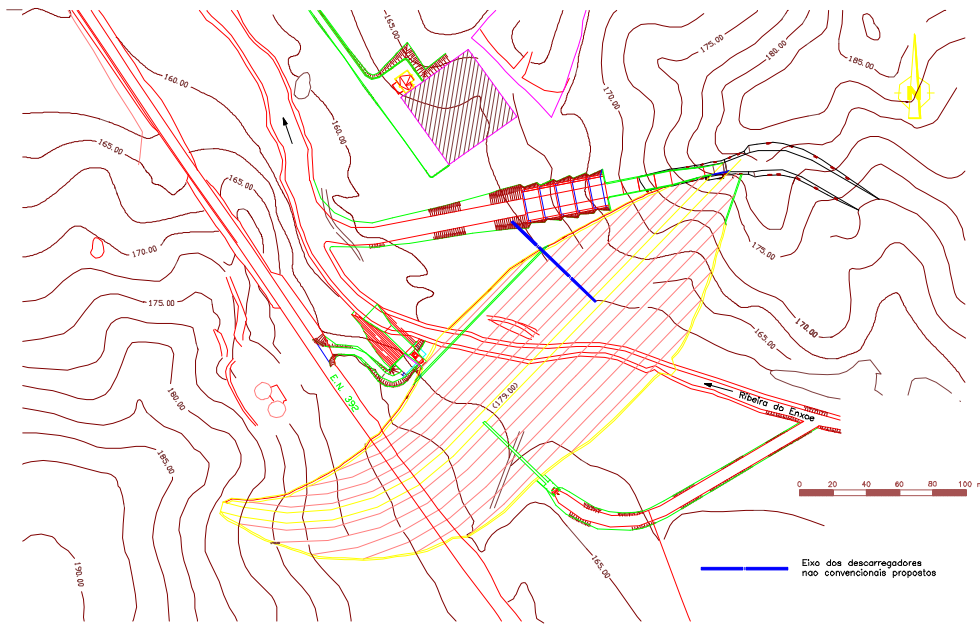


Figura 6 - Barragem do Enxoé. Planta (adaptado de HP, 1994).

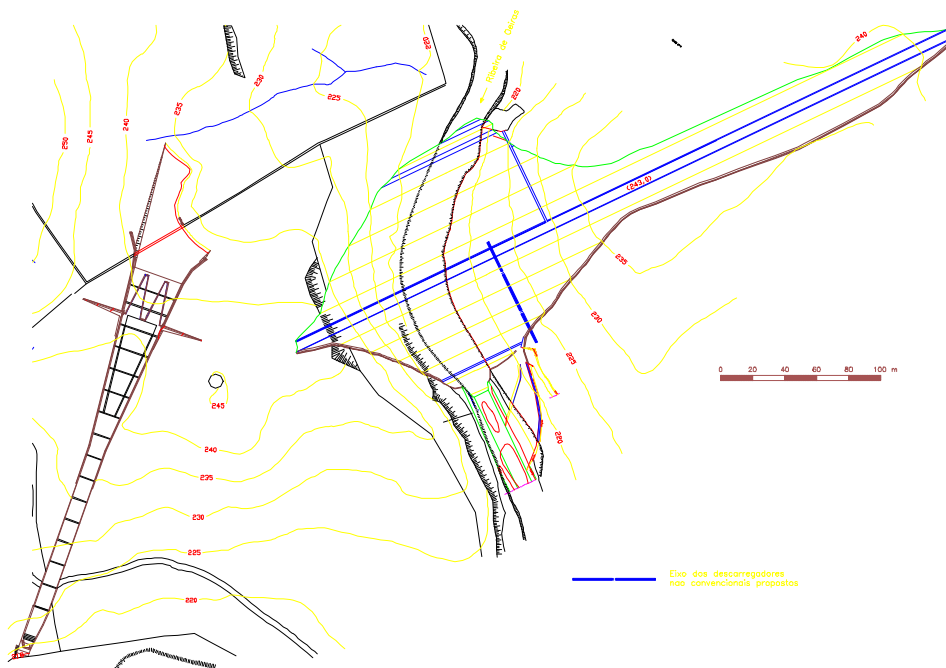


Figura 7 - Barragem da Ribeira de Oeiras. Planta (adaptado de HP, 1994).

No Quadro 4 sintetizam-se os resultados da aplicação do programa DESCNOC aos referidos casos de estudo.

Quadro 4
Resultados da aplicação da metodologia proposta aos casos de estudo.

Barragem	Custo (contos) dos descarregadores e diferença de custo (%) face ao projectado			
	Projectado	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Foz do Guadiana	83 107	42 205 (-49%)	35 953 (-57%)	28 503 (-66%)
Enxoé	91 496	57 259 (-37%)	55 328 (-39%)	32 225 (-65%)
Ribeira de Oeiras	252 612	272 642 (+8%)	348 434 (+38%)	126 784 (-50%)

Os resultados obtidos conduzem às seguintes conclusões:

- Para caudais de dimensionamento reduzidos, os descarregadores não convencionais estudados apresentam custos significativamente inferiores em relação aos descarregadores em canal de betão armado implantado numa encosta. O canal do descarregador da barragem da Foz do Guadiana tem cerca de 190 m, enquanto o comprimento do canal dos descarregadores não convencionais analisados terá apenas cerca de 60 m. A construção do descarregador sobre o corpo da barragem deverá permitir, na maioria dos casos, e em particular em vales abertos, reduzir substancialmente o comprimento do canal.
- Os custos de descarregadores não convencionais dos tipos estudados deverão, em geral, ser inferiores aos custos de descarregadores não convencionais de degraus, construídos em canal lateral ao corpo da barragem, devido também ao previsível maior comprimento destes.
- Para caudais de dimensionamento elevados, os descarregadores dos tipos I e II apresentam custos superiores em comparação com os custos de descarregadores em canal lateral de betão armado, mesmo para canais laterais com comprimento bastante superior (como na Ribeira de Oeiras). Tal deve-se, no caso do descarregador tipo II, à grande largura do canal do descarregador (para assegurar um reduzido caudal específico) para caudais de dimensionamento elevados (na barragem da ribeira de Oeiras teria 217,5 m). Este facto poderá mesmo inviabilizar a construção destes tipos de descarregadores, caso não exista ao longo do comprimento da barragem um troço com dimensão suficiente para a sua implantação.
- No caso do descarregador tipo I, verifica-se que a estrutura inicial apresenta custos muito significativos (na barragem da Ribeira de Oeiras representaria cerca de 40% do custo total), em grande parte responsáveis pelo custo final desta solução. Assim, é previsível que, caso se adopte uma soleira descarregadora em labirinto (semelhante à adoptada no descarregador projectado para a barragem da Ribeira de Oeiras) se obtenha uma redução significativa do custo da estrutura inicial e, conseqüentemente, do descarregador.
- Em todos os casos de estudo analisados, o descarregador tipo III apresenta custos significativamente inferiores, cerca de 50 a 60 % do custo da solução projectada. Esta ordem de grandeza de redução de custos é semelhante à verificada na construção da barragem de Sosnovski, na ex-URSS, em que se verificou uma redução de custos de 60% em relação ao custo da solução convencional (canal lateral de betão) inicialmente proposta.

4 - PROPOSTAS PARA PROSSEGUIMENTO DOS ESTUDOS

De acordo com o anteriormente exposto, verificou-se que os descarregadores não convencionais analisados poderão constituir alternativas economicamente mais vantajosas

face à generalidade dos descarregadores clássicos. Em relação à sua execução e comportamento, a pesquisa bibliográfica realizada permitiu verificar que, apesar dos descarregadores analisados se encontrarem ainda em fase de desenvolvimento, existem já vários exemplos construídos, cujo comportamento tem sido satisfatório.

Neste contexto, referem-se seguidamente os tópicos que se julgam mais relevantes para o desenvolvimento de um programa de investigação sobre descarregadores não convencionais sobre barragens de aterro que permita a sua aplicação a médio prazo:

- estudo de soleiras com degraus que permitam o escoamento em regime do tipo em quedas sucessivas com formação do ressalto hidráulico; este tipo de soleiras permitirá assegurar velocidades do escoamento moderadas possibilitando a construção dos degraus em materiais mais económicos mas menos resistentes (*e.g.* gabiões ou colchões Reno);
- desenvolvimento de modelos experimentais para estudo de descarregadores de blocos prefabricados de betão; considera-se que para a sua divulgação e posterior aplicação, seria conveniente iniciar um programa de investigação que permitisse aprofundar, em modelo físico e num protótipo experimental, o estudo deste tipo de descarregador.
- para a redução de custos do descarregador tipo I, estudo da construção de uma soleira descarregadora em labirinto em substituição da soleira espessa considerada;
- inclusão no programa DESCNOC de outros tipos de descarregadores não convencionais, nomeadamente do descarregador em queda livre construído sobre terra armada;
- para melhor aferição do programa DESCNOC, efectuar a sua aplicação a barragens já projectadas ou construídas com descarregadores dos tipos analisados no programa.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERT, R., GAUTIER, R. - “Evacuaters fondés sur remblai”. La Houille Blanche, nº 2/3, 1992, p. 147-157.
- BAKER, R. - “Using Pre-Cast Concrete Blocks to Prevent Erosion of Dams and Weirs”. HRW, Verão 1994, p. 40-48.
- HEWLETT, H.W.M., BAKER, R. - “The use of stepped blocks for dam spillways”. Proceedings of the 7th conference of the British Dam Society held at the University of Stirling, 24-27 Junho. Water Resources and Reservoir Engineering. Thomas Telford, London, 1992, p.183-190.
- HP - Aproveitamento Hidráulico do Enxoé. Revisão do Projecto. Projecto para Concurso. Volume 1 - Barragem, 1994.
- HP - Aproveitamento Hidroagrícola da Foz do Guadiana. do Projecto. Projecto de Execução. Volume 2 - Barragem e órgãos hidráulicos, 1995^a.
- HP - Aproveitamento Hidráulico da Ribeira de Oeiras. Projecto de Execução. Volume 2 - Barragem e órgãos hidráulicos, 1995^b.
- ICOLD - “Reinforced rockfill and reinforced fill for dams. State of the art”. Boletim 89, 1993.
- ICOLD - “New concepts in spillway design”. Boletim para o Subcomité nº 1 do Comité de Hidráulica de Barragens do International Commission on Large Dams, capítulo 4, Setembro 1994.
- MELDRUM, J. - “Recharging water supplies in Oman”. International Water Power & Dam Construction, Vol. 47, nº 6, Junho 1995, p. 26-28.

MOPTC - Regulamento de Pequenas Barragens. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, 1993.

PEYRAS, L., ROYET, P., DEGOUTTE, G. - "Ecoulement et dissipation sur les déservoirs en gradin de gabions". La Houille Blanche, nº 1, 1991, p. 37-47.

PRAVDIVETS, Y. P., BRAMLEY, M. E. - "Stepped protection blocks for dam spillways". Water Power & Dam Construction, Vol. 41, nº 7, Novembro 1989, p. 49-56.

RELVAS, A. T. - *Descarregadores de Cheias Não Convencionais sobre Barragens de Aterro*. Dissertação para a obtenção de Grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos pela Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa 1997.

STEPHENSON, D. - "Gabion energy dissipators". 13th Congress ICOLD, Nova Deli 1979, R3, Q50.

STEPHENSON, D. - "Energy dissipation down stepped spillways". Water Power & Dam Construction, Vol. 43, nº 9, Setembro 1991, p. 27-30.