

Manual sobre pequenas barragens de terra

Guia para a localização, projecto e construção



Fotografia:

Capa, Capítulos 4, 5 & 6: Tim Stephens

Capítulos 1, 3 & 9: Jacob Burke

Capítulos 2 & 10: FAO/Roberto Faidutti

Capítulos 7 & 8: Egle DeAngelis

Cópias de publicações da FAO podem ser pedidas para:

SALES AND MARKETING GROUP

Office of Knowledge Exchange, Research and Extension

Food and Agriculture Organization of the United Nations

Viale delle Terme di Caracalla

00153 Rome, Italy

E-mail: publications-sales@fao.org

Fax: (+39) 06 57053360

Web site: <http://www.fao.org>

Manual sobre pequenas barragens de terra

Guia para a localização, projecto e construção

PUBLICAÇÃO
DA FAO
SOBRE
REGA E
DRENAGEM

64

por

Tim Stephens

Divisão Centro de Investimento

The designations employed and the presentation of material in this information product do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) concerning the legal or development status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. The mention of specific companies or products of manufacturers, whether or not these have been patented, does not imply that these have been endorsed or recommended by FAO in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

The views expressed in this information product are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of FAO.

ISBN 978-92-5-906547-3

All rights reserved. FAO encourages reproduction and dissemination of material in this information product. Non-commercial uses will be authorized free of charge, upon request. Reproduction for resale or other commercial purposes, including educational purposes, may incur fees. Applications for permission to reproduce or disseminate FAO copyright materials, and all queries concerning rights and licences, should be addressed by e-mail to copyright@fao.org or to the Chief, Publishing Policy and Support Branch, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.

Índice

Agradecimentos	vi
 Acrónimos, abreviaturas e símbolos	vii
1 Introdução	1
2 Antecedentes	3
2.1 Introdução	5
2.2 Aspectos de segurança e âmbito do manual	5
2.3 Barragens para irrigação	6
2.4 Participação da comunidade	8
2.5 Aspectos sociais e de género	9
2.6 O manual sobre pequenas barragens do USBR	10
3 Barragens de terra	11
3.1 Introdução	13
3.2 Barragens de aterro homogéneo	14
3.3 Barragens zonadas	15
3.4 Trincheira de vedação e núcleo	16
4 Terraplanagem	19
4.1 Pesquisas	21
4.2 Solos	24
4.3 Análises mecânicas	26
4.4 Testes laboratoriais	26
4.5 Áreas de empréstimo	27
5 Seleção do local e pesquisas preliminares	29
5.1 Introdução	31
5.2 Fotografia aérea	31
5.3 Visitas de campo	32
5.4 Levantamentos preliminares	33
5.5 Rendimento da bacia hidrográfica	33
5.6 Capacidade de armazenamento	33
5.7 Volume preliminar da terraplanagem	34
5.8 Área da bacia hidrográfica e dimensões do descarregador/vertedor	34
5.9 Picos de cheia	36
5.10 Cálculo da cheia máxima provável (CMP) segundo o Método Racional	37
5.11 Estimativa do armazenamento necessário	39
6 Projecto detalhado	41
6.1 Introdução	43
6.2 Levantamento topográfico	43
6.3 Revisão da capacidade de armazenamento	44
6.4 Revisão do volume da terraplanagem	44
6.5 Plantas do projecto	47
6.6 Estimativa dos custos de construção da barragem	48

6.7	Estruturas de descarga	48
6.8	Aterro	53
6.9	Folga/borda livre	53
6.10	Profundidade e espessura do núcleo	53
6.11	Largura do coroamento ou crista/soleira	54
6.12	Margem de assentamento	54
6.13	Enrocamento de pedra e muros-guia	54
6.14	Percolação	55
6.15	Filtros e drenos	55
6.16	Factores ambientais	56
7	Construção da barragem	59
7.1	Marcação do local de construção	61
7.2	Activos Fixos Tangíveis	63
7.3	Equipamento e técnicas de compactação	63
7.4	Limpeza e preparação do local	65
7.5	Assentamento	65
7.6	Descarregador/vertedor	66
7.7	Construção do aterro	66
8	Casos especiais	69
8.1	Introdução	71
8.2	Barragem de terra sobre fundação de rocha	71
8.3	Barragem de terra utilizando materiais de baixa qualidade	72
8.4	Aterro já existente com problemas de percolação	72
8.5	Barragens com descarregador de cheia central em pedra	72
8.6	Barragens construídas com bulldozer	73
8.7	Barragens em áreas de baixa pluviosidade	74
8.8	Estimar a capacidade de uma barragem aumentada em altura	75
9	Obras de acabamento	77
9.1	Introdução	79
9.2	Exigências de controlo	79
9.3	Muros-guia	80
9.4	Outros trabalhos	80
9.5	Procedimentos de manutenção	80
9.6	Árvores e arbustos	83
9.7	Erosão	84
9.8	Térmitas (cupim, salalé, muchém) e tocas de animais	85
10	Obras de reparação	87
10.1	Introdução	89
10.2	Falhas estruturais	89
10.3	Falhas não estruturais	93
	Bibliografia	95
	Glossário	96
	Anexo 1	
	Directrizes de aprovisionamento para preparação de concurso público, avaliação e adjudicação de contrato	101

Anexo 2		
	Análise de custo-benefício	109
Anexo 3		
	Produção de peixe em barragens agrícolas	112
Anexo 4		
	Exemplos de plantas padrão	
	Termos técnicos utilizados nas plantas padrão	115

Agradecimentos

A preparação deste livro foi financiada pela Divisão Centro de Investimento e a Divisão de Terra e Água da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), inicialmente através de fundos do Banco Mundial para a “Estratégia Nacional de Apoio aos Recursos Hídricos”, na Zâmbia.

O autor gostaria de agradecer o apoio recebido de muitos colegas que contribuíram com valiosos conhecimentos, conselhos, críticas e comentários de carácter editorial assim como com fotografias. O M. Henri Tardieu é recordado com gratidão pela sua revisão técnica. Agradeço também aos profissionais do “Dew Point DFID Development Resources Centre for Environment”, e do “Water and Sanitation” por terem facilitado a revisão do manual pelos Professores R. Carter e M. Hann, aos colegas do Centro de Investimento e da Divisão de Terra e Água da FAO e a José Luís Castilla Civit e Jim Morgan pela formatação, maqueta e desenho gráfico para a edição em Inglês. Agradece-se ao Sr. Carlos Bonete Martinho a ajuda e parecer sobre termos técnicos para a edição em Português.

Muitos dos desenhos são baseados em originais desenhados pelo Sr. M.C. Stephens.

Este manual é parcialmente baseado numa publicação pelo autor sobre o mesmo assunto e publicado pela Cranfield Press (Stephens, 1991).

Acrónimos, abreviaturas e símbolos

A	Área da bacia hidrográfica (km ²)
A'	Área do reservatório a cota máxima (ha ou m ²)
PAC	Plano de Acção para Crise
D	Profundidade máxima do descarregador/vertedor no coroamento/crista/soleira
DFID	Departamento para o Desenvolvimento Internacional, Reino-Unido
PST	Percentagem de sódio de troca
CM	Cota máxima
GPS	Sistema de Posicionamento Global
L	Comprimento da barragem a cota máxima
H	Altura do coroamento ou crista/soleira a cota máxima (m)
H'	Altura máxima da barragem a cota máxima (m)
H''	Altura da folga/borda livre (m)
CMP	Cheia máxima provável
Q	Capacidade da barragem (m ³)
T	Comprimento do reservatório (m)
FNUP	Fundo das Nações Unidas para a População
USBR	Departamento de Recuperação de Terras dos Estados Unidos (United States Bureau of Reclamation)
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
Y	Rendimento da bacia hidrográfica (m ³)



Introdução 1

1 Introdução

Este manual é concebido especialmente para engenheiros, técnicos e extensionistas agrários, agricultores comerciais e construtores – todos com alguns conhecimentos de engenharia e alguma experiência de barragens, rega e fornecimento de água – envolvidos na localização, projecto e construção de pequenas barragens de terra nas regiões mais áridas do Continente Africano. Estas barragens são adequadas para o fornecimento de água para regadios, para fornecimentos rurais e outras formas de fornecimento de água (desde que devidamente tratada) e para medidas de conservação.

Este manual deriva da experiência de muitos anos do autor em projectar e construir barragens num grande número de países na África Ocidental, Oriental e do Sul e foi realizado com vista a disponibilizar, pela primeira vez nesta área, uma colectânea de directrizes práticas e úteis sobre a localização, projecto e construção de pequenas barragens. Embora derivado de treino e experiência em África, o manual é aplicável em muitas outras regiões do Mundo, por isso a sua publicação pela FAO. Assim, o manual fornece, essencialmente, um meio pragmático e abrangente para o entendimento prático dos princípios e procedimentos utilizados na construção de pequenas barragens de terra e para os utilizadores construírem, competentemente e em segurança, pequenas barragens sem necessidade de recorrerem aos custosos, complexos e sofisticados projectos e técnicas de construção associados a barragens em bacias hidrográficas de maiores dimensões.

O manual inclui uma introdução à participação da comunidade, aspectos sociais e de género na localização, construção e gestão de barragens, factores ambientais e produção de peixe assim como secções sobre orçamentação de barragens e de concursos públicos para construção e adjudicação de contratos.



Antecedentes 2

2 Antecedentes

2.1 INTRODUÇÃO

Em muitos climas tropicais, subtropicais e Mediterrânicos a agricultura na estação seca e o estabelecimento de culturas alimentares e de culturas de rendimento antes da época das chuvas não é possível sem recorrer a grandes quantidades de água. Dependendo de cursos de água numa altura em que temperaturas e evaporação estão no seu máximo pode ser irrealista e perigoso. Poderá ser essencial construir uma barragem num rio ou ribeiro/arroio de forma a permitir o armazenamento, fora da época das chuvas, de recursos vitais de água. Apesar de serem principalmente para regadio, estas estruturas podem ser utilizadas, separadamente ou combinadas, para a produção de peixe¹, armazenamento e abastecimento de água potável, fossa para águas residuais, recargas de águas subterrâneas, controlo de cheias e, armazenamento de conservação.

2.2 ASPECTOS DE SEGURANÇA E ÂMBITO DO MANUAL

Na construção de barragens, a segurança deve ser uma prioridade e os utilizadores deste manual devem seguir as seguintes directrizes:

- Os utilizadores devem restringir-se à construção de barragens de terra com altura não superior a 5 m desde o leito até ao nível do coroamento/crista/soleira.
- Barragens em bacias hidrográficas que excedam 25 km² ou com áreas de reservatório que armazenem mais de 50.000 m³ poderão necessitar do aconselhamento dum engenheiro hidráulico para ajudar no projecto dos descarregadores/vertedores e outras estruturas de descarga e para o cálculo da folga/borda livre.
- Os descarregadores/vertedores não deverão ter menos de 10 m de largura e 1 m de altura para bacias hidrográficas até 5 km² e deverão ter pelo menos 15 m de largura e 1,5 m de altura para bacias hidrográficas excedendo aquela área.
- Qualquer barragem que envolva para além dos trabalhos normais de topografia (i.e. declives acentuados a montante, riscos de deslizamento de terras), hidrológicos (i.e. cheias instantâneas, secas, derretimento de neves) ou solos (i.e. má qualidade dos solos, solos sódicos, solos com camadas permeáveis, áreas de terra nua na zona da bacia) deverá apenas ser projectada e construída com a supervisão de um engenheiro.

Antes de construir uma barragem, deverá ser feita uma avaliação dos perigos potenciais. Esta secção e a **Tabela 1** dão directrizes:

Tabela 1: Perigo potencial		
Perda de vida	Perda económica	Perigo potencial
Quase impossível	Negligenciável	Nenhum
Extremamente improvável	Mínimo	Muito baixo
Improvável	Marginal	Baixo
Possível	Apreciável	Moderado
Provável	Excessivo	Alto

Uma barragem que é avaliada como tendo um perigo potencial alto não deverá ser construída sem supervisão de um engenheiro, tanto para o projecto como para a construção. Para barragens avaliadas como tendo perigo potencial moderado² ou baixo, poderão ser

1. Ver o Anexo 3 para mais informação.

2. Por vezes é adicionada uma categoria extra “Significativo”, entre “Alto” e “Moderado” a este tipo de tabelas. Igualmente, por vezes a palavra “perigo” pode ser mudada para “risco”.

necessárias alterações ao projecto, incluindo aumentar o período de retorno para a cheia de projecto de forma a atenuar os possíveis riscos, melhorar a estabilidade e reduzir a susceptibilidade a ondas de cheias e galgamentos.

Aumentando a folga/borda livre ou projectando o descarregador/vertedor para a passagem de ondas de cheias maiores (incluindo a existência de descarregadores/vertedores de emergência) podem reduzir-se os riscos para as barragens derivados da ocorrência de quedas pluviométricas extremas. Outras modificações que podem ser feitas à barragem são projectar taludes/vertentes menos inclinados e mais estáveis (especialmente no caso de fundações de menor qualidade ou no caso de utilização de materiais de baixa qualidade), a introdução de medidas de redução de percolação tais como drenos e filtros e mecanismos adicionais que permitam libertar água da barragem de forma a baixar o nível da água em caso de perigo. Esta matéria é desenvolvida a seguir.

Para todas as barragens, excepto para aquelas que foram avaliadas como não tendo perigo potencial, um **Plano de Acção para Crise** (PAC) deverá sempre ser preparado. No mínimo, deve conter:

- Contactos e números de telefone (dono da barragem, autoridades a jusante, polícia e serviços de emergência e outros) para chamar se a barragem estiver danificada, apresente problemas ou seja considerada instável.
- Informação sobre possíveis áreas sujeitas a serem afectadas a jusante (área estimada de inundação) no caso de ruptura da barragem ou se for necessário libertar rapidamente um volume significativo de água das comportas, drenos ou das estruturas de descarga. Um mapa, ilustrando os vários níveis de inundação (com estimativa do tempo da onda de inundação) deverá ser preparado e disponibilizado.
- Uma lista de nomes, endereços e números de telefone (manter actualizado) de habitantes vivendo imediatamente a jusante da barragem e dentro da área de inundação estimada.
- O PAC deverá ser actualizado periodicamente para ter em consideração alterações na utilização do solo a jusante e qualquer alteração na área de captação a montante.
- Planos para aviso e evacuação de emergência, incluindo a indicação de itinerários seguros para serem seguidos em caso de inundação/ruptura da barragem. A evacuação imediata deverá ter prioridade sobre qualquer outra acção no caso em que a estabilidade da barragem esteja ameaçada.
- Informação sobre os recursos a usar e procedimentos a seguir para reparações de emergência. Deverá incluir uma lista de empreiteiros de engenharia civil, fornecedores de equipamento e materiais e engenheiros disponíveis localmente.

Por fim, quando uma barragem já não é necessária ou é considerada não viável, deverá ser tornada segura. Isto poderá incluir a destruição do aterro e retornar o rio (na medida do possível) ao seu estado natural ou convertendo a barragem numa estrutura de conservação com um programa de inspecção e manutenção de forma a assegurar que não venha a ser negligenciada e a constituir um risco para as áreas a jusante.

2.3 BARRAGENS PARA IRRIGAÇÃO

Em muitas partes do Mundo, os benefícios financeiros derivados do cultivo da terra são raramente suficientes para permitir a construção de estruturas de betão caras e tecnologicamente avançadas para o armazenamento de águas, quer no leito quer fora do leito, e a alternativa é normalmente uma barragem de terra ou açude simples.

A capacidade actual de armazenamento utilizável do reservatório deverá ser superior à procura durante o ciclo duma cultura e deverá ter em consideração os seguintes factores:

- O armazenamento deverá ser inferior ao rendimento estimado da bacia hidrográfica num ano de seca ou baseado numa média aceitável de rendimento mínimo ao longo dum período de anos.
- Necessidades de rega, que variam de acordo com a época do ano, cultura e eficiência de rega, taxas de evapotranspiração e outros factores climáticos. Consultas com agricultores locais, agrónomos e climatologistas permitirão fazer estimativas do total de água necessária por hectare cultivado. Por exemplo, a cultura de trigo na estação seca de inverno no Sul de África necessitará de 5 000 a 6 000 m³ de água por hectare por cada 100-120 dias de estação seca.
- Perdas por evaporação podem ser elevadas e dependerão do clima³ e da área de superfície da água armazenada. Um reservatório estreito e profundo tem uma evaporação muito menor do que um reservatório largo e pouco profundo, e como a evaporação pode variar de 0,3 m a 2,5 m por ano, de climas temperados a climas áridos, isto pode ser um elemento importante a ter em consideração no projecto.
- Percolação acontecerá sempre com uma barragem de terra e depende das condições locais do solo, do aterro em si e da profundidade da água.
- Armazenamento inactivo/volume morto é o nome dado aquela parte do reservatório que não pode ser drenada por um descarregador/vertedor ou por bombagem. Esta última depende muito da sucção do corpo de bombagem – um tubo de sucção através da parede da barragem resultará num armazenamento inactivo/volume morto muito reduzido, enquanto que bombas colocadas ao lado do reservatório ou do aterro nunca conseguirão bombear a água totalmente. Note-se no entanto, que nem sempre é aconselhável drenar a barragem completamente, muito especialmente se foram utilizados Vertisolos (ricos em argilas expansivas que fendem) para o aterro, núcleo ou fundo do reservatório.

Assim, para uma barragem, a necessidade estimada de rega deverá ser ligada ao rendimento da bacia hidrográfica num dado ano. Para regiões áridas e semi-áridas poderá ser aconselhável avaliar o rendimento da bacia hidrográfica num ano seco e usar esta estimativa para calcular a quantidade de água disponível para rega ou outras utilizações.

Barragens de aterro apresentam muitas vantagens em comparação com estruturas equivalentes em betão e são as mais apropriadas para explorações agrícolas ou outras situações no meio rural. Barragens até 15 m de altura, quando construídas nos locais apropriados e correctamente projectadas e construídas utilizando bons materiais provenientes de terraplanagem, podem ser construídas com o recurso a equipamento e projecto pouco sofisticados. Tractores agrícolas (equipados com pá carregadora, pá de arrasto e rolo compactador) são normalmente adequados para a construção de barragens de terra que, uma vez completadas, deverão ter custado menos do que uma parede de betão, com o seu projecto e procedimentos de construção mais complexos.

Barragens de terra mais pequenas necessitam de manutenção mínima (a não ser em locais difíceis ou em condições extraordinárias de clima) e são mais capazes de suportar movimentos da fundação e das ombreiras do que estruturas mais rígidas em pedra ou betão.

Podem ser obtidas vantagens adicionais construindo o aterro com materiais provenientes da escavação da área do reservatório. Isto dá um pequeno aumento da capacidade de armazenamento e redução de custos. A construção na base de camada a camada permite uma boa compactação e estabilidade e, se os parâmetros do descarregador/vertedor permitirem, a programação dum calendário de construção flexível. A compactação é uma parte essencial do processo de construção, seja qual for o tamanho do aterro, e não deverá ser ignorada –

3. Evapotranspiração em barragens na África do Sul é calculada entre 25-30 por cento da água armazenada, por ano.

pague sempre mais pelo equipamento necessário dado que este custo será recuperado pela construção duma estrutura melhor, mais segura e mais estável. A construção pode ser calendarizada de forma a adequar-se aos factores climáticos e a restrições relativas aos activos fixos tangíveis. Não é raro que a parte subterrânea do núcleo, e talvez o descarregador/vertedor, sejam construídos numa estação seca e o resto do aterro, muros-guia e estruturas de descarga sejam completados na estação seguinte. Neste tipo de construção escalonada, seja qual for a altura a que o aterro tenha parado na estação anterior, um descarregador/vertedor, quer seja de carácter temporário ou permanente, deverá ser construído para desviar, com segurança, caudais de cheia para fora das estruturas parcialmente concluídas.

No caso de ser usada maquinaria agrícola, o calendário de construção pode ser ajustado para se adaptar a outras actividades agrícolas evitando-se utilizar a maquinaria agrícola para a construção da barragem em prejuízo da produção agrícola. É extremamente importante que todo o equipamento utilizado na escavação e construção esteja em perfeitas condições. Uma avaria durante um plano de trabalho com prazos apertados pode interromper procedimentos escalonados, adiar a conclusão para a época seguinte e introduzir despesas que poderiam ter sido evitadas por simples procedimentos de manutenção. Da mesma maneira, quando se utilizam máquinas agrícolas, é aconselhável prever, na altura do cálculo dos custos, uma revisão completa de todos os sistemas mecânicos e hidráulicos, após a conclusão da barragem. Por exemplo, o processo de escavação e transporte de argilas pesadas durante longos períodos, é particularmente desgastante para os motores e caixas de velocidades dos tractores, e, se a manutenção for descurada, poderão ocorrer problemas graves mais tarde, ao realizar actividades agrícolas convencionais.

Uma barragem de terra será específica para um determinado local. Apesar de ter sido dada ênfase especial às condições locais, certas directrizes e generalidades podem ser aplicadas a todas as barragens. Quando seguidas, tais directrizes permitirão a construção de aterros duma forma segura e económica. Deverá ser realçado que, apesar da maioria dos procedimentos serem simples, e mais uma questão de bom senso do que conhecimentos avançados de engenharia, se a segurança de qualquer projecto ou elemento de construção está em questão, deverá ser consultado um engenheiro civil competente. Uma barragem falhada, mesmo que pequena, não é apenas uma questão duma estrutura perdida, mas pode resultar em perda de vidas e custos consideráveis para aqueles a jusante. Portanto, todos os procedimentos, na selecção, projecto e construção de barragens deverão ser seguidos ao mais alto nível de qualidade possível.

Demasiadas barragens de terra são construídas em desrespeito à prática de engenharia e a regulamentos locais. Direitos sobre água e licenças de captação existem em muitos países e estes devem ser pedidos antes de começar a construção. Estes não só regulamentam as quantidades de água que podem ser armazenadas ou extraídas dum sistema fluvial como permitem inspecção e controlo da construção da barragem para manter padrões de segurança e construção. Da mesma maneira, muitos países em África e em outros lugares, têm regulamentos ambientais a serem seguidos, seja para o pedido de direitos sobre água, seja para a aprovação da construção da barragem. Também é necessário seguir directrizes se as barragens forem construídas por empreiteiros. O Anexo 1 proporciona conselhos de ordem geral sobre aprovisionamento, preparação de concurso público, avaliação e adjudicação de contrato.

2.4 PARTICIPAÇÃO DA COMUNIDADE

Para que as barragens possam ser apoiadas pelos governos ou outras agências, para utilização e gestão pelas comunidades, quer seja para agricultura quer para o fornecimento de água, é essencial consultar as populações locais. Tente obter um ponto de visto representativo, não

apenas de proprietários de terras ou de pessoas importantes da comunidade, mas também daqueles que mais directamente serão afectados ou beneficiados pela barragem, para saber quais são os seus pontos de vista e necessidades. Isto é particularmente importante quando se espera que a comunidade contribua para a selecção da localização e construção (i.e. disponibilização de terrenos, trabalho e, possivelmente, materiais locais), assim como para a gestão e manutenção da barragem. Um sentido de posse responsável da barragem e da albufeira por parte da comunidade, mesmo que a barragem seja construída por uma entidade externa à região, é vital para a manutenção futura e longevidade da estrutura.

Assuntos de ordem social e de género deverão ser considerados não só no início como durante o processo de projecto e construção. Homens e mulheres têm preferências e necessidades de água diferentes e serão afectados diferentemente quando a barragem for concluída e armazenar água. É importante não limitar a participação das mulheres ou dos pobres, como membros de grupos associados com a barragem (e qualquer sistema de rega), no processo decisório e na avaliação de alterações que terão lugar nas tarefas de homens e mulheres a seguir à introdução da barragem e das infra-estruturas relacionadas. A Secção 2.5 proporciona directrizes sobre esta matéria.

O estabelecimento de comités de barragem numa fase inicial é fortemente recomendado. Os principais utilizadores da barragem deverão estar bem representados neste comité – em África, as mulheres são frequentemente responsáveis pela provisão de água, por isso deverão ser consultadas sobre o local a seleccionar e incluídas no comité. Este mesmo comité, mais tarde, uma vez concluída a barragem, deverá ser convertido no comité de gestão e manutenção.

O treino de pessoal local, sobre todos os aspectos de reparação e manutenção da barragem, poderá ter que ser incluído no programa de construção. Quando é esperada a participação local no processo de construção, qualquer contrato adjudicado a construtores privados deverá claramente definir todas as contribuições a serem feitas por parte da comunidade e deverá ser pedido aos empreiteiros que alterem, em conformidade, os seus programas de trabalhos e práticas. Isto poderá alongar o período de construção e aumentar os custos mas mostrar-se-á benéfico a longo prazo na medida em que aumenta o sentido de posse e as capacidades no seio dos beneficiários.

2.5 ASPECTOS SOCIAIS E DE GÉNERO

Em muitos países, direitos sobre água e terra estão estreitamente ligados, apesar de a água ser frequentemente considerada um bem público, e por isso o seu uso estar associado a autorizações, concessões e outros tipos de sistemas de posse. Terras de regadio e de sequeiro são a fonte principal de sustento para muitas populações rurais. As mulheres tem muito menos acesso a este bem essencial do que os homens. A distribuição de terra e água é a maior determinante de pobreza.

As mulheres e as jovens são tipicamente responsáveis pela provisão de água para as necessidades diárias. Isto inclui água para beber, para dessedentar animais, cozinhar, limpezas e saúde e higiene doméstica geral. De acordo com o Fundo das Nações Unidas para a População (FNUP), em 2002, as mulheres em muitos países em desenvolvimento andavam, em média, 6 km por dia para recolher água. No Sul de África, a migração de homens desde as zonas rurais levou a um aumento de famílias com mulheres como chefe de família e a uma sobrecarga das mulheres com as tarefas de manter as famílias e as fazendas. A disponibilidade de água potável perto das casas poupa tempo às mulheres e às jovens, que poderá ser utilizado noutras tarefas produtivas ou actividades de desenvolvimento, tais como a produção de alimentos e educação. Igualmente, deverá ser claro que o desenvolvimento de qualquer esquema de rega não deverá aumentar o volume de trabalho nem para os homens nem para as mulheres.

Direitos sobre água claramente definidos, levam a um melhor acesso à água, o que é essencial para manter um bom nível de saúde e um meio de vida sustentável. Estudos em África mostram que as mulheres, tanto do meio rural como do meio urbano, estão envolvidas em pequenos empreendimentos e que melhor acesso a água ajudaria a levar a cabo essas actividades duma maneira mais eficiente. A qualidade da água é muito importante neste contexto para os padrões de saúde de todo o agregado familiar. O planeamento de projectos para usos múltiplos de água requer uma investigação profunda dos usos não agrícolas e, em particular, uma avaliação das necessidades das mulheres.

É importante projectar de forma a assegurar um fornecimento higiénico e seguro de água das barragens. Poços rasos ou profundos equipados com bombas manuais a jusante do aterro, para beneficiar de água subterrânea de percolação, poderão ser muito úteis, se combinados com uma restrição ao acesso ao reservatório (vedação). Alternativamente, poderia ser considerado um tubo através do aterro (instalado na altura da construção), com um simples filtro de areia e com saídas de água para uso doméstico e para bebedouro de gado. Todos os projectos e instalações deverão ser concluídos com a plena participação dos utilizadores finais de forma a assegurar que são apropriados e sustentáveis.

Para identificar assuntos-chave em aspectos sociais e de género e para ajudar na avaliação antecipada dos impactos que qualquer projecto possa trazer, a FAO publicou directrizes para a análise social de investimentos em agricultura e desenvolvimento rural. “The Gender in agriculture sourcebook” (World Bank, et al., 2009) é outra referência útil sobre este assunto.

2.6 O MANUAL SOBRE PEQUENAS BARRAGENS DO USBR

O texto de referência para a construção de barragens é o manual sobre projectos de pequenas barragens do Departamento de Recuperação de Terras dos Estados Unidos (USBR) (2006), e aplicável às pequenas barragens construídas nos Estados Unidos. As assim definidas “pequenas” barragens tem até 90 m de altura. As tecnologias, procedimentos e métodos descritos para projectar e construir, são específicos para tais barragens. Muitos dos projectos e processos de construção nesse manual não são aplicáveis a barragens agrícolas mais pequenas nem podem ser reduzidos em escala de modo a torná-los apropriados às técnicas e metodologias menos sofisticadas a ser utilizadas. O Manual do USBR foi concebido para ser usado por engenheiros qualificados e experientes trabalhando numa gama de barragens e bacias hidrográficas maiores, nos Estados Unidos. É uma referência útil mas não é directamente aplicável às pequenas barragens que o presente manual tem como alvo.



Barragens de terra 3

3 Barragens de terra

3.1 INTRODUÇÃO

As barragens de terras têm sido usadas, desde os tempos mais remotos, para aprisionar e desviar água. São simplesmente estruturas compactadas que dependem da sua massa para resistir ao deslizamento e tombamento e são o tipo de barragem mais comum encontrado em todo o Mundo. Métodos modernos de transporte e desenvolvimentos no campo da mecânica dos solos desde o Século XIX, aumentaram consideravelmente a segurança e vida destas estruturas.

As principais vantagens envolvidas na construção de pequenas barragens de terra são:

- São utilizados materiais naturais locais.
- Os procedimentos do projecto são simples.
- Comparativamente, são necessários pequenos activos fixos tangíveis.
- Os requisitos para as fundações são menos exigentes do que para outro tipo de barragens. A base larga duma barragem de terra distribui a carga nas fundações.
- Barragens de terra resistem ao assentamento e movimentos melhor do que estruturas mais rígidas e podem ser mais adequadas para áreas onde os movimentos do solo são comuns.

No entanto, também existem desvantagens e estas são:

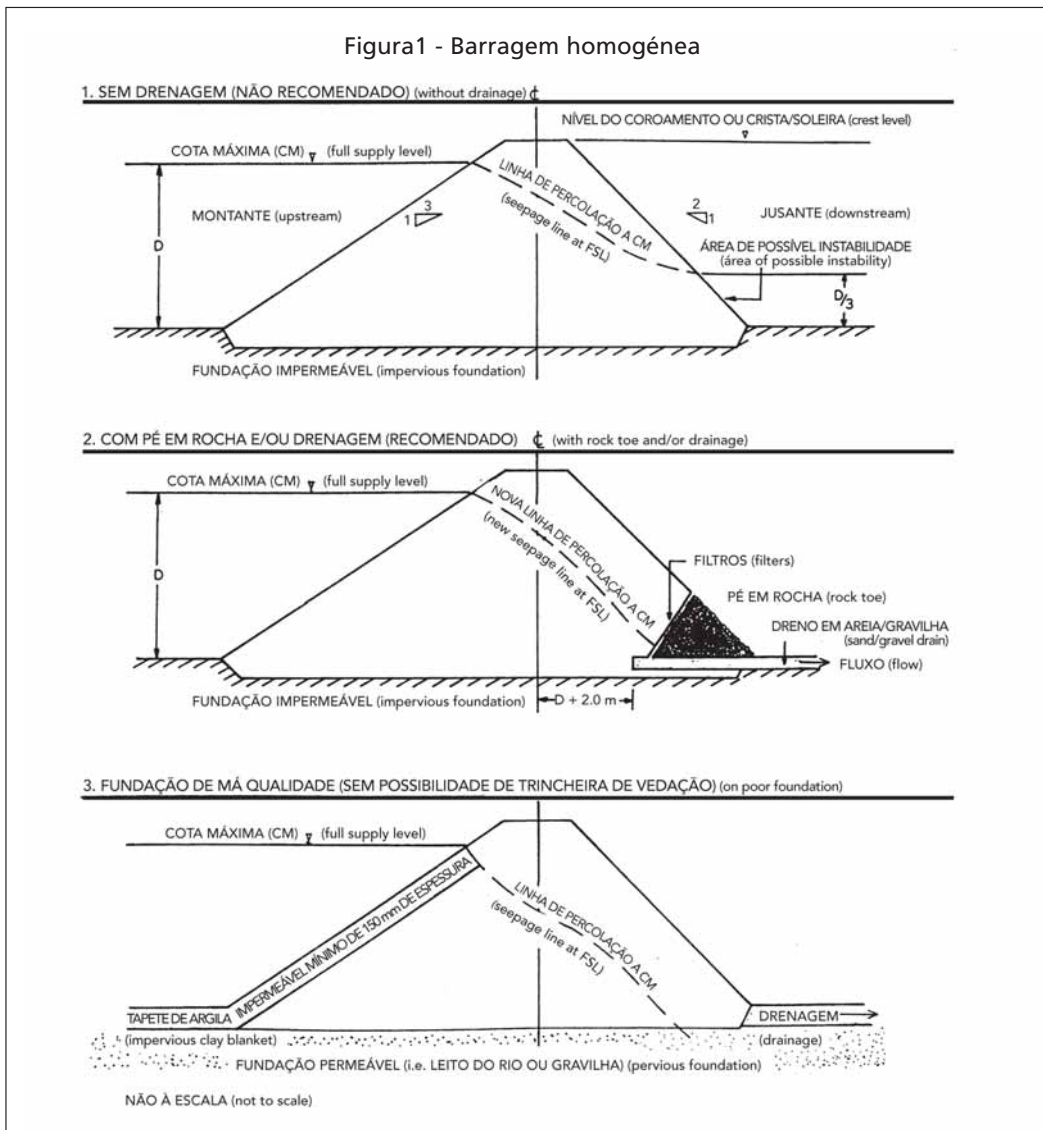
- Uma barragem de terra é mais fácil de ser danificada ou destruída pela água corrente, passando sobre ou batendo contra ela. Assim, um descarregador/vertedor e protecção adequada a montante são essenciais para qualquer barragem.
- Projectar e construir descarregadores/vertedores adequados é normalmente a parte tecnicamente mais difícil de qualquer trabalho de construção duma barragem. Qualquer local com má qualidade de descarga não deverá ser usado.
- Durante a construção, se não for adequadamente compactada, a barragem apresentará uma integridade estrutural fraca, apresentando pontos preferenciais de infiltração.
- As barragens de terra requerem manutenção contínua de forma a evitar erosão, crescimento de árvores, sedimentação, infiltração e danos provocados por insectos e animais.

Os primeiros aterros a ser construídos tinham como princípio uma parede de terra sólida, impermeável ou não, transversal a um rio ou ribeiro. Quando correctamente construídos, tais aterros homogéneos podem ser baratos e seguros. São, no entanto, geralmente inferiores em relação aos métodos modernos de construção zonada em que um aterro é construído em três secções:

- secção a montante relativamente impermeável;
- núcleo central de materiais altamente impermeáveis (os quais, com uma trincheira de vedação abaixo do nível de superfície, selará eficazmente a barragem contra infiltrações); e
- secção a jusante de materiais grosseiros e pobres, permitindo uma drenagem mais livre da estrutura e a qual, pelo seu peso, escora o aterro às suas fundações evitando o seu escorregamento e outros movimentos.

3.2 BARRAGENS DE ATERRO HOMOGÊNEO

Com este tipo de barragem mais antigo, o acumular de demasiada pressão nos poros no interior do aterro e a ocorrência de percolação poderão ser um problema, especialmente para reservatórios com um nível alto ou com rápidas flutuações de nível de água por longos períodos de tempo; ou para uma barragem com fundações impermeáveis. Se a percolação for excessiva, isto poderá levar a instabilidade e eventualmente a falha de toda ou parte da face a jusante. A **Figura 1** ilustra o problema e oferece algumas soluções.



Quer um pé em pedra quer uma camada de drenagem (manta) de cascalho miúdo/gravilha ou material similar, ajudará a reduzir o problema de infiltração para as áreas a jusante dum aterro com fundações impermeáveis. O pé em pedra deverá ser coberto por areia grosseira e cascalho miúdo/gravilha de forma a evitar que materiais do aterro sejam arrastados para o seu interior, situação que poderia, em última instância, reduzir a permeabilidade do pé e causar subsidência da barragem. Em fundações mais permeáveis (o que ocorre frequentemente quando as barragens são construídas no leito) o expor uma camada natural de

drenagem poderá ter o mesmo efeito na redução de infiltrações que uma manta artificial de cascalho miúdo/gravilha ou uma camada de drenagem.

Qualquer estrutura para a redução de percolação deverá apenas estar subjacente à secção jusante da barragem e não se deverá estender para áreas do aterro que poderiam permitir percolação ou infiltração directamente de montante.

Duma maneira geral, barragens homogéneas deverão ter taludes/vertentes relativamente planos (1:3 a montante e 1:2 a jusante) como segurança contra possível instabilidade. Um talude menos inclinado a montante, obrigatório para todas as barragens de terra, permite que a secção saturada abaixo do nível de água resista ao abatimento. Também, o peso da água armazenada acima deste exerce uma pressão de cima para baixo que, quando combinado com o peso da barragem, iguala ou excede a pressão horizontal exercida pela altura da água contra o aterro. Note-se que esta última depende da altura, não do volume de água, e que a pressão horizontal aumenta na razão do quadrado da altura da água. Assim, ao construir barragens mais altas este assunto torna-se mais crítico, já que, por exemplo, duplicando a altura da água numa barragem de 2 m para 4 m se quadruplicaria a pressão.

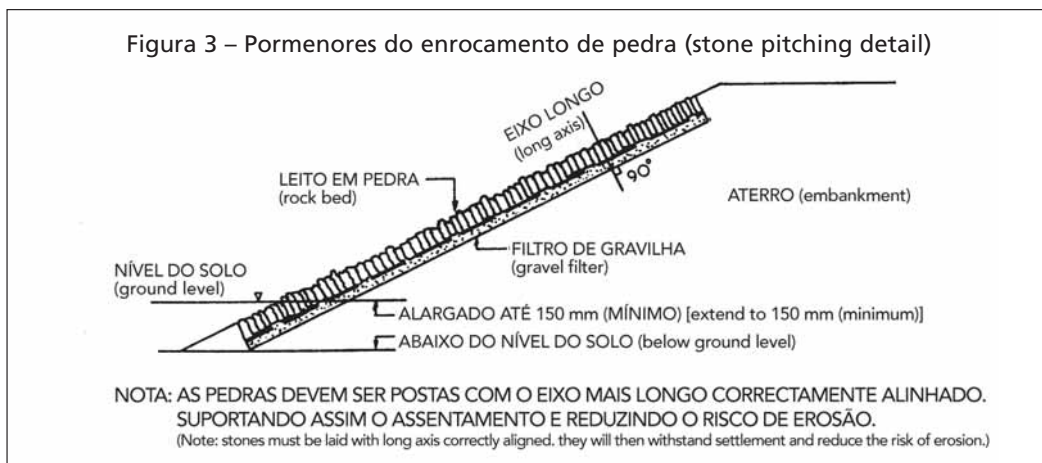
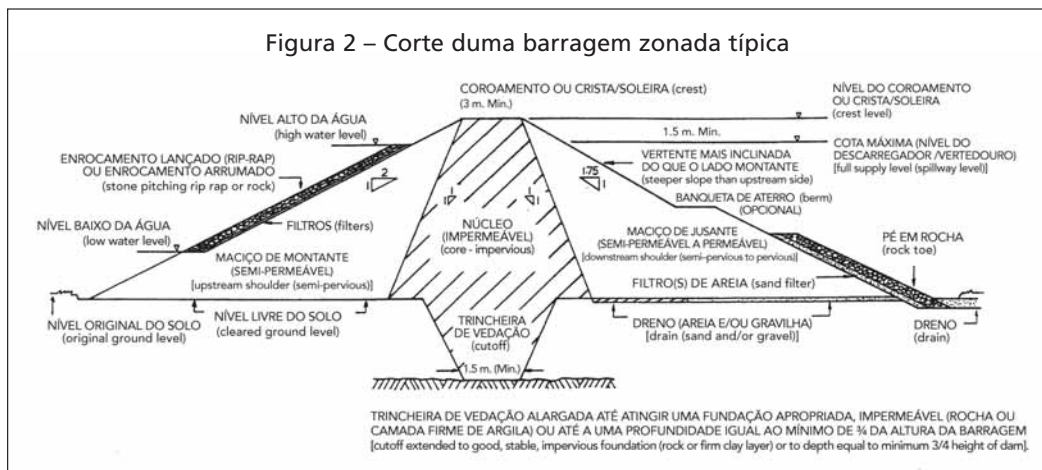
Não se deve permitir que os níveis de água desçam ou subam demasiado rápido, principalmente se o material do aterro é impermeável. Este cuidado é necessário já que uma rápida descida do nível do reservatório pode causar o abatimento da face de montante ou, se se permitir que a parede seque, uma rápida subida de nível pode causar erosão através de rachaduras e fissuras. Ambas podem eventualmente resultar em erosão, perda de material e, no pior dos casos, numa ruptura/rompimento.

3.3 BARRAGENS ZONADAS

Esta é uma melhor alternativa, particularmente para barragens maiores que facilmente permitem a utilização de maquinaria de construção. Com este tipo de barragem, possíveis perigos de infiltração são reduzidos ao mínimo. Comparadas com barragens de aterro homogéneo, os custos são susceptíveis de ser mais altos, principalmente porque o material de terraplanagem é dividido em três categorias: permeável para a face jusante, impermeável para o núcleo e semi-impermeável para a secção a montante, sendo todas elas escavadas de áreas de empréstimo diferentes (de preferência dentro da área do reservatório), logo aumentando os custos de escavação e transporte. Os taludes, no entanto, podem ser reduzidos para à volta de 1:2 a montante e 1:1,75 a jusante (ou 1:2,25 a montante e 1:2 a jusante para locais onde apenas estão disponíveis materiais de relativa má qualidade) e o material escavado na construção do núcleo pode ser utilizado no aterro, economizando assim em terraplanagens.

A **Figura 2** ilustra um exemplo ideal de uma barragem zonada. Especial atenção deverá ser tida quanto ao pé, que poderá ser necessário para conferir estabilidade e para drenar a secção a jusante (poderá ser necessário drenos de cascalho miúdo/gravilha) e ao enrocamento de pedra na face de montante que, neste caso, é necessário para protecção da parede contra a acção das ondas. Quando correctamente feito, o enrocamento de pedra (a **Figura 3** dá um exemplo) fornece um meio barato (se disponível localmente) e eficiente de protecção, mas não deverá ser usado nas extremidades dos aterros e nas ombreiras nem ao longo dos lados dos descarregadores/vertedores. Estas áreas das barragens são extremamente sensíveis à erosão e poderá ser necessário betoná-las ou protegê-las com gabiões para máxima protecção. A publicação da FAO sobre pequenas barragens e açudes em terra e gabiões (FAO, 2001) proporciona directrizes sobre esta matéria.

Materiais impermeáveis artificiais, tais como película de plástico grosso, têm sido usados com sucesso em muitas partes do Mundo como alternativa a núcleos de argila. Nos trópicos, no entanto, estes materiais tem-se mostrado susceptíveis de atrair térmitas (cupim, salalé, muchém) e roedores; têm sido esburacados por animais e não tem resistido ao assentamento dos aterros depois da construção. Da mesma maneira, material de termiteiras, frequentemente usado pelo seu alto teor de argila, está a perder preferência devido aos seus indesejados constituintes orgânicos e minerais; a sua variabilidade dentro duma pequena área e, uma vez usados, à sua continuada acção de atracção para térmitas (cupim, salalé, muchém) (e seus predadores) apesar de tratamento com insecticida ou com mistura de gásóleo. Onde material adequado para o núcleo não esteja disponível a preços acessíveis, estes materiais poderão ter que ser usados, mas, se possível, terão de ser analisados; bem “mortos” antes de escavados e tratados na altura da instalação.



É preciso ter cuidado na utilização de insecticidas que possam contaminar cursos de água quando absorvidos pela percolação ou outra água.

3.4 TRINCHEIRA DE VEDAÇÃO E NÚCLEO

Muitas das barragens, homogêneas ou zonadas, podem beneficiar da construção duma trincheira de vedação na fundação. Uma trincheira de vedação reduz percolação e melhora a estabilidade.

Quando argila estabilizada, ou outro material, é usado, a trincheira de vedação deverá ser escavada a uma profundidade que minimize toda a possível percolação. Idealmente, a trincheira de vedação deverá ser escavada até à rocha sólida que se prolonga para grandes profundidades. Se a rocha subjacente está fissurada ou é irregular, poderá ser limpa e betonada de forma a oferecer uma boa superfície sobre a qual poderá ser colocada a argila. Para maiores irregularidades ou fendas, deverá ser usada uma calda de cimento, que é uma pasta espessa, mistura de cimento e água, que é despejada e varrida para dentro das fendas maiores e fissuras antes do betão ser espalhado para encher as restantes irregularidades e para oferecer uma superfície quase plana. Para superfícies mais regulares com fendas menores, uma aguada de cimento (uma mistura fraca de cimento e água para formar uma textura cremosa) pode ser escovada ao longo duma superfície para selá-la e, de novo, oferecer uma superfície quase plana.

O material da trincheira de vedação deverá ser colocado em camadas com um máximo de 50-75 mm de espessura com uma largura mínima de 1 m para pequenas barragens (i.e. núcleos assentados à mão) e camadas de 75-150 mm de espessura e 2-3 m de largura para barragens maiores (i.e. material colocado com pá carregadora ou pá de arrasto e compactado com maquinaria).

Cada camada deverá ser bem compactada e se todo o comprimento da barragem não poder ser acabado duma só vez, cada secção deverá ser bem introduzida e ligada à secção seguinte dado que a trincheira de vedação e núcleo são projectados como uma unidade homogénea para evitar percolação e problemas estruturais. A compactação deverá ser feita à mão (calcando o material com maças de 100-150 mm de diâmetro) ou com maquinaria (rolos ou vibradores), ou uma combinação dos dois. Se forem usados tractores agrícolas, os pneus podem ser cheios com água e, se for seguido um itinerário irregular através da largura da trincheira de vedação na altura de fazer o aterro, poder-se-á poupar muito tempo na compactação. Uma rega ligeira na área de empréstimo algumas horas antes da escavação, pode ajudar na remoção e carregamento do material, desde que não esteja demasiado molhado.

A chuva pode causar problemas e uma argila demasiado molhada torna-se muito difícil de compactar. Neste caso, será melhor esperar para que o solo seque antes de continuar a construção.

É aconselhado uma contínua, ou pelo menos frequente monitoração da qualidade do material do núcleo, teor de humidade e procedimentos de assentamento das camadas, principalmente quando se emprega pessoal inexperiente.

Nunca é demasiado realçar a importância duma correcta construção do núcleo. Não executar correctamente estes procedimentos comparativamente baratos pode levar, mais tarde, a problemas caros que medidas de remediação raramente resolverão completamente. Se o núcleo e a trincheira de vedação não forem assentes numa fundação firme, e feita em camadas finas e suficientemente húmidas para permitir a compactação, será demasiado tarde para introduzir medidas de correcção depois da construção. Em casos extremos, a barragem pode fracassar ou não obter aprovação legislativa – em qualquer dos casos, um erro muito caro. A trincheira de vedação e o núcleo duma barragem zonada, deverão ser construídos com material impermeável. A utilização de solo que não permita qualquer passagem de água (i.e. impermeável) não é necessariamente uma coisa desejável. Isto é explicado com mais pormenor na Secção 4.



Terraplanagem 4

4 Terraplanagem

4.1 PESQUISAS

Idealmente, os materiais de aterro deverão ser extraídos dentro da área do reservatório e, se necessário, de quaisquer áreas de corte do descarregador/vertedor. Nunca é demais realçar a importância de uma abordagem analítica correcta para determinar os vários tipos de solo para uma barragem zonada. Apesar da utilização dum laboratório de solos ser cara, os resultados podem mais do que pagar os custos envolvidos e, mais frequentemente do que não, assegurará a exclusão de materiais de qualidade duvidosa no processo de construção. Esta abordagem incluirá a selecção de solos a serem utilizados, testes laboratoriais e análises mecânicas (se tais técnicas estiverem disponíveis) para assegurar que os materiais seleccionados são adequados e a interpretação dos resultados destes testes por um engenheiro ou técnico experiente para garantir a utilização dos materiais apropriados.

Nesta fase de pesquisa, possíveis áreas de empréstimo deverão ser identificadas – inicialmente a olho nu, tentando identificar os tipos de solos através da vegetação, solo visível, posição na encosta, etc.

A exploração preliminar para determinar áreas de empréstimo apropriadas para a construção da barragem, deverá:

- Explorar áreas para grandes quantidades de material de solo para inclusão no aterro e nos muros-guia. Duma forma ideal, os testes deveriam indicar que pelo menos 150 por cento do material estimado como necessário para a barragem está disponível (i.e. para compensar perdas e desperdícios e a possibilidade de encontrar material de pior qualidade do que a esperada) e para que as distâncias de transporte não sejam excessivas.
- Explorar áreas para o fornecimento de materiais mais especializados tal como cascalho miúdo/gravilha (para drenagem), agregados (para betão), materiais para filtros, pedra (enrocamento lançado (“rip-rap” - ou enrocamento arrumado) e argilas de alta qualidade para revestir superfícies a montante e quaisquer canais.

O Manual da FAO sobre pequenas barragens e açudes em terra e gabiões (FAO, 2001), tem uma secção pormenorizada sobre materiais de empréstimo, amostragem e teste. No entanto, a secção abaixo fornece pormenores básicos a seguir para assegurar as áreas mais favoráveis para pesquisa.

4.1.1 Valas e trincheiras

Abra valas e buracos de sondagem para aceder às camadas superficiais e de subsolo e às condições de fundação na área do aterro. A abertura de buracos de sondagem, em grelha e a uma profundidade de 3 m através dum área de empréstimo potencial, permitirá fazer uma avaliação geral dos tipos dos solos. Uma série de valas e trincheiras de teste podem depois ser abertas em áreas mais promissórias para permitir uma avaliação visual do perfil do solo para ser feita de acordo com códigos de solo e técnicas de classificação locais. Podem ser colhidas amostras para análises subsequentes de textura e laboratoriais.

4.1.2 Testes de textura

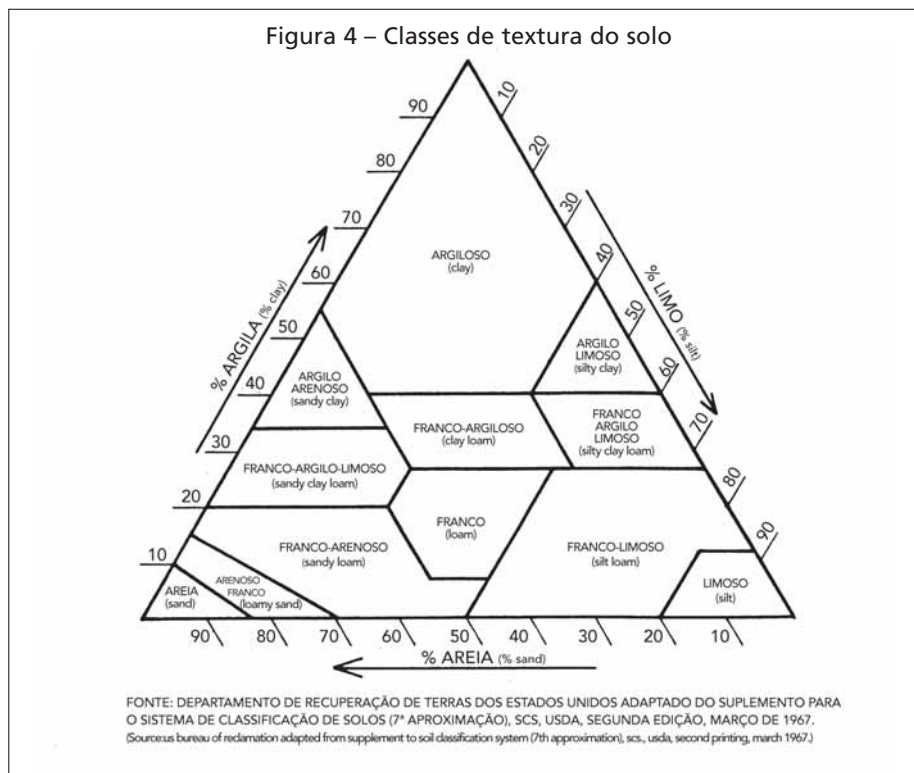
Testes de textura são feitos para determinar os tipos de solo. Excluindo pedras e cascalho miúdo/gravilha, a parte mineral do solo é constituída por partículas em três ordens de grandeza⁴:

Argila: menos do que 0,002 mm de diâmetro.

Limo: 0,002-0,05 mm de diâmetro.

Areia: 0,05-2,00 mm de diâmetro.

As proporções relativas de areia, limo e argila são usadas para determinar a classe de textura dum solo. O internacionalmente aceite Diagrama de Textura (ver **Figura 4**) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), é uma ferramenta útil para, numa primeira fase, demarcar solos para a construção duma barragem. O sistema do USDA é amplamente utilizado em todo o Mundo⁵.



Basicamente, as classes de textura envolvidas são como se segue:

Qualquer solo com mais de 55 por cento de argila pode ser considerado “argiloso”. Um solo “argilo-arenoso” é um solo com, entre 33 por cento e 55 por cento de argila, e até 65 por cento de areia. Um solo “franco-argilo-limoso” tem entre 20 por cento e 30 por cento de argila e até 80 por cento de areia e limo.

As areias podem ser ainda definidas de acordo com o tamanho dos grãos (i.e. finos, médios e, grosseiros) na fracção areia.

4. Os números variam de acordo com quem faz a definição: engenheiros geotécnicos, sedimentologistas, cientistas do solo, etc. A definição usada aqui é a do USDA e adoptada pela FAO.
5. O sistema do Reino Unido é ligeiramente diferente deste, principalmente com pequenas diferenças na classificação de argilas e de solos argilosos.

Areias e argilas, e combinações destas, são as mais adequadas para a construção de barragens. Geralmente, no entanto, solos limosos não são adequados devido à sua inerente instabilidade quando molhados e não deverão ser incluídos em qualquer obra em terra.

Para definir com precisão as classes de textura são necessárias técnicas laboratoriais mas, com experiência e com conhecimento local específico, o teste manual para determinar a textura pode ser importante para as fases iniciais de identificação de materiais apropriados para um aterro. Áreas de solos argilosos podem ser demarcadas no campo com os melhores solos (i.e. alta percentagem de argilas) sendo reservados para o núcleo e o maciço de montante. Quando secos, os limos são frequentemente semelhantes, tanto em aparência como em tacto, a argilas molhadas mas podem normalmente ser diferenciados quando molhados, dado que as argilas apresentarão características pegajosas, tipo plástico, enquanto que os limos tem uma sensação ao tacto sedoso, macio, com tendência à dispersão.

As técnicas manuais envolvem a colheita de uma pequena amostra de solo – normalmente na mão não necessária para tomar notas – humedecendo-a (evite encharcá-la) e rolá-lo na mão até formar uma bola para examinar os seus constituintes coesivos.

Uma argila de melhor qualidade pode ser manipulada para formar uma tira fina sem se partir, formar uma bola e deixá-la cair, da altura do peito, sobre uma superfície plana sem que se rache demasiado. Também, quando cortada, exhibe uma superfície brilhante e macia.

O recente Manual sobre pequenas barragens do USBR (USBR, 2006), actualizou a secção sobre solos de acordo com tipos, define uma “Classificação Unificada” e faz recomendações sobre os taludes para a construção de barragens (embora para barragens de maiores dimensões do que este manual tem como objectivo) de acordo com o tipo de solo. São também indicadas taxas de compactação para guiar os projectistas e construtores para barragens mais pequenas e simples, em bacias hidrográficas mais pequenas e para reduzir as necessidades de testes laboratoriais de tais solos.

4.1.3 Testes de infiltração

Testes preliminares de infiltração podem ser feitos nesta fase, de forma a obter uma indicação da permeabilidade dos solos. A forma mais simples de fazer estes testes é encher buracos de sondagem ou pequenas valas com água, tendo cuidado para não compactar o solo dentro dos buracos ou valas. Uma avaliação comparativa do abaixamento dos níveis de água sobre uma área pode dar uma indicação de permeabilidade e indicar níveis relativos de argila. Anéis de infiltração, que são usados na avaliação da capacidade de infiltração para projectos de rega, podem ser usados para as camadas superficiais do solo.

4.1.4 Material do núcleo e trincheira de vedação

É necessário um solo que limite a passagem da água mas não ao ponto de criar diferenciais de pressão indesejáveis através e dentro do aterro. A impermeabilidade do solo usado variará entre locais, mas alguma padronização na estanqueidade pode ser conseguida variando o grau de compactação envolvida. Um material mais permeável necessitará de maior compactação e vice-versa. Geralmente, solos que contenham uma percentagem significativa de argila são ideais para o núcleo, mas devem evitar-se argilas com tendência a rachar. Se estas últimas forem utilizadas, deverão ser cuidadosamente compactadas, e usadas na parte inferior da barragem que é mais improvável que seque (tal como na trincheira de vedação) ou coberta por uma camada de cascalho miúdo/gravilha ou solo com erva.

4.1.5 Outros materiais do aterro

Materiais semi-permeáveis tais como solos argilo-arenosos e franco-argilosos com uma proporção de finos, tal como argila ou talvez partículas de limo, são adequados para inclusão no maciço de montante. Estes permitirão uma passagem de água limitada e, num aterro bem construído, resistirão ao abatimento, quando molhado. Quando são usados solos de qualidade inferior, deve dar-se atenção especial às técnicas de compactação de forma a minimizar o volume dos espaços com ar no solo e maximizar a sua estabilidade quando molhados.

Materiais permeáveis, tais como areia grosseira e cascalho miúdo/gravilha – adequadamente lavados e joeirados por calibre e gradiente – são usados no maciço de jusante e secções do aterro que requeiram massa e drenagem. Peça sempre conselho de especialistas para a utilização destes materiais em trabalhos de drenagem e filtros. Frequentemente, estes podem ser melhor compactados se secos ou apenas ligeiramente húmidos. Uma vez concluída, uma face de jusante seca evitará o deslizamento e reduzirá o risco de fracasso.

4.2 SOLOS

No vale dum rio poderá estar disponível uma grande diversidade de solos. As encostas do vale, onde menor lixiviação tenha ocorrido, poderão fornecer solos com uma mais alta proporção de argila. As áreas com maior lixiviação podem fornecer quantidades de areia, cascalho miúdo/gravilha e/ou limos. O leito do rio deverá ser uma fonte para limos, areias, e cascalho miúdo/gravilha, este último útil para drenos e trabalhos de betão. É de grande importância económica a necessidade de encontrar estes materiais perto do local da barragem, preferivelmente dentro da área do reservatório, e em quantidades suficientemente grandes para justificar a sua remoção. Evite a remoção total de materiais impermeáveis, dado que a exposição de camadas mais permeáveis abaixo, poderia levar, anos mais tarde, a problemas de percolação, principalmente quando debaixo da pressão de muitos metros de água.

Pesquisa nas áreas de empréstimo propostas é um elemento necessário de qualquer levantamento para uma barragem. Isto é levado a cabo usando buracos de sondagem, pequenas valas ou furos e utilizando elementos já existentes como poços e tocas de animais de forma a adquirir um conhecimento aprofundado da área.

4.2.1 Argilas

O melhor solo argiloso é sempre reservado para o núcleo e trincheira de vedação e deverá ser bem compactado. Basicamente, quanto mais baixa for a percentagem de argila (para um mínimo arbitrário tão baixo como 3-5 por cento), maior compactação e cuidado são necessários na construção.

O maciço de montante não requer argilas altamente impermeáveis dado que isto poderia levar ao aparecimento de pressões ascendentes debaixo desta secção do aterro. Argilas mais permeáveis geralmente têm uma boa estrutura granular e inclui os típicos solos vermelhos (mas não solos lateríticos) e os mais leves e auto-aráveis solos basálticos da África Central e do Sul com a sua capacidade para mover as camadas superficiais (quando secas e quebradiças) para baixo, através de fendas no perfil. Solos argilo-arenosos são muito adequados para inclusão na secção de montante dado que compactam bem, possuem uma muito reduzida capacidade de percolação mas não permitem o acumular de altas pressões solo-água. As argilas não são necessárias no maciço de jusante dado que é essencial que esta secção seja de drenagem livre.

4.2.2 Limos

Evite incluir limos em qualquer das secções dum aterro. A falta de coesão, fraca estrutura, material fino e dificuldade na compactação são os seus maiores inconvenientes. É aceitável uma pequena proporção de limo, digamos argilo-limoso, mas deve-se tomar muito cuidado na sua utilização e aplicação de forma a assegurar o equilíbrio com outros solos e manter baixa a percentagem do seu teor.

Dado que podem ser confundidos com argilas finas, é importante diferenciar entre os dois quando testando a textura. Análises laboratoriais poderão ser, portanto, necessárias.

4.2.3 Areias

Um solo com predominância de areia não deverá ser usado na construção de barragens. Um solo arenoso poderá ser usado no maciço de jusante mas não deverá ser usado em qualquer outro lugar a não ser que não haja alternativa. Se um solo arenoso é usado no resto da barragem deverá ser dada especial atenção à compactação, o melhor solo reservado para o núcleo, e tomar em consideração a estanqueidade do aterro por outros meios.

As areias têm um papel importante nas barragens maiores como material de filtragem.

4.2.4 Materiais a evitar

Se existir qualquer dúvida sobre a adequação dum solo, é mais seguro evitar usá-lo. Alguns materiais nunca deverão ser usados na construção de barragens, em particular os seguintes:

- Materiais orgânicos (excepto quando usados para acabamento do aterro e outras partes do sítio da barragem no final do período de construção).
- Materiais em decomposição.
- Material com alta proporção de mica, que forma superfícies escorregadias em solos com percentagem baixa de argila.
- Solos com calcário calcítico, tais como argilas derivadas de calcário que, embora geralmente estáveis, são normalmente muito permeáveis.
- Limos finos, que são inadequados para qualquer zona da barragem.
- Xistos e xistos argilosos os quais, apesar de frequentemente grosseiros em textura, tem tendência para se desintegrarem quando molhados. Os xistos podem também conter grande quantidade de micas.
- Argilas expansivas com tendência ao fendilhamento e que se partem quando secas e que, quando molhadas, podem não selar a tempo de evitar infiltração através delas.
- Solos sódicos - argilas finas com uma alta proporção de sódio. Estes solos são difíceis de identificar no campo, e por isso todas as argilas finas deverão ser analisadas.

Solos sódicos

O contacto entre um solo sódico e água leva à ocorrência de desfloculação no perfil em que o sódio se acumulou, entrou no complexo de troca e causou a dispersão dos colóides. Por conseguinte, ocorre a redução dos espaços dos poros afectando a infiltração, permeabilidade e o arejamento. O pH⁶ e a condutividade eléctrica (afectada pela salinidade do solo – sendo importantes o sódio, magnésio e cálcio) são, em muitos casos, altos. Basicamente, isto leva a um comportamento altamente dispersivo quando molhados (i.e. como a maioria dos solos de barragem estarão) e logo, estes solos não se comportam de maneira nenhuma como argilas (que se ligam quando molhados) e são completamente inadequados para utilizar em qualquer aterro.

6. pH é o padrão de medida da acidez relacionada com a concentração de iões de hidrogénio. Um pH de 7 é neutro, solos com um pH entre 1 e 7 são ácidos e aqueles acima de 7 (até 14) são alcalinos.

Quaisquer argilas com um predominante de sódio (e, em menor grau, magnésio) entre os catiões de troca deverão ser evitadas como materiais de construção. Resultados laboratoriais mostrarão geralmente valores de percentagem de sódio de troca (PST) mais altos do que 15 e pH na ordem dos 8,5 a 10 embora solos sem calcário possam apresentar valores de pH tão baixos como 6. A estrutura ter-se-á deteriorado significativamente e os testes de compactação indicarão solos facilmente mobilizáveis, estruturalmente instáveis quando molhados e sob carga. A proporção de argila para sódio de troca, também será importante de tal maneira que um solo argilo-arenoso com valores de PST baixos (i.e. 8 ou superior), se mostrará mais instável do que um solo argiloso com um valor de PST mais alto.

Solos sódicos são virtualmente isentos de coesão quando molhados e são responsáveis por muitos tombamentos catastróficos de barragens. Estas falhas geralmente ocorrem pouco depois do primeiro enchimento do reservatório da barragem e normalmente não é aconselhável tentar fazer obras de reparação dado que aterro e a fundação ainda poderão ter áreas sódicas até então não afectadas. Se há suspeita de sodicidade, a melhor regra é a de não usar nenhum do solo em causa e evitar tais áreas quando se fazem trabalhos de barragem, núcleo ou fundação. No entanto, para solos com baixos níveis de sodicidade, tratamento químico com gesso e altos níveis de compactação para aumentar a impermeabilidade *in situ* (i.e. manter os solos sódicos mais secos do que o normal) pode ajudar a manter a estabilidade onde tais solos foram inadvertidamente incluídos nos materiais de aterro. A drenagem também será importante para baixar o nível freático no aterro e reduzir a pressão de poros.

Na África Central e do Sul, os solos sódicos são mais frequentemente encontrados em bosques e matos de mopane (*Colophospermum mopane*) (mupane, mutiati, mopaani, chanate, árvore da terebentina, árvore-borboleta), que se desenvolvem em solos derivados de rocha granítica (estes tem um teor mais alto de minerais de sódio do que os seus equivalentes basálticos, que tem tendência a serem mais ricos em materiais de cálcio) nos climas relativamente mais quentes e com precipitação mais baixa que permitem a acumulação de sódio nos horizontes superficiais do solo.

Argilas marinhas encontradas no Canada, Noruega e Suécia, chamados “argilas rápidas” e célebres pela sua viscosidade e capacidade de deslizar grandes distâncias quando molhadas, são semelhantes aos solos de mopane e foram criados pela deposição de sódio dentro dos horizontes do solo à medida que os níveis de poros de água diminuíam.

4.3 ANÁLISES MECÂNICAS

Deverão ser realizadas análises mecânicas de amostras de solo para avaliar constituintes, teor de minerais, características de compactação e para verificar outros tipos de factores como mica, limo, sodicidade, etc., que, aparentemente, podem tornar bons solos em inadequados. A correlação destes resultados, que com precisão avaliam limo, argila, areia e outras partículas num solo, com trabalho anterior, permitirá fazer estimativas do material de aterro disponível, sobrecargas a serem eliminadas e áreas inadequadas a serem evitadas.

Nunca é demais realçar a importância duma abordagem analítica correcta para determinar os vários tipos de solo para uma barragem zonada. Apesar de ser caro recorrer a um laboratório de solos, os resultados mais do que pagarão os custos envolvidos e, mais frequentemente do que não, assegurará a exclusão de material duvidoso no processo de construção.

4.4 TESTES LABORATORIAIS

Deverão ser realizados testes laboratoriais em amostras seleccionadas para confirmar as avaliações de campo e para determinar as propriedades físicas dos solos.

Os seguintes testes são recomendados (refira-se aos métodos e procedimentos pormenorizados nos nove documentos incluindo os Padrões Britânicos⁷ 1377 de 1990 -e alterações de 2007 - para informação definitiva sobre compactação, compressibilidade, permeabilidade, durabilidade e resistência ao cisalhamento):

- Gradientes: ambos, crivagem mecânica e testes hidrométricos, para determinar o tamanho e distribuição das partículas, identificarem o tipo de solo predominante e a possível permeabilidade do material.
- Testes de Atterberg: medem os limites plásticos e líquidos do solo para possibilitar classificar o material e avaliada a sua adequabilidade para construção.
- Teste de Proctor: para determinar a densidade seca máxima e o teor de humidade óptimo para usar nos controlos de compactação durante a construção. Solos compactados até à sua densidade seca máxima estão à sua tensão máxima.
- Teste de desagregação: para avaliar a dispersibilidade do solo.

Exemplos de faixas granulométrica típicas, baseado em análises (crivo) dum laboratório do Sul de África e de acordo com o tamanho das partículas, são dados na **Figura 5**. Nesta figura, quaisquer materiais de solo que satisfaçam as especificações encontradas entre as linhas a negrito seriam adequados para incluir nas partes do aterro representado nos gráficos. “Material do aterro” refere-se às secções a montante e a jusante duma barragem zonada: poderá ser necessário um maior diferenciamento onde são recomendados materiais diferentes para cada secção.

4.5 ÁREA DE EMPRÉSTIMO

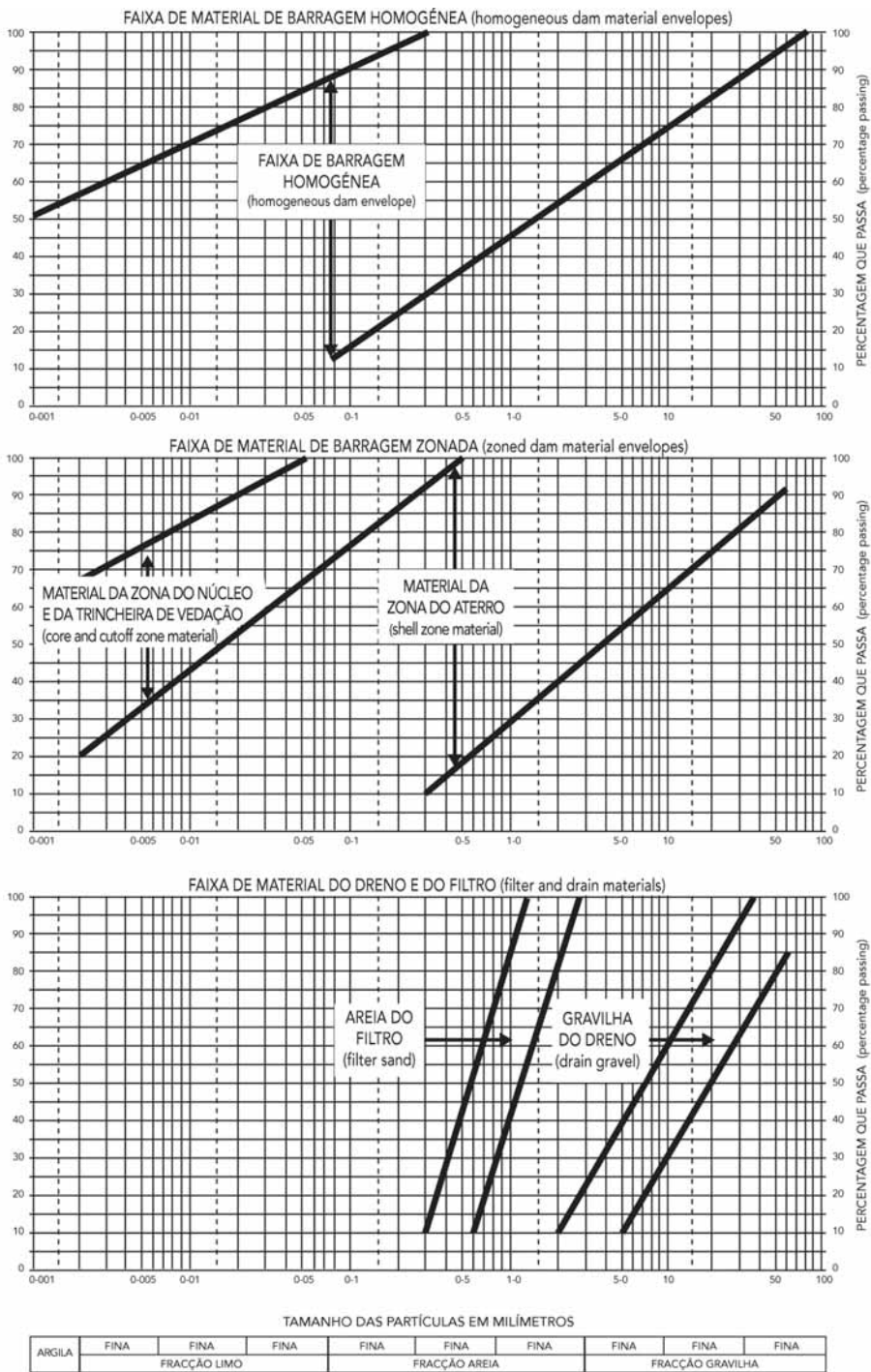
Deve dar-se preferência às caixas ou áreas de empréstimo na área do reservatório, seguido daquelas localizadas nas encostas do vale próximo do aterro. Áreas de empréstimo na área do reservatório têm a vantagem de aumentar a capacidade de armazenamento a montante e de não necessitarem de trabalhos de remediação uma vez concluída a barragem.

As áreas de empréstimo nunca deverão ser localizadas perto da área do pé de jusante da barragem, do descarregador/vertedor ou desembocadura ou em qualquer área propensa a erosão.

Uma área de empréstimo situada a alguma distância do local da barragem aumentará os custos de construção, o desgaste dos activos fixos tangíveis e maquinaria e o tempo de construção, assim, identifique sempre fontes de materiais o mais próximo possível do local da barragem.

7. Os padrões Britânicos estão disponíveis on-line no sítio da internet do grupo BSI ou noutros sítios da internet e livrarias.

Figura 5 – Faixa granulométrica de material





Seleccção do local e pesquisas preliminares 5

5 Seleção do local e pesquisas preliminares

5.1 INTRODUÇÃO

Apesar de que a seleção dum local adequado é essencialmente um exercício de campo, a utilização de fotografias aéreas⁸ e mapas a grande escala podem dar uma avaliação útil da topografia local e das condições hidrológicas antes de fazer qualquer visita de campo. Isto é especialmente importante em locais e em bacias hidrográficas de maiores dimensões onde muito tempo de campo pode ser poupado permitindo que os locais menos adequados sejam excluídos e fazer uma lista dos locais mais promissores.

Uma vez que a interpretação das fotografias aéreas tenha sido concluída e possíveis locais identificados, é essencial uma visita de campo. Nesta fase, a utilização dum sistema de posicionamento global (GPS) preciso, pode ser de muita utilidade. Se o local se revelar difícil, não deverá ser considerado a não ser que outras razões de força maior exijam a localização da barragem numa área específica – em todos estes casos é necessário conselho especializado de engenharia antes de fazer qualquer trabalho. É importante identificar onde é que a água a armazenar será usada: irrigação, por exemplo, envolve a transferência de grandes quantidades de água e, se o local da barragem é muito distante da área cultivada, poderão ser necessárias grandes despesas com tubagem e bombagem. Para grandes áreas irrigáveis, poderá ser necessária tubagem cara, de alta pressão e grande diâmetro, e poderá revelar-se mais económica a seleção dum local para a barragem, menos adequado e mais caro mas mais perto da terra em questão do que um local melhor mas mais longe.

Outros factores, como o acesso, disponibilidade de materiais, assuntos relacionados com a posse da terra, preocupações ambientais, necessidades da comunidade, distância até à fonte de electricidade mais próxima e inundação de estradas, pontes e edifícios deverão, nesta fase, também ser considerados, de modo que o custoso trabalho de pesquisa não seja desperdiçado.

5.2 FOTOGRAFIA AÉREA

O procedimento para usar fotografia aérea é como se segue:

- Os limites da área devem ser identificados e delineados.
- Áreas irrigáveis, pastagens e terrenos urbanizados deverão ser marcados para permitir a melhor localização de locais potenciais. Bacias hidrográficas – delineadas do seguimento de topos de colina e outras características - são normalmente obtidas de mapas dado que as bacias hidrográficas se podem estender para além dos limites das fotografias disponíveis. Se a fotografia começar a ficar demasiado sobrecarregada com pormenores, detalhes não essenciais podem ser eliminados para facilitar a interpretação.
- As linhas de corrente deverão ser desenhadas e as áreas que parece terem gradientes planos deverão ser marcadas com mais realce. Barragens localizadas em encostas íngremes são raramente económicas dado que os aterros permitem um armazenamento

8. Fotografias à escala 1/5 000 a 1/12 500 e mapas à escala de 1/25 000 a 1/50 000 são os mais adequados para interpretação a olho nu e estereoscópio. Imagens de satélite a uma escala adequada também poderão ser consideradas.

limitado, portanto, quando identificados na fotografia aérea ou no mapa, dever-se-á dar baixa prioridade a locais com encostas íngremes (i.e. acima dos 4-5 por cento).

Um bom local para uma barragem deverá ter uma bacia hidrográfica que não seja tão grande que necessite dum descarregador/vertedor muito caro mas também que não seja tão pequena que o rendimento do reservatório seja demasiado baixo ou errático para ser capaz de fornecer uma área económica dum sistema de regadio.

É difícil avaliar o declive sem o conhecimento da área e experiência em interpretação de fotografia aérea, assim, poderá não ser possível fazê-lo nesta fase. Baixos gradientes podem ser deduzidos das características naturais tais como ribeiros sinuosos e lagos de meandros (lagos em ferradura), acumulações de limos, áreas pantanosas, confluência de afluentes em ângulo recto e grandes espaços de conservação e drenagem em áreas cultivadas próximas. Uma vez que as linhas de corrente estejam marcadas e secções do leito avaliadas, os melhores locais poderão ser identificados.

Poderão ser estabelecidas prioridades com base nas indicações acima e nas seguintes considerações de ordem geográfica:

- Onde um ou mais cursos de água/afluentes encontram o leito principal, o local oferece armazenamento máximo.
- Onde a possível localização da barragem esteja perto do local onde a água é necessária ou que permita distribuí-la por gravidade, canalização de baixa pressão, ou por canal.
- Onde exista uma secção estreita do leito para a barragem e uma área de reservatório larga imediatamente a montante, de modo a resultar num aterro pequeno e numa grande capacidade de armazenamento.
- Onde se encontrem afloramentos rochosos, quer no rio (para locais de açude ou barragens de descarregador/vertedor central) e/ou nas encostas do vale para descarregadores/vertedores seguros. Isto é praticamente essencial em bacias hidrográficas maiores onde descarregadores/vertedores cobertos com erva (capim) não são aconselháveis.
- Onde alterações súbitas no gradiente do leito (de plano a muito íngreme a jusante) possam indicar bom potencial de armazenamento e permitir um local com boa drenagem para ser escolhido para o aterro.

Gradientes do leito e estimativas da altura e comprimento da barragem podem ser feitas a partir de fotografias usando uma barra de paralaxe ou a partir de mapas digitais através de software apropriado. Mesmo para um operador experiente, a revisão destas estimativas deverá ser feita no campo. A extensão do reservatório a montante da barragem (throwback) pode ser avaliado a olho nu a partir das fotografias ou, no caso de barragens maiores, de mapas topográficos locais, mas, mais uma vez, isto necessitará de confirmação no campo.

5.3 VISITAS DE CAMPO

Uma vez que os locais tenham sido identificados, pode organizar-se uma visita de campo à área para permitir a selecção do local mais adequado. Não há alternativa à visita física a cada um dos locais potenciais, ou qualquer outro que seja aparentemente interessante, ou que possa ser localizado discutindo os elementos acima indicados com pessoal local, dado que a interpretação da fotografia aérea ou mapa é apenas uma ferramenta para uma avaliação preliminar. Um reconhecimento superficial de todos os locais dentro da área envolvida incluindo, se necessário, estimativas de níveis e gradientes (um GPS suficientemente preciso ou nível será de grande ajuda nesta fase), com verificações nos descarregadores/vertedores, áreas de empréstimo e condições de fundações, permitirá que as vantagens relativas de cada local possam ser avaliadas. Os locais mais favoráveis poderão então ser decididos e os levantamentos preliminares realizados.

5.4 LEVANTAMENTOS PRELIMINARES

As implicações económicas e projectuais de cada local podem ser determinadas dum breve levantamento preliminar, usando um nível/teodolito ou equipamento GPS de precisão para traçar uma linha cotas ao longo do perfil (perto do local onde o eixo e o descarregador/vertedor da barragem são previstos) e ao longo do vale para fornecer indicações do gradiente do leito. O gradiente é necessário para estimar a extensão do reservatório a montante da barragem (throwback) e, para barragens maiores em gradientes mais planos, este pode frequentemente ser calculado a partir de mapas topográficos, com curvas de nível, à escala de 1/50 000.

Para cada local, o levantamento deverá ser suficientemente preciso e detalhado para permitir fazer estimativas comparativas para várias alturas da barragem. A altura mais económica é geralmente calculada na base do custo por unidade de volume de água. É então possível a comparação entre vários locais alternativos. Mais conselhos sobre o levantamento do local para posterior trabalho de projecto são dados na Secção 6.2.

5.5 RENDIMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O rendimento da bacia hidrográfica, “Y”, é baseado no escoamento anual esperado duma bacia e é um factor importante na avaliação da viabilidade duma barragem e na determinação da altura necessária para o aterro. Esta última é importante para permitir ao projectista da barragem dimensionar a barragem de modo a que se adeque ao afluxo esperado e estimar a área que poderá ser irrigada. É estimado como se segue:

- Onde a percentagem média de escoamento não é conhecida, use como guia a cifra de 10 por cento da queda pluviométrica anual média para a bacia hidrográfica. Se for conhecida mais informação, tome a precipitação num período de retorno de 1 em 10 anos como directriz.
- Calcule o escoamento anual da bacia, em mm, baseado na percentagem determinada acima. Isto é “Rr”.
- Meça⁹ a bacia de captação “A” em km², a montante do aterro proposto. Ignore quaisquer barragens a montante (uma vez que estas já poderão estar cheias na altura duma inundação – frequentemente no fim da época das chuvas – e logo não oferecem nenhum retardamento de qualquer inundação que se desloque para jusante) e calcule a área total da bacia.
- O escoamento anual para a bacia hidrográfica (o rendimento da bacia num ano médio), Y, em m³, é dado por:

$$Y = Rr \times A \times 1.000$$

5.6 CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO

Nesta fase, é calculado como se segue:

$$Q = \frac{LTH^3}{6}$$

Onde:

Q é a capacidade de armazenamento em m³ e não deve exceder Y acima.

L é o comprimento da parede da barragem a cota máxima (CM) em m.

9. Use um planímetro para mapas topográficos ou o apropriado software para computador para mapas digitais derivados de imagem de satélite.

T é a extensão do reservatório a montante da barragem (throwback), em m e aproximadamente em linha recta desde a parede.

H' é a altura máxima da barragem, em m, a CM.

6 é um factor de segurança que pode ser ajustado (para 5 ou 4) com experiência e conhecimento local.

Todas as medidas acima podem ser determinadas com a utilização dum nível ou teodolito (ou equipamento preciso de GPS) no local, quer na forma dum levantamento de corte transversal no eixo da barragem proposta ou, mais precisamente e levando mais tempo (mas mais útil quando está envolvida a comparação entre locais semelhantes), por um levantamento das linhas de nível seguido por um levantamento ou estimativa da extensão do reservatório a montante da barragem (throwback).

A capacidade estimada por este processo é exacta na ordem dos 20 por cento, mas deverá ser revista por uma inspecção mais pormenorizada quando o local for aprovado para possível construção.

A fórmula considera o volume de água como sendo uma pirâmide invertida com uma área de superfície triangular ($LT/2$) e $H^2/3$ para a altura/profundidade e é uma simplificação da realidade. Com experiência, uma pessoa será capaz de julgar com bastante precisão como um determinado vale se comparará com esta visão idealizada e, assim, ajustar as conclusões resultantes.

5.7 VOLUME PRELIMINAR DA TERRAPLANAGEM

O volume da terraplanagem pode ser calculado como se segue:

$$V = 0,216 HL (2C+HS)$$

Onde:

V é o volume da terraplanagem em m^3 .

H é a altura do coroamento ou crista/soleira (CM+folga/borda livre) da barragem, em m.

L é o comprimento da barragem, à altura do coroamento ou crista/soleira H, em m (incluindo descarregador/vertedor).

C é a largura do coroamento ou crista/soleira em m.

S é o valor combinado do talude.

Por exemplo, se os taludes do aterro são 1:2 e 1:1,75, $S=3,75$.

Esta fórmula é baseada em equações de área para a secção transversal e secção longitudinal com a inclusão dum factor de ajustamento desenvolvido empiricamente. De novo, isto apresenta uma solução idealizada e no que diz respeito à fórmula de capacidade, esta apenas deverá ser usada na fase preliminar da avaliação. A fórmula é, no entanto, razoavelmente precisa e se é conhecido um valor médio geral para os custos de terraplanagens, poderá ser derivada uma indicação do custo para todo o aterro.

5.8 ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA E DIMENSÕES DO DESCARREGADOR

Uma estimativa exacta da bacia hidrográfica, quer por fotografia aérea ou mapas topográficos de grande escala, é essencial para o cálculo do rendimento da bacia e do pico de cheia. Para ambos, dados hidrológicos (principalmente pluviosidade e escoamento superficial), factores

topográficos e a configuração da bacia hidrográfica serão as influências mais importantes. A capacidade máxima de projecto do reservatório é directamente relacionada com o rendimento da bacia multiplicado por um factor de projecto que normalmente é derivado localmente da história de outras barragens. No caso em que uma série de pequenas barragens são construídas numa bacia hidrográfica, o tamanho da bacia para cada uma das barragens deverá ser tomado como a área total da bacia acima da barragem em consideração, não apenas a área compreendida entre esta e a da acima desta. O projectista da barragem tem que assumir que o pico de cheia ocorrerá quando todas as barragens acima estão cheias e portanto não terão efeitos significativos de retardação ou retenção da cheia – isto é da máxima importância para projectar o descarregador/vertedor para passar o pico de cheia com segurança.

As barragens não devem ser situadas em bacias tão pequenas que é improvável que encham num ano médio, excepto muito raramente onde outras considerações, tal como a provisão de abastecimento essencial de água, deverão ser tomadas em consideração.

Estimativas de pico de cheia são necessárias para projectar o descarregador/vertedor, cujas dimensões e características físicas são extremamente importantes. Se um descarregador/vertedor adequado e de tamanho suficiente não está disponível num dado local, ou que se mostre demasiado caro, é aconselhável mudar-se para um local alternativo, melhor, onde existam as condições para o descarregador/vertedor. Em bacias maiores (i.e. maiores do que 5-8 km²) e rios de natureza instável, os descarregadores/vertedores são praticamente indispensáveis. Portanto, rocha sólida, de boa qualidade e largura adequada deverá estar disponível para todas as barragens, excepto as mais pequenas, e, como indicação nesta fase e sujeito a reavaliação na fase de projecto detalhado, poderá ser adequada uma largura mínima de 15 m a 1,5 m de folga/borda livre para uma barragem numa bacia hidrográfica de cerca de 5 km². No entanto, se não estiverem disponíveis dados hidrológicos e/ou gráficos de projecto, deverá ser procurado conselho de engenheiros locais e pessoas locais experientes.

É muito provável que mais barragens na África Ocidental e do Sul sofram problemas devidos a descarregadores/vertedores mal desenhados do que por qualquer outra razão. Se não houver pedra suficiente, o local não deverá ser usado para uma barragem.

Descarregadores/vertedores cobertos com erva (capim), quer natural quer cortados, são apenas adequados para bacias hidrográficas pequenas (i.e. até 5 km²) e baixas velocidades de fluxo (certamente abaixo de 1m/s¹⁰) e mesmo assim poderão necessitar de manutenção contínua durante a vida da barragem para evitar que a erosão se torne num problema grave. A capacidade da vegetação ou solo de resistir à erosão é limitada e manter uma superfície plana e uniforme é muito importante. A estabilidade do canal como um todo dependerá da estabilidade da secção com cobertura mais escassa por isso é aconselhável estabelecer uma boa e completa cobertura com uma erva (capim) rastejante.

A condição da cobertura de erva (capim) afectará directamente o coeficiente de aspereza do canal, que, por sua vez, depende do fluxo. Um fluxo baixo, encontrará grande resistência enquanto que um fluxo maior achatará a erva (capim) e assim encontrará muito menor resistência. Velocidades não erosivas máximas permitidas são mais altas em descarregadores/vertedores cobertos com erva (capim) que tenham sido plantados com variedades rastejantes baixas tais como capim kikuyu, capim-kikuio, capim-quicuiu, capim-quicuiu, (*Pennisetum clandestinum*), elitrigia (*Elytrigia repens* - syn. *Triticum repens* L.; *Agropyron repens* (L.) P. Beauv.; *Elymus repens* (L.) Gould), estrela roxa, estrela Africana roxa, estrela Africana, capim estrela da África (*Cynodon nlemfluensis* ou *C. plectostachyus*). Estas podem estabelecer uma cobertura uniforme oferecendo mínima resistência ao caudal e máxima protecção ao solo por baixo.

10. Ver Tabela 4 na Secção 6.

No entanto, mesmo onde caudais normais possam constituir um risco de erosão (i.e. se espera que o fluxo continue durante a estação seca e/ou durante um período de vários meses ou mais) um descarregador de cheias com caixa colectora deverá ser planeado e localizado no lado oposto do aterro em relação ao descarregador/vertedor principal e a uma altura, no lado montante da barragem, ligeiramente mais baixo (geralmente 50-100 mm) do que a cota máxima.

As dimensões do descarregador/vertedor estão ligadas ao tamanho e às características da bacia hidrográfica. Uma bacia hidrográfica com superfícies rochosas ou íngremes (e logo, com alto escoamento superficial) terá picos de cheia maiores do que uma bacia dentro da mesma zona climatológica com declives menos acentuados e com encostas bem cobertas de vegetação e com a mesma área. Similarmente, uma bacia longa e estreita terá um maior tempo de concentração de água de cheia depois duma tempestade do que uma bacia larga com as mesmas características e portanto origina, para a mesma área, picos de cheia mais baixos.

5.9 PICOS DE CHEIA

O pico de cheia é a cheia máxima provável (CMP) esperada duma bacia hidrográfica depois duma queda de chuva, de intensidade e duração estimada, para um dado período de retorno¹¹, tendo em consideração as características hidrológicas da bacia. Em muitas partes do Mundo a informação não está disponível ou os pequenos cursos de água não estão avaliados para permitir uma estimativa de tais cheias para efeitos de projectar o descarregador/vertedor. Em barragens e bacias hidrográficas maiores, onde é mais importante que o descarregador/vertedor seja correctamente e convenientemente dimensionado, é economicamente vantajoso estudar a hidrologia, clima, topografia e assim por diante, de forma a chegar a uma razoavelmente correcta estimativa da CMP. No entanto, para barragens e bacias mais pequenas, a não ser que esta informação já esteja disponível, o engenheiro raramente poderá justificar o custo deste exercício e deverá recorrer a outros meios para calcular a CMP com segurança.

Quando o projectista não tem acesso a um hidrologista, ou não está disponível informação hidrológica pormenorizada, o **Método Racional** – baseado na área da bacia hidrográfica e numa hipotética intensidade uniforme da queda pluviométrica e do escoamento – é uma ferramenta útil para a estimativa do pico de cheias em pequenas bacias. Neste manual, assume-se que o Método Racional será usado para a maioria dos casos.

O Método Racional é o mais adequado para bacias hidrográficas abaixo dos 15 km² e exige que o engenheiro conheça a área da bacia e a queda pluviométrica máxima diária. Outros factores, tais como a topografia (especialmente o declive) a configuração da bacia e o coberto vegetal também poderão exigir atenção. Estes são geralmente tidos em consideração no cálculo do “Tempo de concentração” (T_c).

Onde outras estruturas já existam na bacia, ignore qualquer efeito de redução de cheia que possam ter, dado que, em muitos países, a cheia máxima provável ocorrerá no fim da época das chuvas quando todas as áreas de armazenamento, naturais ou não, estão à capacidade máxima e terão, por isso, pouco efeito na redução do escoamento e retenção da água de cheia.

11. Normalmente 1 em 20, 25 ou 50 anos para pequenas barragens mas pode ser tão alto como 1 em 1 000 anos para barragens maiores. No caso da barragem de Kariba, o descarregador/vertedor é projectado para 1 em 10 000 CMP.

5.10 CÁLCULO DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL (CMP) SEGUNDO O MÉTODO RACIONAL

O processo a seguir para calcular a cheia máxima provável usando o Método Racional é:

1. Localize a barragem ou o novo local no mapa topográfico apropriado (a escala de 1:50 000 é normalmente apropriada para todas as barragens, excepto para as bacias mais pequenas) e desenhe o contorno da bacia hidrográfica a montante do eixo do aterro. Com o auxílio dum planímetro meça a área da bacia, 'A', em km².
2. Usando uma roda medidora de distância ou instrumento semelhante, meça a distância, L, do rio/ribeiro principal, a montante do local e até ao rio principal, em km.
3. Calcule a diferença de elevação, 'h', em m, entre o local da barragem e o principal curso de água e a sua fonte. Para isto, é essencial um mapa com curvas de nível e poderá ser necessária alguma extrapolação se os intervalos das curvas de nível forem grandes.
4. Determine o tempo de concentração, 'T_c', em horas, usando a fórmula:

$$T_c = (0.87 L^3/h)^{0.385}$$

5. De registos de queda pluviométrica ou mapa de distribuição da precipitação, faça uma estimativa da precipitação média anual da bacia. Usando um gráfico semelhante ao da **Figura 6a**, calcule o valor da precipitação máxima em 24 horas 'P' (one-day storm rainfall), para o período de retorno¹² seleccionado. Use o período de retorno de 1:20 a 1:25 anos para bacias mais pequenas e período de retorno de 1:50 anos para bacias ou barragens de maiores dimensões, ou barragens onde assuntos de segurança são mais importantes (*i.e.* perto de áreas populacionais).
6. Deduza a relação da intensidade-duração da precipitação 'R' (storm depth ratio) a partir do gráfico na **Figura 6b**, usando o 'T_c' determinado acima.
7. Calcule a altura máxima do declive do canal em percentagem [(100 h/(1 000 litros))] e faça uma estimativa dum coeficiente de escoamento, "Cr", para o período de retorno suposto usando o gráfico na **Figura 6c**. Se é sabido que o escoamento é excessivo, tal como em encostas nuas e erodidas, o coeficiente de escoamento poderá ser aumentado até 20 por cento mais.
8. Determine a cheia máxima provável (CMP), 'Q_p', em m³/s, usando:

$$Q_p = 0.278 A P R Cr/T_c$$

Onde não estejam disponíveis outros dados, e figuras como as 6a e 6b não podem ser esquematisadas, poderá fazer-se uma estimativa aproximada do pico de cheia tomando o valor mais alto da precipitação diária para a bacia hidrográfica e assumindo que todas as barragens na mesma bacia estão 100 por cento cheias, o solo está saturado e que o escoamento ocorrerá a 100 por cento. Por exemplo, se uma precipitação de 223 mm caiu numa bacia com uma área de 19 km², o pico de cheia estimado seria na ordem de 49 m³/s durante um período de 24 horas. Seja prudente quando usar aproximações ou estimativas para pico de cheias; 2-4 m³/s por km² de área de bacia por período de 24 h é uma indicação mas este número deverá sempre ser adaptado tendo em conta condições climáticas e topográficas locais.

No Zimbabué, os departamentos governamentais adequados, usando dados meteorológicos e hidrológicos acumulados, proporcionam aos projectistas de barragens, gráficos para estimar as dimensões do descarregador/vertedor em pequenas barragens até 14 m de altura, em bacias hidrográficas até 120 km² de área e fórmulas e tabelas para barragens médias em áreas de bacia¹³ maiores. O Ministério da Agricultura, em conjugação com os seus funcionários de

12. O período de retorno é o intervalo de recorrência de cheia para uma dada descarga num ribeiro ou rio.

13. Para barragens maiores e mais complexas em bacias maiores, o Ministério do Desenvolvimento da Água produz tabelas de cheia máxima provável baseadas sobre uma série de períodos de retorno de 1 em 25 a 1 em 10 000 anos mais outra informação para, com segurança e precisão, dimensionar descarregadores/vertedores.

campo e engenheiros e o Tribunal da Água, controlam a construção de pequenas barragens agrícolas no Zimbabué e os gráficos são disponibilizados aos agricultores e extensionistas para permitir o cálculo das dimensões da maioria dos descarregadores/vertedores com uma boa margem de segurança. O procedimento para a utilização dos gráficos é simples e estes podem ser uma ferramenta inestimável para o projectista de barragens – engenheiro naquela área, apesar de que na maioria dos casos são usados com algumas modificações baseadas em conhecimento e experiência locais.

Os gráficos são baseados em dados e fórmulas adaptados para climas e topografia da África Central e do Sul. No Zimbabué (e na Zâmbia), a intensidade e duração da precipitação são os esperados num clima subtropical do tipo estação das chuvas – estação seca, com taxas de precipitação total variando entre 450 e 850 mm caindo durante os cinco ou seis meses mais frios do ano.

Para climas com precipitação menos intensa tais como locais costeiros mais baixos, em África e alguns ambientes Norte Americanos e Australianos, os picos de cheia seriam mais baixos e os descarregadores/vertedores muito mais pequenos.

Figura 6a – Precipitação máxima de um dia

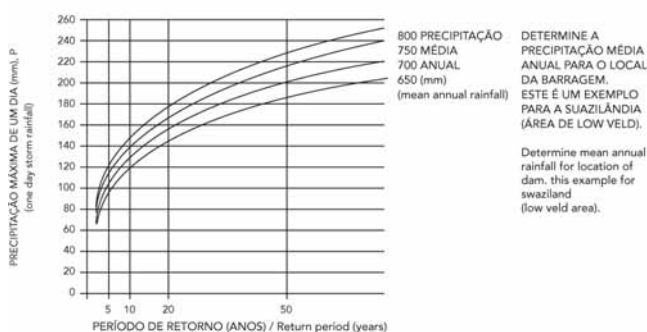


Figura 6b – Intensidade-duração da precipitação (Storm depth ratio)

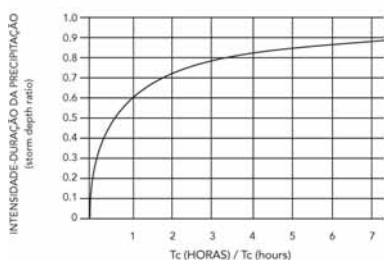
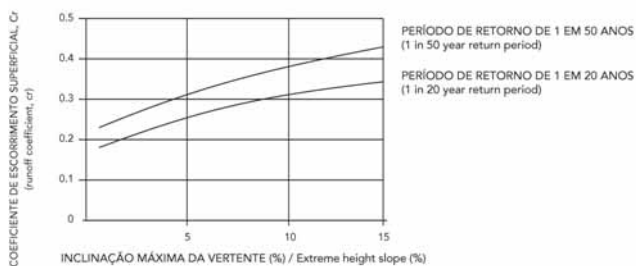


Figura 6c – Coeficiente de escoamento superficial



Onde houver disponibilidade de dados, não seria difícil realizar gráficos ou tabelas semelhantes e, uma vez determinados os picos de cheia, estariam disponíveis os parâmetros hidráulicos para estimar larguras e profundidades dos descarregadores/vertedores.

Em todos os casos, no entanto, tais gráficos e tabelas são, por natureza, de ordem geral e deverão sempre ser usados com cautela e, sempre que possível, serem adaptados para se adequarem às condições locais.

Uma vez que a CMP tenha sido estimada, a largura do descarregador/vertedor pode ser calculada usando a fórmula:

$$Q_p = 1.7 b D^{1.5}$$

onde b e D são em m e Q_p é em m^3/s

‘1,7’ é o factor derivado para coroamentos ou cristas/soleiras em betão tipo “ogee” e pode variar até 2,25 de acordo com as condições do local e factores de segurança. 1,7 é geralmente usado para descarregadores/vertedores para pequenas barragens ou pequenas bacias.

‘ b ’ é a largura mínima do descarregador/vertedor e é calculada introduzindo os valores para Q_p (estimado usando as opções acima) e $D^{1.5}$. Assume-se que b é grande quando comparado a D e que o canal do descarregador/vertedor será, assim, rectangular.

‘ D ’ é a altura do descarregador/vertedor ao nível do coroamento ou crista/soleira e incluirá todo ou parte da folga/borda livre do projecto. ‘ D ’ está normalmente na ordem de 0,75 m a 1,5 m para pequenas barragens e inclui a totalidade da folga/borda livre. No entanto, onde a acção de ondas ou o retorno de cheias possam afectar a barragem, uma folga/borda livre “seca” adicional até 0,75 m deverá ser adicionada ao número acima por razões de segurança.

Uma vez que todos os outros valores sejam conhecidos, ‘ b ’ pode então ser calculado e a melhor opção para várias profundidades, ‘ D ’, pode ser escolhida.

A largura ‘ b ’ é a largura mínima para o descarregador/vertedor poder suportar a cheia de projecto. Assume-se que não há estrangulamentos a jusante do descarregador/vertedor. Numa fase posterior do processo do projecto, poderá ser necessário ajustar a largura e a altura de modo a adequá-los à topografia local e ao material do leito do descarregador/vertedor.

5.11 ESTIMATIVA DO ARMAZENAMENTO NECESSÁRIO

Neste momento, é prudente avaliar melhor a quantidade económica de água necessária da barragem.

Isto, para barragens para irrigação, incluirá necessidades de rega, outros usos (gado/fornecimento doméstico), perdas por percolação e evaporação e armazenamento inactivo/volume morto.

- Necessidade de rega pode ser calculada multiplicando as necessidades brutas anuais de rega por hectare pela área proposta. Isto poderá ter de ser ajustado uma vez que o armazenamento estimado para a barragem seja calculado.
- Caudais ambientais para descarregar caudais normais no rio ou para cumprir com requisitos legais a jusante.
- Outros usos tais como água para gado podem ser calculados por estimativa do volume de água necessária para este fim. A FAO poderá prestar conselhos, assim como o poderão fazer as autoridades governamentais locais e outras organizações. Como guia,

o seguinte pode ser usado (assumindo que os animais estão em pastagens secas e água de boa qualidade está disponível):

- Gado Bovino 40-80 litros/dia para cada animal
(vacas leiteiras poderão necessitar 100 litros/dia).
- Gado jovem 25-50 litros/dia.
- Porcos 25 litros/dia.
- Aves de capoeira 30 litros/dia para 100 aves adultas.
- Colmeia 2 litros/dia.
- Ovelhas 2-6 litros/dia.
- Cabras 3-8 litros/dia.
- Camelos 30-40 litros/dia.
- Cavalos 40-50 litros/dia.

Adicione 10 por cento a todo o total calculado para utilização de água por animais selvagens e adicione outros 10 por cento se a água tiver um teor de sal mais alto do que o recomendado. Águas ligeiramente salinas podem ser toleradas pelos animais (mas porcos e aves de capoeira são mais sensíveis), mas consumirão mais para permitir uma maior renovação de água para regular o equilíbrio de sal no corpo.

- O provisionamento de bebedouros é sempre recomendado. As barragens deverão ser vedadas e o gado impedido de beber directamente do reservatório ou de danificar os arredores da barragem por sobrepastoreio da área da bacia, pisoteamento nas imediações do reservatório e chafurdar no próprio reservatório.
- O uso doméstico da água – optando por água canalizada usando filtros ou similar – pode ser calculado determinando o número esperado de pessoas que usarão a barragem para água e estimando as necessidades anuais ou da estação seca. Um mínimo de 20-50 litros/dia por pessoa em áreas mais rurais poderá ser considerado, se o fornecimento da água não for canalizado, mas deverão fazer-se ajustes para um aumento de consumo em áreas de alta densidade populacional e onde os níveis de urbanização poderão crescer.
- As perdas por percolação são sempre difíceis de estimar antes da construção da barragem e de calcular uma vez a barragem construída. Assim como todas as barragens terão perdas por percolação, o melhor é estimar que um aterro bem construído perderá cerca de 10 por cento da sua água por percolação por ano.
- As perdas por evaporação podem ser calculadas com base em registos locais tendo em consideração que reservatórios com grandes superfícies rasas terão maiores taxas de evaporação de que reservatórios estreitos e profundos. O vento também é um factor importante em áreas secas. Taxas anuais de evaporação de barragens em África podem exceder 30 por cento, mas para calcular usos da água (i.e. para irrigação), onde números actualizados não são conhecidos, perdas durante a estação seca podem ser consideradas como 20 por cento no máximo.
- O armazenamento inactivo/volume morto é a quantidade de água retida na barragem e a que não se tem acesso. O armazenamento inactivo/volume morto varia de acordo com o projecto, alturas de carga de aspiração e posições de quaisquer outras estruturas de descarga no aterro. Também será mais, proporcionalmente, para uma pequena barragem do que para uma barragem maior e proporcionará uma área, em todas as barragens, para a acumulação de sedimentos. Para efeitos de projecto, um máximo de 5 por cento do total da água armazenada pode ser usado para estimar o armazenamento inactivo/volume morto.

Uma vez que o acima tenha sido estimado, pode ser calculado o montante disponível para rega. É nesta fase que as áreas propostas para irrigação podem ser ajustadas e feitas as análises económicas.

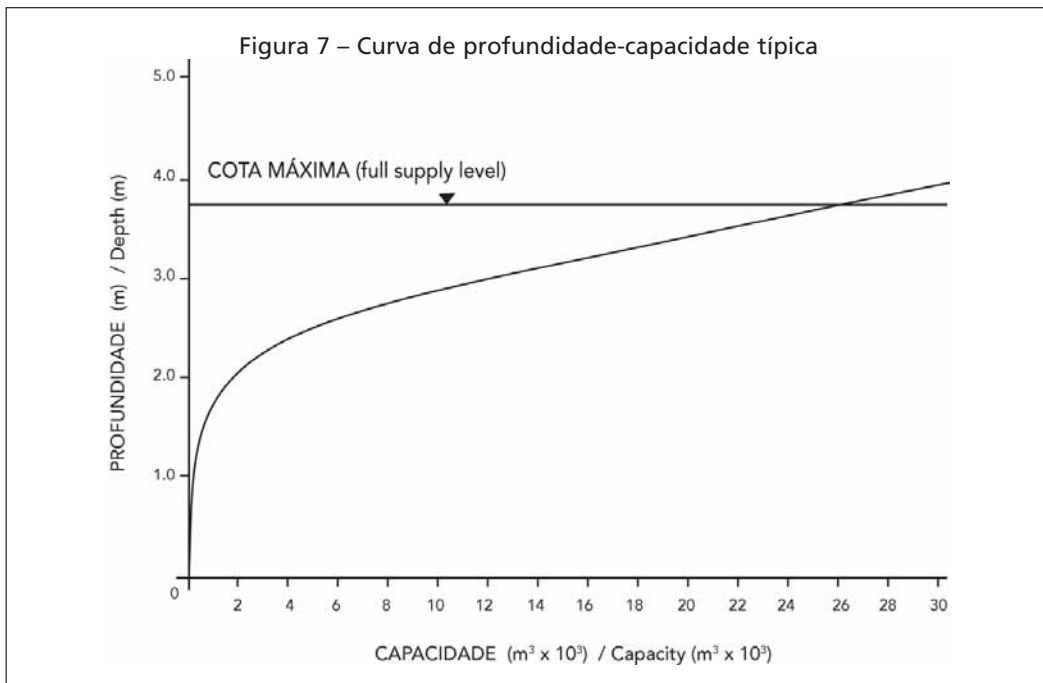


Projecto detalhado 6

6 Projecto detalhado

6.1 INTRODUÇÃO

Uma vez que todas as pesquisas preliminares tenham sido feitas e um local adequado tenha sido encontrado, o próximo passo é realizar um levantamento pormenorizado do vale e da área do reservatório para permitir estimativas mais exactas de quantidades e para fornecer os dados necessários para realizar o projecto. O objectivo de tal levantamento é apresentar, em papel, um mapa com curvas de nível do reservatório até, e excedendo, o nível de cheia máxima e dar pormenores sobre a localização do aterro, descarregador/vertedor e outras estruturas de descarga. A partir do mapa com curvas de nível, a capacidade do reservatório pode ser avaliada para diferentes alturas da barragem. Uma curva cota x volume pode então ser elaborada de forma a fornecer um método fácil e rápido para o projectista da barragem escolher a cota máxima óptima. Um exemplo simplificado duma curva cota x volume é mostrado na **Figura 7**. Com frequência, a curva cota x área (normalmente com uma escala invertida) é adicionada aos gráficos.



6.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Para grandes áreas poderá ser possível traçar um mapa com curvas de nível – a um intervalo adequado para o projecto (normalmente 0,5 m é satisfatório para pequenas barragens) – a partir de fotografia aérea ou imagens de satélite usando técnicas especializadas de plotagem e digitalização em estéreo que, embora caro, pode pagar por si, pelo tempo que pode poupar evitando trabalho de campo. No entanto, se isto não for possível, como é normal em locais mais pequenos, será necessário um dos três métodos para levantamento de campo¹⁴ listados abaixo:

14. Nesta fase, não são necessários altos níveis de precisão, considerando que elevações serão mais tarde afectadas pelas actividades de pré-construção.

1. Levantamento em grelha

Este é um método simples e de fácil execução, apesar de demorado. Também poderá não ser possível se a área é densamente coberta de vegetação e/ou fisicamente inacessível.

2. Levantamento de corte transversal

Levantamentos de corte transversal são executados ao longo de várias linhas no vale(s) do rio a partir de marcas de referência previamente estabelecidas. Elevações são anotadas a intervalos regulares e características marcantes (em particular alterações de declive) são também anotados.

3. Cotas

Este método é especialmente adequado para grandes áreas. É estabelecido um itinerário de marcas de referência e em cada estação são feitas observações de cota com posição, distância e elevação. Para barragens mais pequenas, e se é usado um teodolito ou aparelho electrónico, poderá ser possível fazer todas as leituras desde uma só estação. Alternativamente, podem ser usados levantamentos razoavelmente precisos, realizados com um aparelho de GPS, para estabelecer uma rede de leituras de elevação ao longo do local.

6.3 REVISÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO

A partir do levantamento topográfico, poderá ser feita uma estimativa da área de superfície do reservatório tanto para o nível de pleno armazenamento como para outros níveis. A capacidade aproximada do reservatório pode ser avaliada com recurso à **Tabela 2** abaixo. Por exemplo, para estimar a capacidade dum reservatório com uma profundidade máxima de 3,25 m e uma área de superfície de água de 32,7 ha, são feitos os seguintes passos, extrapolando quando necessário:

$$(i) \quad 30 \text{ ha at } 3.25 = 325\,000 \text{ m}^3$$

$$(ii) \quad 2 \text{ ha at } 3.25 = 21\,666 \text{ m}^3$$

$$(iii) \quad 0.7 \text{ ha at } 3.25 = 7\,583 \text{ m}^3$$

$$\text{Capacidade total} = 354\,249 \text{ m}^3$$

Uma referência rápida usando a fórmula:

$$Q = \frac{H' A'}{3}$$

onde H' é a profundidade máxima em m (3,25 m) e A' é a área de superfície em m² (327 000 m²) resulta num valor de 354 250 m³ e correlaciona-se muito de perto com aquele já determinado da **Tabela 2**.

6.4 REVISÃO DO VOLUME DA TERRAPLANAGEM

Método 1

Apesar deste método não ser tão preciso como o Método 2, é útil para o cálculo relativamente rápido dos volumes dum número de barragens, para efeitos de comparação. É razoavelmente preciso nas suas estimativas de quantidades e subsequente estimativa dos custos dos trabalhos propostos. Os volumes do aterro são calculados, tal como o exemplo mostrado na **Figura 8a**, como se segue:

Preencha a coluna referente ao nível reduzido, no lado esquerdo do papel quadriculado, começando com o nível estabelecido do coroamento ou crista/soleira, na primeira linha.

É aconselhável, para maior facilidade de trabalho, usar consistentemente uma referência de nível reduzido de 100 (principalmente para evitar ter valores negativos quando referindo à altura do coroamento ou crista/soleira e para fazer mais facilmente quaisquer cálculos acima ou abaixo deste nível de referência) seja para o ponto mais alto ou para o ponto mais baixo do aterro proposto.

Tabela 2: Capacidades aproximadas do reservatório (em m³)

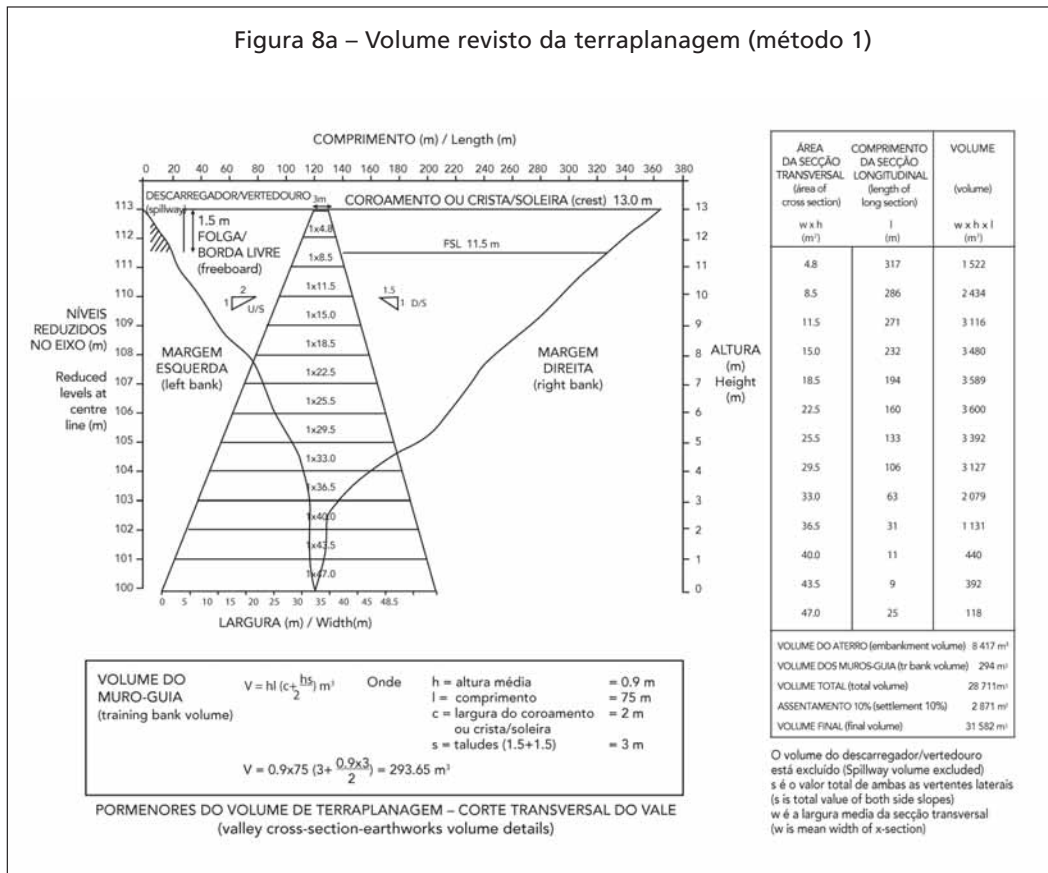
Área do reservatório (ha)	Profundidade da água no ponto mais profundo						
	1 m	1.5 m	2 m	2.5 m	3 m	3.5 m	4 m
1	3 333	5 000	6 666	8 333	10 000	11 666	13 333
2	6 666	10 000	13 333	16 666	20 000	23 333	26 666
3	10 000	15 000	20 000	25 000	30 000	35 000	40 000
4	13 333	20 000	26 666	33 333	40 000	46 666	53 333
5	16 666	25 000	33 333	41 666	50 000	58 333	66 666
6	20 000	30 000	40 000	50 000	60 000	70 000	80 000
7	23 333	35 000	46 666	58 333	70 000	81 666	93 333
8	26 666	40 000	53 333	66 666	80 000	93 333	106 666
9	30 000	45 000	60 000	75 000	90 000	105 000	120 000
10	33 333	50 000	66 666	83 333	100 000	116 666	133 333
20	66 666	100 000	133 333	166 666	200 000	233 333	266 666
30	100 000	150 000	200 000	250 000	300 000	350 000	400 000
40	133 333	200 000	266 666	333 333	400 000	466 666	533 333
50	166 666	250 000	333 333	416 666	500 000	583 333	666 666
	Profundidade da água no ponto mais profundo						
	4.5 m	4.75 m	5 m	5.25 m	5.5 m	5.75 m	6 m
1	15 000	15 833	16 666	17 500	18 333	19 166	20 000
2	30 000	31 666	33 333	35 000	36 666	38 333	40 000
3	45 000	47 500	50 000	52 500	55 000	57 500	60 000
4	60 000	63 333	66 666	70 000	73 333	76 666	80 000
5	75 000	79 166	83 333	87 500	91 666	95 333	100 000
6	90 000	95 000	100 000	105 000	110 000	115 000	120 000
7	105 000	110 833	116 666	122 500	128 333	134 166	140 000
8	120 000	126 666	133 333	140 000	146 666	153 333	160 000
9	135 000	142 500	150 000	157 500	165 000	172 500	180 000
10	150 000	158 333	166 666	175 000	183 333	191 666	200 000
20	300 000	316 666	333 333	350 000	366 666	383 333	400 000
30	450 000	475 000	500 000	525 000	550 000	575 000	600 000
40	600 000	633 333	666 666	700 000	733 333	766 666	800 000
50	750 000	791 666	833 333	875 000	916 666	958 333	1000 000

Trace a secção longitudinal marcando com precisão elevações em relação a distância (na escala ao alto marcada comprimento do coroamento ou crista/soleira) e junte os pontos com uma linha para mostrar o perfil da secção transversal do vale. O descarregador/vertedor não está incluído.

Trace a secção transversal da barragem à sua altura máxima (*i.e.* acima do leito do curso de água) após assentamento, começando com o pé de montante à esquerda, no zero (usando a escala horizontal em baixo, marcada largura da base), progredindo para o coroamento ou crista/soleira, ao longo e para baixo para o pé de jusante. Este traçado deverá ser feito com precisão dado que as dimensões da escala serão usadas nos cálculos. Calcule, e verifique por medição, valores de *w* (*i.e.* a largura média de cada 0,5 m ou 1 m de secção transversal) iniciando com a secção do coroamento ou crista/soleira e inserindo-o na coluna e linha apropriada.

Meça cuidadosamente os valores de **I** (i.e. o comprimento da secção longitudinal para corresponder com cada posição de **w**) e, de novo, insira-o na coluna e linha apropriada. Multiplique cada **w** pelo correspondente **l**, e a altura da secção **h**, e insira o resultado na coluna de Volume, na linha apropriada. Faça o somatório desta coluna para achar o volume da terraplanagem na barragem.

Se um muro-guia (para canalizar caudais no descarregador/vertedor para descarga em segurança) tem que ser construído, também deverá ser calculado usando a fórmula mostrada abaixo e adicionado ao volume total, acima. Por fim, adicione 10 por cento a este total para incluir assentamento de outras obras de terraplanagem.



Comparação deste resultado com o resultado obtido pela fórmula

$$V = 0,216 HL (2C + HS)$$

é susceptível de conduzir a diferenças muito significativas. O resultado da fórmula deverá ser muito maior, mas isto é aceitável porque a fórmula é usada para calcular o custo total da barragem e não apenas a terraplanagem. Na fase de reconhecimento, é necessário um planeamento geral de custos e isto é calculado usando uma taxa global estimada por m³ de terraplanagem que incluirá todos os itens pormenorizados na **Tabela 3** na secção seguinte.

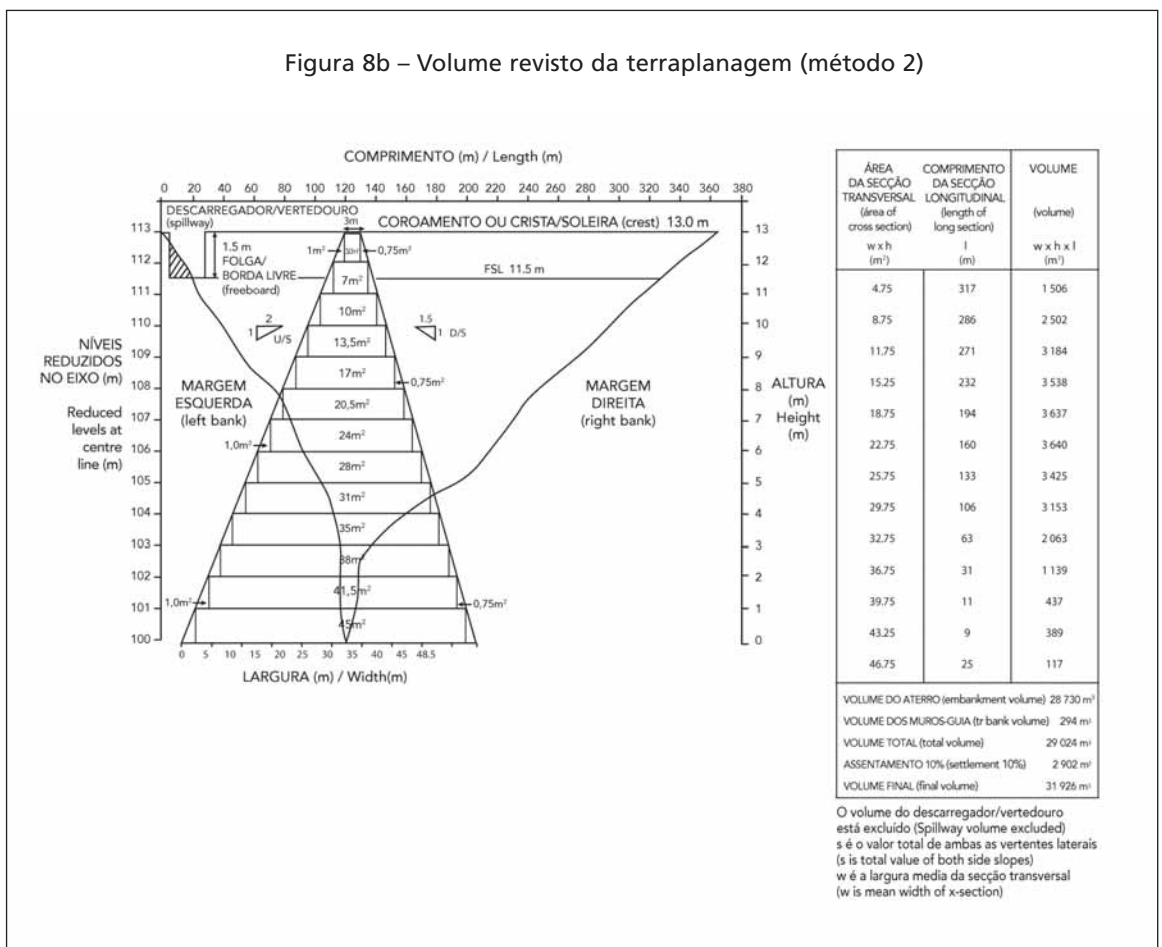
Metodo 2

Método 2 (ver **Figura 8b**) é muito semelhante ao Método 1 excepto que a área da secção transversal é calculada mais precisamente. A secção transversal é concluída como ilustrado e cada rectângulo tem a sua respectiva área calculada numa forma simples e clara (*i.e.* comprimento x largura). As restantes peças triangulares que ladeiam cada rectângulo tem áreas constantes que são calculadas como segue:

- Declive de montante 1:2, altura da secção 1 m,
Área do triângulo de montante = $(2/2) \times 1 = 1 \text{ m}^2$
- Declive de jusante 1:1,75, altura da secção 1 m, área do triângulo de jusante =
 $(1,75/2) \times 1 = 0,875 \text{ m}^2$

Logo, cada área transversal pode agora ser calculada relativamente rápido e a forma de calcular os volumes prossegue como no Método 1.

Figura 8b – Volume revisto da terraplanagem (método 2)



Versões finais do método podem então ser apresentadas em esboços do projecto com margem para sobre-escavação, muros-guia e assentamento e sem os cálculos.

6.5 PLANTAS DO PROJECTO

É importante proporcionar plantas do projecto completas e úteis para a realização dos trabalhos e para eventual concurso público e adjudicação de contrato. A padronização destas plantas é igualmente importante e é essencial ser-se capaz de apresentar uma página

com dados suficientes explicando a planta, listar as quantidades maiores e dar pormenores da localização. Plantas adicionais para aspectos mais especializados dos trabalhos também podem ser enviadas.

Plantas padrão no formato A3 são apresentadas no Anexo 4 com exemplos das plantas necessárias mais especializadas. Independentemente do projecto e da sua complexidade ou não, todas as plantas deverão ser de óptima qualidade e serem apresentadas em papel de qualidade assim como em formato electrónico.

6.6 ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM

A orçamentação da barragem pode agora prosseguir, com estimativas baseadas em custos para barragens já construídas na mesma área ou preços dados por construtores locais ou departamentos governamentais. Pode agora ser feita uma lista de quantitativos e estimativas de acordo com as directrizes dadas na **Tabela 3**.

Se o projecto e custos da barragem (ou barragens) forem preparados para concurso público ou contratação para o sector privado é importante que os pormenores sobre os custos para a **Tabela 3** e qualquer estimativa dos engenheiros sejam mantidas confidenciais e serem usadas como guia na avaliação de ofertas ou outros tipos de propostas de potenciais empreiteiros para a construção da barragem (ou barragens). O Anexo 1 dá mais pormenores sobre isto.

Tabela 3: Quantidades e custos da construção da barragem

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo/Unidade	Valor
1	Pesquisa do local	Montante			
2	Salário do engenheiro	Montante			
3	Custos de movimentação	Montante			
4	Limpeza do local	Horas			
5	Escavação da trincheira de vedação/núcleo	m ³			
6	Aterrar	m ³			
7	Obras do aterro	m ³			
8	Muro(s)-guia	m ³			
9	Descarregador/vertedouro	m ³			
10	Retorno de horizontes superficiais do solo	m ³			
11	Podas e limpezas	Horas			
12	Outro			
				Subtotal	_____
				Contingencias @ x%	_____
				Total	_____

6.7 ESTRUTURAS DE DESCARGA

Em qualquer barragem a principal estrutura de descarga é o descarregador/vertedor, mas outras estruturas de descarga de menor importância poderão ser necessárias para libertar água para irrigação, escoamento percolante (trickle flows) ou outros fins.

6.7.1 O descarregador/vertedor

O descarregador/vertedor é a estrutura de descarga mais importante e tem de ser projectado para suportar o esperado pico de cheia. Tem de ser uma estrutura permanente, não susceptível à erosão e localizada a um nível que permita a altura da lâmina de água e folga/borda livre necessária determinada na fase de pesquisas e selecção do local.

Itens críticos são a largura da entrada 'b' (já discutida acima e dependente do pico de cheia), desembocadura (geralmente dependente de 'b' – ver abaixo) e o material de construção onde assentará o descarregador/vertedor.

Para descarregadores/vertedores cobertos com erva (capim), o perigo de erosão é um factor de importante consideração. Portanto, este tipo de descarregador/vertedor deverá ser horizontal na sua entrada, idealmente com uma soleira de pedra ou betão para nivelar a entrada e controlar velocidades e a erosão. Poderá ter uma ligeira inclinação transversal (mas não mais do que 5°) ao longo do descarregador/vertedor e este deverá ter uma desembocadura segura para devolver águas de cheia para o curso de água. As velocidades de fluxo permitidas dependerão da lâmina molhada (depth of flow) (e por sua vez afectam a folga/borda livre) e do material da soleira do descarregador/vertedor.

Orientações a serem seguidas são apresentadas na **Tabela 4**. As orientações assumem que um descarregador/vertedor em terra é nivelado e coberto com um bom tapete de erva (capim) rastejante.

Tabela 4: Directrizes para descargas e velocidades para descarregadores/vertedouros de barragem de terra

Tipo de superfície	Areia a franco-arenoso	Franco-arenoso a franco-argilo-limoso	franco-argilo-limoso	Argiloso leve	Argiloso pesado cascalho rocha friável	Rocha dura
Velocidade máxima (m/s)	0.30	0.60	0.75	1.00	1.25	1.50
Altura da corrente (m) à entrada do descarregador/vertedouro	0.15	0.30	0.50	0.60	0.75	1.50
Descarga (m ³ /s por m de largura)	0.05	0.20	0.35	0.60	1.00	2.50

Cálculos da largura mínima do descarregador/vertedor feitos por razões hidrológicas devem, nesta fase, ser modificados para cumprir com as orientações acima. Aceite sempre o valor mais cauteloso – para assim aumentar a largura do descarregador/vertedor – onde as dimensões variarem.

6.7.2 Outras estruturas de descarga

Estruturas para escoamento percolante (trickle flow) são necessárias quando se prevê um fluxo permanente em descarregadores/vertedores cobertos com erva (capim), dado que estes protegerão o descarregador/vertedor em terra dos perigos de formação de sulcos provocados por pequenos fluxos contínuos. O escoamento percolante pode ser passado para fora da barragem ou por uma caixa colectora no aterro ou por um canal de escoamento percolante no descarregador/vertedor. Isto poderá ter de envolver a utilização de betão reforçado para o qual são aconselhados uma série de especificações padrão e métodos de construção.

Descarga com caixa colectora

A descarga com caixa colectora consiste num tubo (ou tubos) instalados na altura da construção e colocado a montante apenas abaixo do nível do descarregador/vertedor (cota máxima). É dum diâmetro suficientemente grande para todos os caudais excepto para caudais de cheia. Dependendo do projecto, o tubo pode sair directamente da parede (para pequenos caudais) ou ter uma caixa colectora (para caudais maiores) localizada adjacente à parede, mas feita de maneira a evitar a formação de remoinhos e possível erosão da face montante do aterro.

O descarregador/vertedor principal pode ser reservado para caudais de cheia e serão assim evitados problemas de formação de sulcos. Poderá ainda ocorrer erosão como resultado de cheia. Isto deverá ocorrer com pouca frequência e pode ser resolvido em conformidade.

O tubo, como ilustrado (com caixa colectora) na **Figura 9a** e **9b**, deve ser cuidadosamente colocado, direito e nivelado. Tubos de aço, deverão ser acoplados à flange e os tubos de betão devem ter anéis de vedação para evitar perdas de água ao longo do exterior do tubo.

O tubo deve ser assente numa trincheira talhada no solo original nos lados do vale antes da construção do aterro. Se os caudais não são conhecidos, os diâmetros mínimos dos tubos são como se segue:

- 300 mm para bacias hidrográficas muito pequenas.
- 375 mm para bacias até 5 km².
- 450 a 550 mm para bacias entre 5 e 8 km² (i.e. tambores de 44 galões em betão).

Para caudais máximos conhecidos esperados, os diâmetros do tubo e os seus gradientes físicos podem ser seleccionados das **Tabelas 5a** ou **5b**.

Figura 9a - Descarga com caixa colectora

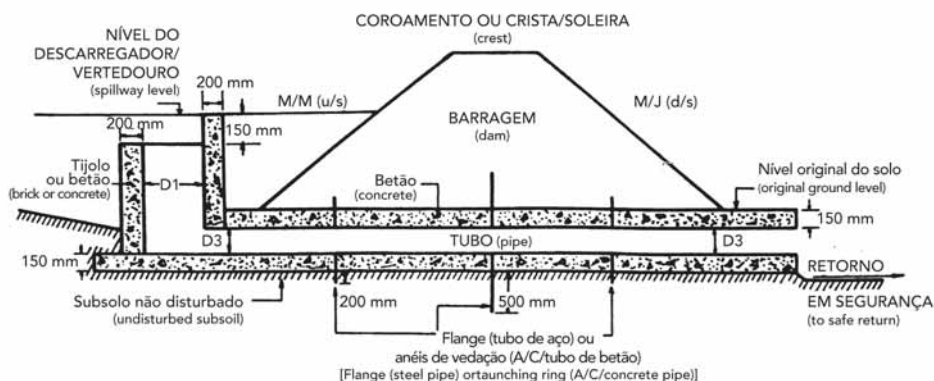
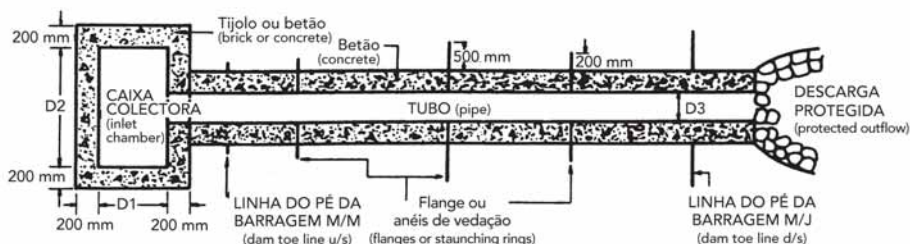


Figura 9b - Corte duma descarga com caixa colectora



Notas:

1. As dimensões D1 e D2 dependem de D3 (ver Tabela 5a).
2. D3 (\varnothing do tubo) determinado da Tabela 5b.
3. Recomendado um gradiente de 2 por cento.
4. Instale sempre o tubo de descarga com caixa colectora do lado oposto ao do descarregador/vertedouro.
5. A parede traseira da caixa colectora é construída 150 mm mais alta de forma a ajudar a supressão do remoinho.
6. Todas as dimensões são ao mínimo e não devem ser reduzidas.

A **Tabela 5a** é baseada numa velocidade máxima de caudal de 2 m/s ou a perda de carga máxima de 2 m por 100 m de tubo. Ver **Figuras 9a** e **9b** para D1 e D2.

Descarregadores de escoamento percolante (trickle flow spillways)

Onde os caudais normais são pequenos ou o tubo de descarga com caixa colectora não foi instalado na altura da construção, pode ser construído um descarregador de escoamento percolante dentro do descarregador/vertedor coberto com erva (capim) já existente. Um canal bem construído em enrocamento de pedra arrumada ou coberto a tijolo, projectado para transportar um caudal médio pode evitar a ulterior erosão do descarregador/vertedor principal. Uma soleira em pedra ou betão, colocada ao longo da entrada e saída dum descarregador/vertedor coberto com erva (capim) também reduzirá o risco de erosão assim como permitirá o controlo da cota máxima em conjunto com um tubo de descarga com caixa colectora. Poderá ser necessário proceder a manutenção (desassoreamento e trabalhos de reparação) depois de grandes cheias ou no fim de cada época das chuvas.

Tabela 5a – Guia para as dimensões mínimas das caixas colectoras e tubos

Dimensão D1 (mm)	Dimensão D2 (mm)	Dímetro D3 (mm)	Capacidade (litros/s)
300	300	100	15
500	300	150	30
600	500	225	70
1 200	500	300	125
2 000	1 000	375	200
3 000	1 600	400	250

Tabela 5b – Gráfico de gradiente para tubo de descarga com caixa colectora

Q (l/s)	Dímetro interno do tubo (mm)							
	75	100	125	150	225	300	375	400
	Gradiente aproximado necessário (l...)							
1.5	320	1 470						
3	80	370	1 210					
6		90	300	800				
9			135	350				
12			75	200	1 750			
15			50	130	1 130			
20				80	700			
25					350	1 600		
30					280	1 300		
40					180	830		
50						400	1 300	
60						325	1 070	2 300
75						210	690	1 800
100							300	750
150							170	450

Nota: É assumido que os tubos correm cheios, com pressão de água insignificante e que são em betão ou similar.

6.7.3 Muros-guia e desembocadura do descarregador/vertedor

Quer o descarregador/vertedor seja coberto com erva (capim), em pedra, tubo de descarga com caixa colectora, ou de escoamento percolante, um requisito essencial será um retorno seguro à corrente a jusante do aterro. Seja qual for o tipo de descarregador/vertedor é essencial evitar curvas e estrangulamentos do canal.

Descarregadores/vertedores cobertos com erva (capim) ou ocasionalmente em pedra, poderão necessitar da construção de muros-guia (se necessário em enrocamento de pedra arrumada) para guiar as correntes de cheia para fora de taludes mais íngremes e do pé de jusante da barragem. Um declive máximo de cerca de 5 por cento para o canal de restituição deve ser o objectivo e isto apenas poderá ser excedido se for usada pedra para o canal de restituição. A actual desembocadura deverá ser projectada para ser não-erosiva e, como regra de ouro, a largura final deverá ser 1,5 a 2 vezes a largura da entrada 'b', portanto, reduzindo velocidades de corrente para níveis aceitáveis. Exemplos de projectos para muros-guia e desembocadura são dados nas amostras de plantas no Anexo 4.

Em descarregadores/vertedores em pedra, é admissível erosão a jusante desde que não ponha o aterro em perigo, não cause problemas ambientais e que pare logo que o caudal tenha erodido até à pedra. Para tubos de descarga com caixa colectora, a construção dum canal em tijolo ou pedra, desde o tubo de descarga, deverá ser suficiente e este pode então ser conduzido a um ponto de dissipação seguro a jusante.

Se é provável que maquinaria agrícola ou outros veículos usem o aterro e o descarregador/vertedor como estrada, os taludes do descarregador/vertedor não deverão exceder 25 por cento e alguma protecção contra erosão provocada pelo tráfego (i.e. travessias em pedra ou betão) deverão ser construídas na altura da construção da barragem.

6.7.4 Outras descargas

Onde os caudais esperados são suficientemente pequenos, poderão ser usados tubos através do aterro, numa margem, à altura da cota máxima, o que será mais barato do que uma descarga tipo caixa colectora. Deve-se ter cuidado em levar o caudal de volta ao leito e, normalmente, será necessário um canal de enrocamento de pedra arrumada, ou revestido a tijolo ou betão. Com frequência, são necessários tubos de descarga quando é necessário um caudal regular de água e estes serão de aço ou betão com uma válvula de controlo instalada. A melhor opção é assentar a tubagem debaixo do aterro (mesmo que alta na margem) na altura da construção e é importante assegurar boas fundações, quer em pedra ou solo compactado, ao longo de todo o seu comprimento. A trincheira deverá ser aberta à medida (i.e. o mais estreita possível) com a condição de ter anéis de vedação ou flanges a cada 4-6 m e o tubo assente num leito de betão e depois coberto com mais betão.

Se a barragem já estiver construída e for necessário um tubo de descarga, não é recomendado escavar o aterro dado que isto iria criar uma área de fragilidade naquilo que é suposto ser uma estrutura íntegra. As alternativas são, ou bombagem do lado de montante por cima do aterro ou a construção de um sifão.

A(s) bomba(s) poderão ser colocadas sobre uma jangada com uma ligação flexível para um tubo fixo na barragem, ou postas sobre uma rampa o que lhes permitiria seguir os níveis da água, à medida que esta sobe ou desce, para evitar alturas de sucção demasiado altas (i.e. mais de 3-5 m).

Os sifões requerem uma construção cuidadosa para assegurar que todas as junções e válvulas sejam estanques e, como segurança, poderão ser incorporados, no ponto mais alto, alguns meios de injeção. Com um sifão, é essencial que a saída esteja localizada a um nível inferior ao da entrada, quando o nível da água no reservatório estiver no seu mínimo. Não é aconselhável a sifonagem de água sobre uma elevação de mais de 5 m e talvez seja necessário reduzir a diferença de elevação enterrando o tubo na parte superior do aterro.

6.8 O ATERRO

O aterro é a parte principal da barragem e os seus projecto e construção deverão seguir certas directrizes: a inclinação dos taludes não deverá superar 1:2 no lado montante e 1:1,75 no lado de jusante. Quando os aterros são feitos com materiais de menor qualidade, ou possíveis de sofrer erosão por pisoteio de gado ou acção de ondas, os taludes deverão ser menos inclinados para se adaptarem às circunstâncias. Formigueiros e afloramentos rochosos deverão ser evitados a não ser que não haja alternativa. Os formigueiros deverão ser completamente escavados e o buraco cheio, preferivelmente com terra, ou, como último recurso, com material de formigueiro tratado e em camadas finas bem compactadas. Afloramentos rochosos necessitarão de serem arrasados e uma parede chave construída para dentro da barragem ou núcleo.

6.9 FOLGA /BORDA LIVRE

A folga/borda livre para pequenas barragens nunca deverá ser menos do que 0,5 m, preferivelmente com 0,75 m a 1,0 m. Onde a acção de ondas é provável, poderá ser necessário uma maior folga/borda livre. Isto pode ser calculado usando a seguinte fórmula:

$$\text{Altura da folga/borda livre, } H'' \text{ (em m)} = 0,014 (F)^{0,5}$$

onde H'' é a altura da folga/borda livre e F é a pista de vento (fetch) que é a distância mais longa em km, através da área de armazenamento (normalmente medida em linha recta desde o eixo do proposto aterro até à área de águas de jusante do proposto reservatório). A altura total da folga/borda livre pode então ser calculada tendo em consideração a borda livre molhada H'' (wet freeboard), (como calculada com a fórmula acima) necessária para neutralizar a acção das ondas e a borda livre seca (dry freeboard) (calculada pelo engenheiro) para segurança e outros factores. A folga/borda livre total é, de facto, a cota de projecto/cota nominal da entrada do descarregador/vertedor.

6.10 PROFUNDIDADE E ESPESSURA DO NÚCLEO

Núcleos e trincheiras de vedação são itens cuja construção é cara e deverão ser projectados para o mínimo necessário de acordo com a CM, o método de construção e tendo em consideração os comentários abaixo. O núcleo normalmente incluirá o centro do aterro (referido acima como barragem zonada) e será projectado de forma a reduzir percolação para níveis aceitáveis.

Para projectar pequenas barragens, dado que a trincheira de vedação pode ser aberta manualmente ou por maquinaria pequena, não é necessário que exceda 2 m de largura. Para barragens maiores, as trincheiras de vedação podem ser abertas com ajuda de bulldozer ou pá de arrasto, necessitando duma largura, normalmente 4 m, que permita o acesso.

A profundidade da trincheira de vedação deverá ser aquela até que se atinja boa fundação (rocha sólida ou camada impermeável do subsolo) ou até pelo menos 0,75 vezes a altura do aterro. Quando usar esta última directriz, se for encontrado material de baixa qualidade à profundidade de acabar a escavação, a trincheira de vedação deverá ser continuada até se encontrar bom material de fundação. É muito difícil rectificar problemas nas trincheiras de vedação uma vez a barragem terminada e o reservatório cheio de água, assim, deve dar-se muita atenção na construção desta parte vital da barragem e os custos não deverão ser comprometidos. Para se ter a certeza de que a trincheira de vedação é construída correctamente, e especialmente para trincheiras de vedação a serem escavadas por empreiteiros, o engenheiro supervisor deverá insistir para que a trincheira de vedação, quando acabada, seja inspecionada antes de começar a aterrar.

A escavação duma trincheira de vedação exige a consideração de factores de segurança e, para trincheiras de vedação profundas, vertentes em socacos ou inclinadas ou outras medidas poderão ser necessárias para reduzir a possibilidade de colapso das encostas. Vertentes em socacos ou inclinadas também permitem uma compactação mais fácil e melhora a ligação entre o material de aterro e o solo.

6.11 LARGURA DO COROAMENTO OU CRISTA/SOLEIRA

A largura do coroamento ou crista/soleira duma barragem é seleccionada tendo em consideração o tamanho da barragem, as características e topografia da bacia hidrográfica e se será necessário uma estrada ou outro acesso através do aterro. Em todos os casos, a largura do coroamento ou crista/soleira deverá ser projectada para permitir a passagem segura de activos fixos tangíveis para serem usados na construção da barragem e não deverá ter menos de 2 m de largura.

Alternativamente, e mais apropriada para pequenas barragens que excedam os 5 m de altura, poderá ser adoptada uma largura padrão do coroamento ou crista/soleira de 3 m ou ser usada a fórmula abaixo:

$$C_w \text{ (em m)} = 0,4H + 1$$

Onde C_w é a largura do coroamento ou crista/soleira e H é a altura máxima da barragem, em metros.

Adopte sempre a maior largura possível de coroamento ou crista/soleira (e lados do aterro menos inclinados) onde fundações e materiais de construção não são de boa qualidade.

Para reduzir erosão, deverá ser dado a todos os coroamentos ou cristas/soleiras uma inclinação de 2,5 por cento para permitir a drenagem de água da chuva para o reservatório pela face montante do aterro.

6.12 MARGEM DE ASSENTAMENTO

O aterro assentará sempre um pouco depois da construção e deverá ser atribuída ao coroamento ou crista/soleira uma margem de assentamento que o eleve no centro, acima da altura de projecto, entre 5 e 10 por cento, com pendentes para o descarregador/vertedor e encostas do vale.

6.13 ENROCAMENTO DE PEDRA E MUROS-GUIA

O enrocamento de pedra não é normalmente necessário, dado que uma boa cobertura em erva (capim) é normalmente suficiente para proteger o aterro.

No entanto, os muros-guia podem ocasionalmente necessitar de protecção em enrocamento de pedra, dependendo do regime climático e da possível ocorrência de caudais de cheia. Os muros-guia deverão ser suficientemente longos para desviar com segurança as águas do pé de jusante da barragem. Deverão ter as mesmas proporções e nível de coroamento do que o aterro principal. Em caso de serem usados descarregadores/vertedores naturais, os materiais dos muros-guia deverão ser importados de áreas de empréstimo dado que não é desejável proceder a escavação no local dos descarregadores/vertedores naturais. Da mesma maneira, o atravessamento de activos fixos tangíveis e veículos por cima dum descarregador/vertedor natural poderá levar a futuros problemas no estabelecimento duma boa cobertura de erva (capim) em solos parcialmente compactados e a erosão em locais onde se formam marcas dos rodados.

6.14 PERCOLAÇÃO

A percolação é sempre um problema potencial que deverá ser considerado nesta fase e o projectista-construtor terá de ter em consideração a permeabilidade dos materiais de enchimento e o da fundação, a posição e fluxo de água subterrânea no local, o tipo e a concepção do núcleo ou trincheira de vedação subterrânea no aterro, e a utilização de equipamento de drenagem para colher e canalizar, em segurança, a água de infiltração na secção jusante do aterro. Todas as barragens de terra terão infiltrações e é irrealista não o considerar. Se a percolação é considerada como um problema potencial, contramedidas – tais como filtros, drenos, tapetes de argila e margens/taludes menos inclinadas – introduzidas na fase de projecto podem minimizar estes riscos.

6.15 FILTROS E DRENOS

Os filtros são caros e não são normalmente necessários para barragens pequenas.

O objectivo dos drenos de “filtro” de percolação é o de baixar a superfície freática (a ‘linha de percolação’) no interior do aterro para evitar que a água emerja da face de jusante onde fluxos erosivos e de absorção podem causar o abatimento do material e pôr em perigo toda a estrutura.

Trincheiras escavadas, na altura da construção, até ao subsolo debaixo da face e pé de jusante e cheias com pedras e cascalho (este último ajuda a limitar o movimento de materiais finos do aterro para dentro dos drenos) e continuando para uma rede de drenos colectores pelo menos a 3-5 m abaixo da linha do pé, podem, em segurança, baixar as linhas de infiltração permitindo o fluxo para o exterior de debaixo do aterro.

A configuração das zonas filtro, no entanto, dependerá do tipo do aterro:

- ➔ Numa barragem homogénea modificada, o filtro é geralmente colocado como um tapete¹⁵ de areia e gravilha fina na área da fundação a jusante, estendendo-se da borda da trincheira de vedação/núcleo até à borda do pé de jusante e daí descarregada em segurança pelos drenos do pé.
- ➔ Numa barragem zonada, o filtro é colocado entre o núcleo e o aterro de jusante. Um dreno ‘chaminé’ longitudinal de material de gravilha que recolhe o fluxo de infiltração e que o leva para a base da chaminé e, através de um ou mais drenos transversais, transporta a água para os drenos do pé, fora do aterro.

Estes drenos são essenciais quando os riscos de percolação são considerados altos – por exemplo, material de enchimento de jusante de relativamente baixa permeabilidade, ou uma barragem homogénea sobre uma fundação impermeável, terá sempre necessidade de drenos de percolação. Uma área saturada a jusante pode levar a instabilidade e deslizamento. Se isto for significativo poderá diminuir o volume do enchimento ao ponto de que o peso é insuficiente para resistir às forças exercidas sobre o aterro pela pressão da água no reservatório e por debaixo da barragem. Pode então acontecer o desmoronamento completo ou parcial.

Outras medidas para reduzir infiltrações são tapetes¹⁶ de material impermeável colocados na face de montante e um pé em pedra construído para adicionar peso à estrutura (e ajudar a aliviar a pressão intersticial na secção jusante do aterro). **A Figura 10** ilustra um tapete de argila típico, colocado, com uma nova trincheira de vedação, na face montante duma barragem já existente ou, possivelmente, duma nova barragem com uma fundação de má qualidade. Os tapetes de argila podem ser dispendiosos para grandes barragens e a opção

15. Nunca inferior a 500 mm de espessura

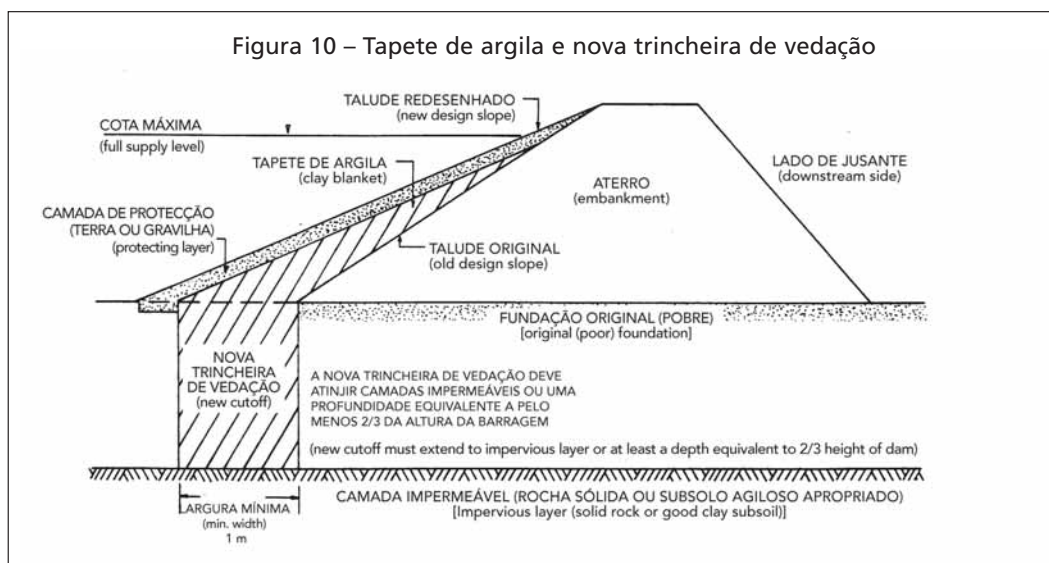
16. 300 mm de espessura para uma barragem até 3 m de altura, 500 mm de espessura para barragens de 3-5 m de altura e 750-1 000 mm de espessura para barragens de 5-8 m de altura.

pelos talvez menos custosos filtros e drenos, para, em segurança, afastar a infiltração da barragem e aliviar altas pressões de água no interior do aterro, deverá ser considerada em relação às perdas de água, antes de instalar um tapete de argila.

Em barragens já estabelecidas, drenos de percolação podem ser escavados no maciço de jusante para aliviar problemas de água mas os resultados são sempre menos satisfatórios do que os drenos instalados na altura da construção.

Mais pormenores sobre percolação e contramedidas podem ser encontradas nas directrizes da FAO sobre pequenas barragens e açudes em terra e gabiões (FAO, 2001).

É sempre recomendado a procura de conselho dum especialista em drenagem dado que a capacidade e espaçamento dos drenos e a relação entre materiais finos e grossos nos filtros pode ser importante.



6.16 FACTORES AMBIENTAIS

É nesta fase que qualquer relatório de avaliação de impacto ambiental deverá ser concluído e qualquer trabalho necessário para mitigar tais impactos serem projectados e orçamentados. Os impactos, para pequenas barragens, são normalmente correspondentemente pequenos e poderão não necessitar de obras significativas. A inclusão duma pequena percentagem dos custos totais na lista estimativa e quantitativa (sob outros trabalhos) poderá ser suficiente para cobrir todos os custos prováveis.

Poderá ser considerada a conservação da bacia hidrográfica antes do início dos trabalhos para permitir que o coberto vegetal se estabeleça bem, deste modo reduzindo sedimentação.

Mesmo que uma avaliação de impacto ambiental não seja necessária, considere, na fase de projecto para qualquer nova barragem, a necessidade de caudais ambientais e descargas da barragem – normalmente na estação seca – para manter o curso de água a jusante tanto quanto possível numa condição natural.

Fornecimento de água potável a jusante da barragem (usando tubagem debaixo ou através do aterro e, simples filtros de areia e colunas montantes sob pressão de gravidade) reduzirá o acesso de pessoas e gado ao reservatório. Alternativamente, poços e bombas manuais na mesma área poderão ser adequados e permitir aos habitantes locais acesso a água que doutra maneira se perderia por percolação.

Poderá ser necessário vedar a barragem e o reservatório para impedir o acesso ao aterro e ao reservatório. Quando isto não for possível e para reduzir a incidência de esquistossomose (bilharzíase), paludismo (malária) e outras doenças propagadas através da água, ajudará manter arrelvada a área à volta do reservatório e dos canais de fluxo ao mínimo (incluindo corte regular), aumentar e baixar os níveis do reservatório e eliminar a possibilidade de água estagnada na e à volta da barragem.

Muito do que foi dito acima deverá ser da responsabilidade das comunidades que beneficiarão da barragem e deverá ser realizado, numa fase inicial do projecto/construção da barragem, um programa de educação (incorporando saúde e saneamento) sobre o uso da barragem e os seus recursos. O envolvimento dos beneficiários em quaisquer trabalhos de remediação ou mitigação (sob a forma de contribuição da comunidade para o conjunto dos trabalhos) também promove o sentido de responsabilidade na utilização e manutenção dos recursos hídricos providenciados.

A construção duma barragem perturba a paisagem ao redor da barragem (escavação, limpeza de áreas para armazenamento, alojamentos e estacionamento, vias de acesso) e tais trabalhos deverão ser mantidos no mínimo possível. Deverá ser parte de qualquer contrato para o empreiteiro remover e armazenar o solo superficial de qualquer área que venha a ser perturbada e depois reverter esse solo ao local para permitir o recrescimento da vegetação e evitar qualquer erosão subsequente. Para áreas de empréstimo, poderá ser difícil restaurá-las às suas condições originais mas enchendo-as com o entulho da área do reservatório da barragem e o solo superficial e arrelvando-a, atenuará uma boa parte dos impactos negativos. Alternativamente, poderá ser considerado converter essas covas em tanques para peixes (estas covas poderão ser escavadas na altura da construção, já com essa finalidade em mente).



Construção da barragem 7

7 Construção da barragem

7.1 MARCAÇÃO DO LOCAL DE CONSTRUÇÃO

Isto deve ser concluído imediatamente antes do início da construção para evitar limpezas de solo desnecessárias e a perda de estacas e de marcos de referência. No caso em que se percam as estacas de levantamento originais, o eixo da barragem deverá ser de novo estabelecido com estacas de referência adicionais e em número substancial, instaladas nas extremidades do eixo, a uma boa distância de onde ocorrerá a construção. Se o(s) marco(s) de referência originais não forem satisfatório(s), outro(s) deverão(á) ser estabelecido num local permanente e a uma distância de fácil referência.

As estacas do eixo deverão ser instaladas nas extremidades do aterro e a cada variação de elevação. Para cada variação em elevação, uma estaca correspondente (estaca par) (ver **Figura 11a**) deverá ser estabelecida com nível ou GPS no lado oposto do vale, mas ainda no eixo.

A cada estaca no eixo do aterro, são calculadas as distâncias das estacas de pé de montante e de jusante, colocadas em ângulos rectos com na **Figura 11b**.

A não ser que seja uma barragem muito pequena, é aconselhável permitir uma margem extra de 10 por cento na altura do aterro para futuro assentamento. Se isto não for feito nesta fase, o processo poderá tornar-se fastidioso e lento, dado que as estacas terão de ser deslocadas desde a estaca do pé ou eixo, a todas as cotas de construção. Para barragens muito pequenas (i.e. menos de 5 m de altura) é normal adicionar uma margem de assentamento ao topo do aterro no final da construção.

As distâncias de desvio da estaca do pé do eixo são calculadas usando a fórmula:

$$\text{Distância de desvio (m)} = S \cdot H + 0,5 C_w$$

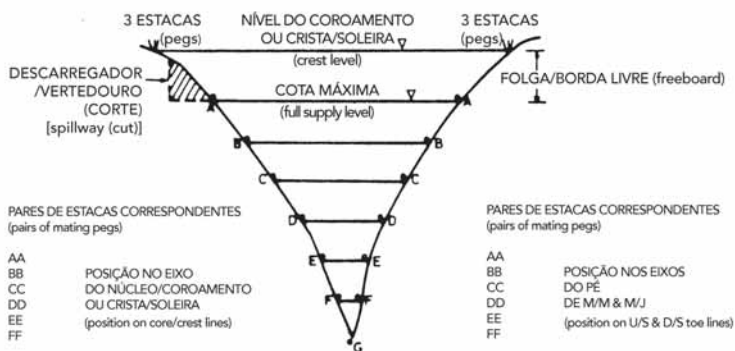
Onde: S é o valor do declive
 H é a altura do aterro (m)
 incluindo uma margem de 10 por cento
 C_w é a largura do coroamento ou crista/soleira (m)

Serão necessárias estacas para indicar o núcleo e o coroamento ou crista/soleira. Se o núcleo for central e tem a mesma largura do coroamento ou crista/soleira, as estacas servirão esta dupla função.

No lado do descarregador/vertedor, as estacas são postas onde começa e acaba o corte do descarregador/vertedor (se existente) e estacas adicionais são colocadas em arco ao longo dos lados do canal do descarregador/vertedor (ver **Figura 11b**). É desejável um intervalo de 15 m entre estacas e cada uma deve indicar a profundidade de escavação necessária, fazendo nota do declive dentro do próprio descarregador/vertedor (normalmente 1:400), necessário para levar o caudal de cheia a fluir para fora do muro-guia e do sopé do aterro.

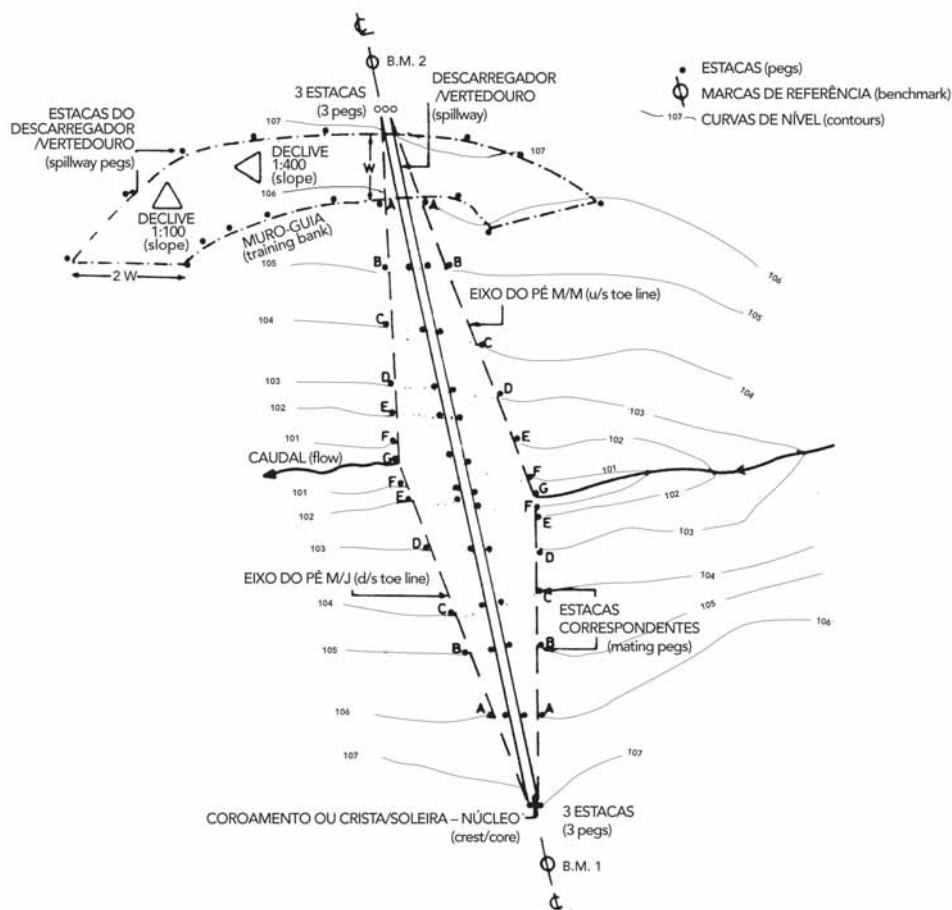
Quando todas as estacas tiverem sido colocadas, e estiver feito um croquis da posição das estacas, todas as ramificações do projecto podem ser discutidas com o cliente e/ou o operador de máquinas para que qualquer risco de erro e mal entendidos sejam minimizados e maximizadas a utilização e eficiência do equipamento.

Figura 11a – Estacas correspondentes 'estacas par'



3 ESTACAS A CADA PONTA DO ATERRO COMO REQUERIDO
DISPONHA ESTACAS NO DESCARREGADOR/VERTEDOURO
(3 pegs at each end of the embankment peg spillway as required)

Figura 11b – Posição das estacas



7.2 ACTIVOS FIXOS TANGÍVEIS

Considerações sobre que activos fixos tangíveis estão disponíveis, as condições operativas e distâncias a que os materiais tem que ser transportados, assim como tamanho e tipo da barragem a ser construída, são os factores mais importantes para determinar os activos fixos tangíveis a usar.

Bulldozers não são geralmente recomendados pois dificultam conseguir os níveis de compactação e de estratificação essenciais em qualquer barragem de terra. Barragens muito pequenas construídas com material impermeável, até a uma altura de 2 m, podem ser construídas com sucesso por bulldozers (exigindo uma margem de assentamento até 20 por cento). Deverá fazer-se referência à Secção 8.6 para informação mais detalhada sobre isto.

Maquinaria pesada de remoção de terras – tais como scraper autocarregável e scraper conjugado não são necessários para pequenas barragens a não ser que o tempo seja um factor importante, estejam envolvidas pequenas distâncias e os preços de construção sejam particularmente económicos. Para a maioria das barragens agrícolas, a construção por tractor de rodas ou pá carregadora de lagartas será suficiente e, onde activos fixos tangíveis e combustível não estejam disponíveis, poderá ser usada uma pá com tracção animal para a construção do aterro. Esta última é muito adequada para pequenas barragens e, apesar de contribuir para um progresso relativamente lento, os custos são minimizados e é obtido um excelente grau de compactação com o movimento do gado através do núcleo e do aterro. Mesmo pás rebocadas por tractor são lentas e o elemento tempo de construção deverá ser considerado antes de ser tomada a decisão de construir uma barragem. As pás variam em capacidade de 0,5 m³ a 2 m³, sendo a mais popular a de 1 m³ e requer um tractor com cerca de 40 KW no mínimo para as puxar. Considerando um local típico com um tempo de rotação de quatro minutos, uma unidade transportaria cerca de 15 m³/hora. Trabalhando uma média de oito horas por dia, uma unidade levaria então 83 dias de trabalho em condições ideais para transportar o material envolvido na construção duma barragem com 10 000 m³ de terraplanagem.

Portanto, quando seja necessário utilizar equipamento agrícola no local duma barragem, a calendarização é da máxima importância se a barragem é para ser construída dentro do limite de tempo estipulado (i.e. frequentemente antes da próxima época das chuvas) sem interferir com outras actividades agrícolas tais como a preparação de terras e sementeiras.

7.3 EQUIPAMENTO E TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO

A compactação do solo é essencial para aumentar a resistência ao cisalhamento dum material para atingir altos níveis de estabilidade do aterro. Um alto grau de compactação aumentará a densidade do solo por aperto das partículas do solo e expulsão do ar. Comparando a resistência ao cisalhamento com o teor de humidade para um determinado nível de compactação, encontra-se que a maior resistência ao cisalhamento é geralmente obtida com teores de humidade abaixo da saturação.

Se o solo está demasiado molhado, o material torna-se demasiado mole e as tensões de cisalhamento impostas sobre o solo durante compactação são superiores à resistência do solo ao cisalhamento, de modo que a energia de compactação é largamente dissipada no cisalhamento sem apreciável aumento de densidade.

Se o solo está demasiado seco, o material compactado nestas condições terá uma maior percentagem de bolsas de ar do que um solo comparável compactado molhado. Absorverá humidade mais facilmente e tornar-se-á mais próximo da saturação com a subsequente perda de força e impermeabilidade.

Um solo húmido, apropriadamente estratificado e compactado com um mínimo de bolsas de ar também reduz a tendência para o assentamento sob carga constante e repetida.

Na construção de barragens, seguir as técnicas de compactação correctas é provavelmente tão importante como a escolha dos materiais correctos. Quando não estiverem disponíveis análises laboratoriais as seguintes directrizes deverão ser seguidas:

- O solo para ser compactado deve estar húmido, mas não demasiado molhado e deverá ser estratificado ao longo de todo o comprimento do aterro em espessuras apropriadas ao equipamento utilizado. Maquinaria agrícola (*e.g.* Pneus de tractores cheios com água seguindo um trajecto irregular ou pequenos rolos) e métodos manuais são normalmente suficientes para compactar com êxito camadas de apenas 75-100 mm de espessura. Equipamento pesado como rolos pé-de-carneiro (ideais para solos argilosos), e cilindros (rolos) vibradores e compactadores (ideais para terrenos arenosos) podem trabalhar com camadas até 200 mm de espessura e obviamente são preferíveis quando é necessário compactar grandes quantidades e larguras.
- Quando o teor de humidade do solo for baixo, a rega da área de empréstimo tem como resultado uma mais uniforme distribuição da água no solo a ser compactado. É também mais económico do que adicionar água à superfície de construção e, com frequência, ajuda o trabalho das escavadoras. Poupa-se tempo no aterro evitando ter que molhar a superfície entre camadas. Um planeamento cuidadoso com ripagem e lavoura da área de empréstimo antes de regar e deixando a água infiltrar-se durante um ou mais dias (dependendo do clima, tipo de solo e quantidade de água utilizada) antes da escavação, permitirá um teor de humidade uniforme nos materiais de aterro.
- Adopte sempre técnicas de compactação que reduzam a espessura bruta de qualquer camada em pelo menos 25 por cento.

7.3.1 Rolos (cilindros)

Rolos pé-de-carneiro pode compactar camadas de solo até 200 mm de espessura bruta (*i.e.* cerca de 150 mm depois da compactação) e densidades satisfatórias podem normalmente ser obtidas com 6-12 passagens a uma velocidade de 3-6 km/h quando o teor de humidade do solo é adequado. É importante manter estes rolos limpos dado que o solo que se agarra entre os pés reduz a capacidade de compactação. Rolos pé-de-carneiro são mais eficientes do que outros rolos a compactar argila seca (mas necessitarão de mais passagens) e irão mexer e misturar o solo, o que é útil para a distribuição da água na superfície de construção quando não for possível regar a área de empréstimo.

Rolos vibradores são mais adequados para a compactação de solos arenosos e quando são necessárias altas densidades. A sua utilidade na construção de barragens é normalmente limitada a trabalhos de pequena dimensão tais como compactação de trincheiras de vedação estreitas, valas e outros.

Compactadores de pressão e placas vibradoras têm aplicações muito semelhantes e são usados onde o espaço é limitado e em trabalhos especializados como trincheiras e atrás e ao redor de tubagem.

Rolos (cilindros) compactadores são mais eficientes a reduzir bolsas de ar e continuar a compactação de camadas inferiores do aterro através de novas camadas em maior medida do que rolos de pé-de-carneiro comparáveis. Em camadas de espessura semelhante, e à mesma velocidade, um rolo compactador possivelmente necessitaria um pouco menos de passagens para obter densidades de solo semelhantes quando comparado com um rolo de pé-de-carneiro. No entanto, este último é, na maior parte das vezes, mais apropriado para usar na construção de barragens pois, o seu peso mais reduzido e versatilidade, permite-lhe ser rebocado por maquinaria agrícola numa variedade de superfícies.

Em solos argilosos, rolos os compactadores podem formar canais de infiltração entre as camadas de solo depositadas no aterro. Se um rolo de pé-de-carneiro não está disponível para compactar este tipo de solos, as camadas de argila deverão ser reduzidas na sua espessura bruta e as superfícies finais enrugadas (por gradagem ou semelhante) para permitir uma boa adesão entre as camadas compactadas.

7.4 LIMPEZA E PREPARAÇÃO DO LOCAL

7.4.1 A base da barragem

Todas as árvores e raízes, erva (capim), raízes de erva (capim) e solo superficial têm que ser removidos. Uma vez removidas as árvores (normalmente à mão), a pá niveladora ou pá de arrasto poderá ser usada para remover cerca de 100 mm da camada superficial do solo que poderá ser deixada num local do qual mais tarde possa ser retirada e usada para cobrir o aterro concluído ou outras áreas perturbadas.

7.4.2 Áreas de empréstimo

As áreas de empréstimo deverão ter sido demarcadas, de acordo com a sua utilidade, algum tempo antes do início da construção com, se possível, análises de amostras do solo feitas por um laboratório local. Para barragens mais pequenas, uma avaliação visual ou uma avaliação física superficial poderá ser suficiente.

A camada superficial com alta percentagem de matéria orgânica tem de ser removida e posta de lado para ser usada mais tarde. Embora seja desejável que as áreas de empréstimo se situem dentro da área proposta para o reservatório, deve ter-se o cuidado de assegurar que camadas permeáveis não são expostas pela remoção de solo impermeável acima, dado que este processo, se levado a cabo perto do aterro, poderia levar mais tarde a problemas de percolação. Também, não se deverão fazer escavações a menos de 10 m do pé do aterro. O solo escavado (da área de empréstimo) deverá ser frequentemente monitorizado para verificar que a sua qualidade e teor de humidade não mudaram e que ainda é apropriado para ser utilizado no aterro. O núcleo e a trincheira de vedação requerem argila de boa qualidade, o maciço de jusante materiais mais grosseiros e de menor qualidade (a drenagem é importante) e o maciço de montante solo argiloso com alguma impermeabilidade.

A compactação do núcleo e da trincheira de vedação é importante e a compactação necessária em todas as secções varia de local para local de acordo com a qualidade do solo. Geralmente, solos mais secos e com menor percentagem de argila requerem mais compactação e vice-versa. Solos com cerca de 20-30 por cento de argila são ideais como material de núcleo e aqueles com menor percentagem de argila, para o maciço de montante.

7.5 ASSENTAMENTO

À medida que a barragem assenta, o coroamento ou crista/soleira deverá ficar perto da horizontal. É importante verificar isto por inspecção a cada poucos meses durante os primeiros anos de funcionamento para assegurar que não se verifica sobre-assentamento ou assentamento desigual. Se isto ocorrer, serão necessárias medidas de remediação (enchimento com solo superficial e erva (capim) normalmente é suficiente) para restaurar o coroamento ou crista/soleira ao seu nível de projecto.

Se são utilizados solos de menor qualidade ou mais grosseiros, poderá ser necessário dar uma margem para assentamento maior do que a prevista na fase de projecto. Na maioria dos casos este aumento não deverá ser maior do que 15 por cento no total.

7.6 DESCARREGADOR/VERTEDOR

Descarregadores/vertedores naturais são geralmente a melhor opção para uma barragem de terra, mas frequentemente será necessário um certo grau de escavação para obter a necessária inclinação de projecto. Em todos os casos, o movimento de maquinaria sobre a área do descarregador/vertedor deverá ser minimizado para evitar sobre-compactação do solo, provocando trilhos (que mais tarde pode levar a erosão) e destruindo a cobertura de erva (capim). Onde seja necessário uma escavação, esta deverá ser mantida ao mínimo e, a não ser que seja inevitável, não deverá envolver a remoção total do solo superficial. Se isto ocorrer, será necessário escavar mais profundamente, sendo a profundidade adicional necessária porque solo de boa qualidade e cobertura com erva (capim) terão de ser instalados logo que obtenha o perfil desejado. Qualquer escavação de grande volume em descarregadores/vertedores deverá ser feita numa altura em que o material escavado (se adequado) possa ser incluído juntamente com o material trazido para a construção do aterro ou reservado para o enchimento de áreas de empréstimo. Volumes mais pequenos de material do corte podem normalmente ser incluídos nos muros-guia.

7.7 CONSTRUÇÃO DO ATERRO

7.7.1 O núcleo/trincheira de vedação

Dado que isto é a parte mais importante de qualquer aterro, é necessário grande cuidado na escavação, enchimento e utilização de material.

A largura e a profundidade deverão ter sido decididas na fase de projecto. A largura (2 m mínimo) dependerá frequentemente do equipamento utilizado na escavação e também do tamanho da barragem.

A profundidade mínima necessária dependerá das condições do local, mas em todas as escavações a trincheira de vedação deverá ser levada até encontrar material impermeável de boa qualidade tal como argila ou rocha sólida ou até a um mínimo de três-quartos da altura do coroamento ou crista/soleira da barragem. Se é encontrada rocha e esta é geralmente boa, é admissível encher rachas ou fissuras com argila compactada ou argamassa, desde que possam ser completamente limpas e localizáveis para assegurar que mais tarde não se desenvolverão canais de infiltração. Se uma camada impermeável suficientemente espessa não for alcançada e a profundidade da trincheira tiver de ser $0,75H$, a escavação da trincheira de vedação apenas pode parar se o material encontrado não for de natureza grosseira ou gravilha (como é frequente em leitos fluviais). Se é encontrado material permeável é vital que a trincheira de vedação seja levada através dele até a uma profundidade suficiente para encontrar material mais impermeável.

Antes do aterro, a escavação deverá ser controlada para assegurar que as condições acima são respeitadas. Cortar caminho nesta fase pode custar caro mais tarde e a infiltração através do aterro pode tornar-se excessiva se não forem respeitadas as profundidades e o material correcto. É normalmente vantajoso tomar mais cuidado e levar um pouco mais de tempo na escavação do núcleo.

Outros requisitos tais como enscadeiras, compactação especial, equipamento de drenagem e disposições de segurança na trincheira deverão ser considerados antes do início da escavação para permitir que o trabalho seja executado eficientemente. Uma avaliação das condições do local na fase de projecto, por exemplo para determinar níveis de águas subterrâneas, permitirá que tais requisitos especiais sejam incluídos nas estimativas de custos.

Uma vez que a escavação tenha sido vistoriada e considerada satisfatória, pode começar-se a aterrar. O melhor solo argiloso deverá ser usado e compactado em camadas não mais espessas do que 75-100 mm (50-75 mm) em todo o comprimento da trincheira. Apesar de que a compactação pode ser conseguida seguindo um trajecto irregular (se são usados tractores, encha os pneus com água), poderá ser mais desejável usar trabalho braçal e dispositivos de calcamento (são normalmente suficientes maças de madeira com 75-100 mm de diâmetro), ou equipamento rebocado (onde camadas mais espessas são admissíveis), para obter os altos níveis de compactação necessários. Para núcleos mais largos, rolos pé-de-carneiro, ou rolos vibradores poderão ser mais económicos.

Tanques de água (cisternas) ou equipamento de rega poderá ser útil e ajudar na compactação. Material de formigueiro e Vertisolos (cracking clays) não são recomendáveis para enchimento do núcleo mas se o primeiro for usado deverá ser tratado quimicamente e em todos os casos mantidos, tanto quanto possível, abaixo das secções superficiais do núcleo (que deverão manter-se molhadas durante todo o ano).

7.7.2 Aterro

Uma vez que a trincheira de vedação tenha atingido o nível do solo, o aterro poderá ser construído. Se necessário, e normalmente por causa de limitações de tempo, poderá ser prudente construir a trincheira de vedação algum tempo antes do resto da barragem (*i.e.* durante a estação seca anterior assegurando-se que os trabalhos são protegidos da erosão).

O aterro pode prosseguir com monitorização cuidadosa e continuada dos tipos de solo a serem usados para verificar que o topo de solo correcto é colocado na secção apropriada. O núcleo é continuado através do centro da parede à medida que as outras secções são colocadas. Por causa da largura envolvida, poderá não ser possível realizar uma compactação manual e terão de ser usados outros métodos. Como já mencionado, nenhuma camada deverá exceder a espessura recomendada e, se o tractor/pá de arrasto em operação não for capaz de manter tal padrão, poderá ser necessária uma niveladora ou trabalhadores com pás e ancinhos.

A remoção de solo das áreas de empréstimo poderá ser ajudada por ripagem ou regando as áreas envolvidas (evite regar demasiado o que poderia levar a problemas de tracção). Este último é especialmente desejável para o núcleo e secção montante onde o solo, se usado molhado, será mais facilmente compactável.

Em fases determinadas pelo responsável pelo projecto/supervisor, o aterro à medida que for sendo construído deverá ser examinado para verificar se os taludes estão em conformidade com os limites do projecto. Se houver qualquer variação, serão necessárias medidas de remediação:

- Se os taludes são muito planos, pode ser construída uma banquetta de aterro para permitir uma inclinação geral mais próxima do projecto.
- Se os taludes são demasiado inclinados, a rectificação é mais difícil, pois, antes que a terra possa ser colocada para aplanar os taludes, são necessárias chavetas na face já existente para reduzir a formação de superfícies escorregadias entre o material novo e o velho. Neste último caso, apesar de que o talude possa ser corrigido desta maneira, a estabilidade da barragem nunca será tão boa como o que deveria ser, pois é difícil obter os mesmos níveis de compactação e coesão como os da estrutura original.

É melhor, portanto, evitar tais problemas com uma cuidadosa e frequente monitoração das estruturas à medida que vão tomando forma, especialmente no início do trabalho quando operadores e outros trabalhadores estão mais propensos a fazer erros. Moldes e estacas poderão ajudar nesta fase com os moldes cortados nos ângulos certos para serem aplicados ao talude com nível de bolha de ar ou fio-de-prumo para indicar a horizontal ou vertical.

Quando o aterro estiver à altura correcta deverá ser vistoriado para verificar em particular se o coroamento ou crista/soleira foi construído ligeiramente convexo com mais solo colocado no centro onde terá lugar um maior assentamento. O coroamento ou crista/soleira deverá ter uma ligeira inclinação (transversal) para o lado montante do aterro para permitir a drenagem segura da água da chuva para o reservatório em vez de para o talude de jusante. Durante os próximos meses, e finalmente depois de um ano, o aterro deverá ser novamente monitorizado para avaliar o assentamento e para permitir colocar solo em qualquer secção que assente a nível inferior ao da horizontal. O descarregador/vertedor deverá ser monitorizado para verificar que a inclinação prevista no projecto foi respeitada. Se ocorrem grandes caudais de cheia, ou se é esperado que ocorram, poderá ser necessário o enrocamento de pedra arrumada ou betonagem da base do aterro e de um ou dos dois lados do canal do descarregador/vertedor, para reduzir o risco de erosão.

É muito importante que uma boa cobertura de erva (capim), preferivelmente do tipo rastejante, seja instalada no aterro e no descarregador/vertedor antes da possibilidade de ocorrerem chuvas fortes. Isto poderia dizer construir a maior parte do descarregador/vertedor antes do trabalho do aterro propriamente dito começar, de forma ideal no fim da precedente estação das chuvas quando haverá disponibilidade de água para o estabelecimento da relva.

De qualquer forma, as últimas camadas de solo a serem colocadas no aterro, e em qualquer das secções cortadas do descarregador/vertedor, deverão ser de solo superficial de boa qualidade de forma a estimular um rápido e denso crescimento de erva (capim). Rega e estrumação poderão ser benéficas. Para minimizar a erosão causada por pessoas e animais, o aterro deverá ser vedado e, em alguns casos, deverão ser previstas passagens especiais protegidas para densedentar gado de forma a manter os animais fora de áreas sensíveis. Se ocorrer erosão, principalmente nas fases iniciais, muito tempo e trabalho poderá ser poupado com uma rápida acção de remediação. Depois de uma chuvada tempestuosa a barragem deve ser inspeccionada e todos os sulcos e ravinas (voçoroca, boçoroca) deverão ser tapados e replantados com erva (capim) antes que a situação piore. Onde a cobertura com solo e erva (capim) são difíceis de implantar, a colocação de torrões nos buracos que se formem e a cobertura do solo superficial e da vegetação com uma rede, poderão ajudar a regenerar o coberto.



Casos especiais 8

8 Casos especiais

8.1 INTRODUÇÃO

Com conselho técnico especializado e supervisão, barragens de terra podem ser construídas com sucesso em locais que, doutra forma, poderiam causar dificuldades. Se for considerado que os riscos e custos extra envolvidos valerão a pena, as barragens podem ser construídas em locais problemáticos seguindo os procedimentos normais já delineados mas modificando-os para se adaptarem a cada local em particular. Se não se tiver acesso a aconselhamento de engenharia civil e não houver experiência/conhecimentos, a altura do aterro deverá ser reduzido ao mínimo compatível com o armazenamento de água necessária.

8.2 BARRAGEM DE TERRA SOBRE FUNDAÇÃO DE ROCHA

Nalguns casos – e onde não haja risco do aterro deslizar na superfície de rocha – uma barragem de terra poderá ser mais barata do que um barragem em alvenaria ou açude. A construção de uma tal barragem é simples e muitos dos procedimentos descritos anteriormente estão envolvidos. No entanto, há um ou dois assuntos cuja importância deverá ser sublinhada.

A rocha sobre a qual será construído o aterro terá de ser sólida em todo o seu comprimento (fendas de menores dimensões deverão ser identificadas, limpas e cheias com betão) e ser de largura suficiente para fornecer uma boa base para a parede. É melhor se a largura da rocha for maior do que a largura da base, mas isto não é absolutamente necessário para que seja construída uma barragem bem sucedida. Alguma pesquisa será necessária para averiguar se a rocha se estende para uma profundidade suficientemente grande para servir como trincheira de vedação à infiltração que possa ocorrer.

Uma vez considerada satisfatória, a rocha deverá ser limpa de material resultante de intemperismo e materiais soltos. Uma parede chave baixa e larga é então construída ao longo do comprimento da barragem (normalmente na ou perto da linha central/eixo) com dimensões mínimas de 0,6 m de largura e 0,4 m de altura. Imediatamente antes dos tijolos, é colocada pedra ou betão, a fundação de rocha é preparada com uma aguada de cimento (uma mistura fraca de cimento e água para formar uma textura cremosa) para ajudar a fixação. Se houver equipamento disponível, será útil utilizar buchas de fixação/chumbadores ou a abertura duma trincheira na rocha. A parede chave não deverá ser 100 por cento sólida mas deverá ter, a intervalos regulares, pequenos espaços, ou tubos que permitirão a passagem de água de infiltração através dela sem significativamente afectar as suas capacidades estruturais.

O núcleo central do aterro deve estar ao lado e em cima desta parede chave e normalmente é necessário colocar as camadas iniciais manualmente, em cada lado da parede, até à espessura projectada. Seguindo os procedimentos normais, o melhor solo argiloso disponível deverá ser usado e disposto em camadas, 50-75 mm de espessura e bem compactado, molhando-o, batendo com um maço e/ou rolando. Uma vez que o núcleo tenha atingido o nível acima da parede chave, a colocação pode ser continuada com a ajuda de maquinaria e a construção do aterro pode prosseguir como já foi delineado.

Alternativamente, o núcleo pode ser colocada em primeiro lugar a uma altura superior a 0,5 m e, em seguida, uma secção central de 0,6 m de largura escavada a partir daí para a rocha e a parede chave construída dentro desta trincheira.

Se o assentamento do aterro é susceptível de ser significativo ou duma natureza que possa causar rachaduras na parede chave (assentamento diferencial pode levar uma estrutura rígida a deformar-se a tal ponto que ocorrem fracturas), é aconselhada alguma forma de reforço para fortalecer a estrutura. Uma rede de vedação ou um ferro de reforço colocado na parede é normalmente suficiente.

8.3 BARRAGEM DE TERRA UTILIZANDO MATERIAIS DE BAIXA QUALIDADE

Se não estão disponíveis bons solos argilosos, um aterro pode ser construído em segurança, se forem feitas certas modificações ao projecto.

O núcleo deve ser colocado usando o material mais impermeável. Pode ser considerada a utilização de material de formigueiro mas apenas como última hipótese e deverá ser tratado antes e durante o aterro. Vertisolos (cracking clays) ou argila expandida também poderão ser usadas mas é aconselhável misturá-las com solo grosseiro pois tudo o que é necessário num material de núcleo é que tenha argila suficiente para aderir e tornar a massa tanto quanto possível plástica e impermeável. Se é provável que esse material venha a ser usado, o dono da barragem deverá ser avisado de que não deverá deixar o aterro secar ou encher demasiado depressa, e que deverá ser mantido o mais cheio possível.

O próprio aterro deverá ser projectado com uma inclinação o mais economicamente pequena possível, mas não mais inclinado do que 1:2 para a face de jusante e 1:2,25 ou 2,5 para a de montante. Como de costume, o material mais grosseiro deverá ser aplicado na face jusante do núcleo.

8.4 ATERRO JÁ EXISTENTE COM PROBLEMAS DE PERCOLAÇÃO

Infiltração excessiva numa barragem pode indicar problemas sérios. Água suja escoando da face de jusante é uma indicação de que material de solo no interior está a ser erodido e transportado para fora do aterro. Isto é normalmente associado com solos de má qualidade e deficiente compactação do aterro ou na trincheira de vedação/núcleo e podem ser postas em prática medidas de remediação que reduzirão a infiltração para níveis seguros e aceitáveis.

Para melhorar a impermeabilidade do aterro, um tapete de argila de 0,25-1 m de espessura deverá ser estendido no lado de montante do núcleo (ver **Figura 10**).

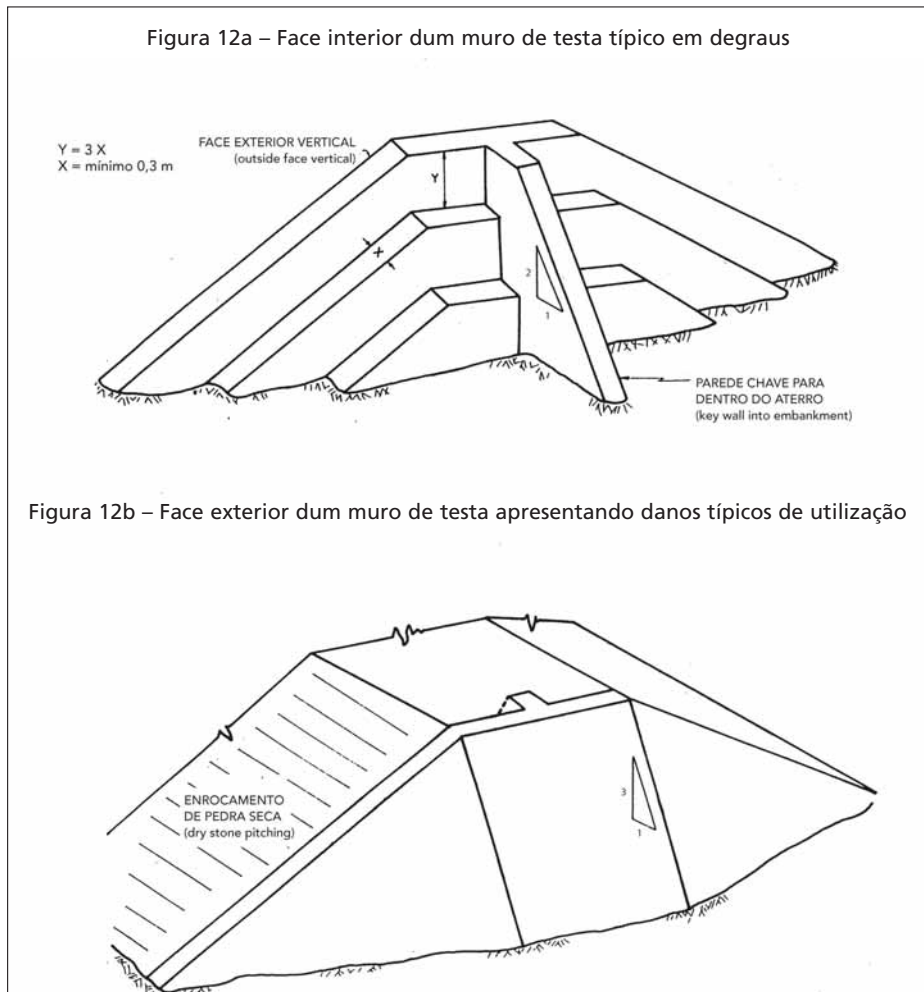
É recomendado a enlameadura do fundo do reservatório imediatamente a montante da barragem, e instalar drenos de gravilha e filtros no lado de jusante. Mais pormenores sobre medidas para reduzir percolação e melhorar a drenagem são dados na secção Obras de acabamento.

Uma vez que a barragem tenha desenvolvido problemas de infiltração como este, deverá ser regularmente monitorizada – é recomendada a instalação de piezómetros para medir os níveis freáticos no aterro – para avaliar se a infiltração foi controlada e se estão a desenvolver-se mais problemas, e se sim, qual é a sua importância. Ao longo da vida da barragem são necessárias inspecções e manutenção continuada, especialmente nos primeiros anos depois dos trabalhos de remediação terem sido concluídos.

8.5 BARRAGENS COM DESCARREGADOR DE CHEIA CENTRAL EM PEDRAS

Descarregadores/vertedores em pedra são normalmente necessários onde não há outra alternativa senão descarregar por sobre uma parte central da barragem. Para a maioria das barragens agrícolas a estrutura de descarga central pode ser uma soleira de gravidade fundada sobre rocha e construída de pedra ou betão ou, se fundada em material menos rígido, pode

ser construída de gabiões (ver mais pormenores na publicação da FAO, 2001, sobre pequenas barragens e açudes em terra e gabiões) com muros de testa de cada lado para trancar o descarregador/vertedor na barragem de terra.



Um exemplo dum muro de testa adequado é mostrado na **Figura 12**.

A descarga deve ser feita sobre rocha ou para dentro dum dissipador de energia (uma bacia de dissipação) e feita provisão adequada a jusante para combater qualquer risco de erosão no leito. Em casos extremos poderá ser necessária a correcção do rio através do uso de canais de enrocamento de pedra ou betão e gabiões.

Para barragens maiores, deverá ser procurado um parecer em engenharia civil para assegurar a estabilidade da estrutura central de descarga.

8.6 BARRAGENS CONSTRUÍDAS COM BULLDOZER

Apesar de não serem recomendadas como estruturas sólidas e duradouras, as barragens construídas com bulldozer podem proporcionar formas baratas e úteis de armazenar pequenas quantidades de água para dessedentar gado, irrigação, piscicultura, rega de hortas e usos domésticos.

Não é aconselhável a utilização de bulldozers para pôr uma parede de terra de pé através dum curso de água. Uma barragem correctamente construída com bulldozer deverá obedecer aos requisitos abaixo:

- Altura máxima 4 m.
- Largura mínima da base (para estes 4 m de altura) de 20 m e incluindo uma largura do coroamento ou crista/soleira de 3 m.
- A área de fundação deverá ser limpa de todo o material orgânico e de solo superficial até a uma profundidade máxima de 150 mm.
- A fundação deverá ser bem compactada e deverá ter trincheiras de vedação escavadas se for necessário.
- Material de terraplanagem deverá ser empurrado por bulldozer, apenas do lado do reservatório, e espalhado sobre todo o comprimento da barragem em camadas até 150 mm de espessura (melhor se menos).
- Cada uma das camadas deverá ser compactada utilizando os melhores meios disponíveis (i.e. gado, tractor com pneus cheios de água, manualmente usando maços, etc.)
- Os taludes laterais não deverão ser mais inclinados do que 1:2 e melhor, se menos.

É sempre necessário um descarregador/vertedor para estas barragens a não ser que se espere que encham por infiltração ou directamente da água da chuva como 'dewponds' no Reino Unido e 'haffirs' na Etiópia e Eritreia. Um pequeno tubo, instalado numa trincheira num dos lados da barragem e a uma altura adequada (0,5 a 1 m abaixo da cota máxima), deverá ser suficiente a não ser que os caudais sejam altos. Neste último caso, poderá ser necessário um descarregador/vertedor de emergência numa das margens. É importante que este descarregador/vertedor seja absolutamente horizontal no aterro, bem arrelvado e que a base do aterro e o pé da barragem sejam protegidos da erosão por enrocamento lançado (rip-rap) ou enrocamento de pedra arrumada ou gabiões.

A fixação destes aterros a pedregulhos ou formigueiros não é recomendada pois é muito provável que os pedregulhos dêem fraca ancoragem e tenham problemas de infiltração e os formigueiros levarão a que as térmitas (cupim, salalé, muchém) entrem na barragem causando grandes problemas depois de alguns anos.

A manutenção é uma questão contínua com barragens construídas com bulldozer, mas com inspecção regular, especialmente depois de grandes chuvadas ou cheias, isto poderá ser mantido a um mínimo.

Se é essencial o fornecimento de água durante o período seco, ou se as taxas de evaporação são altas, poderá valer a pena a escavação da parte mais profunda do reservatório para obter uma profundidade total de quatro ou mais metros. De qualquer maneira, para reduzir os riscos de pôr em perigo a estabilidade da barragem, a escavação não deverá ter lugar a menos de 10 m do pé de montante da barragem e bem afastada de qualquer secção do descarregador/vertedor.

8.7 BARRAGENS EM ÁREAS DE BAIXA PLUVIOSIDADE

Onde, por causa da baixa pluviosidade, não seja possível estabelecer e manter uma cobertura de erva (capim) no descarregador/vertedor e aterro, deverão ser tomadas outras medidas para evitar a erosão.

O descarregador/vertedor deverá ter enrocamento de pedra em toda a sua extensão, com pedras grandes, bem assentes e travadas (ver **Figura 3**), e com o eixo maior de cada pedra a 90° em relação à superfície do solo. Todos os espaços entre pedras deverão ser preenchidos com solo e plantados com a erva (capim) rastejante apropriada.

O aterro propriamente dito também poderá ter enrocamento de pedra mas, como isto deverá ser caro, poderá ser mais prático fazer um enrocamento de pedra arrumada ou um enrocamento lançado (rip-rap), de tamanho apropriado e bem assente, em áreas de alto risco tais como as extremidades do aterro e áreas com probabilidade de serem afectadas pela acção das ondas e, em seguida, colocar pedra solta e rocha no resto do aterro. Para facilitar este trabalho, poderá ser necessário, na fase de projecto, adoptar taludes com menor inclinação.

Sempre que possível, deve ser aconselhada a rega dos descarregadores/vertedores e do aterro antes da época das chuvas para estimular o crescimento da erva (capim) entre as pedras. De novo, é necessário a inspecção regular e manutenção deste tipo de barragens para maximizar a sua vida útil e minimizar os trabalhos de reparação.

8.8 ESTIMAR A CAPACIDADE DE UMA BARRAGEM AUMENTADA EM ALTURA

A capacidade de uma nova barragem ou de uma barragem que foi aumentada em altura pode ser estimada usando métodos de levantamento e a fórmula:

$$Q = \frac{LTH'}{6}$$

Quando sejam usadas fotografias aéreas e é calculada a superfície do reservatório a cota máxima e é conhecido o ponto mais profundo, pode ser usada a fórmula $Q = \frac{H' A'}{3}$

No entanto, no caso duma barragem aumentada em altura, poderá ser possível usar a fórmula $Q = k(H')^3$ se o seguinte é conhecido:

- capacidade anterior (Q), em m³
- H' anterior (ponto mais profundo a CM), em m
- H' novo (ponto mais profundo à nova CM), em m

Assim, calculando o factor **k** e incluindo-o na equação $Q = kH^3$, o novo **Q** pode ser facilmente determinado sem necessidade de recorrer a métodos de levantamento demorados e, ocasionalmente, difíceis.

Por exemplo, se:

$$H' \text{ anterior} = 10 \text{ m and } (H')^3 = 1\ 000$$

$$Q \text{ anterior} = 200\ 000 \text{ m}^3$$

$$k = \frac{(H')^3}{Q} = 200$$

Portanto se:

$$H' \text{ novo} = 15 \text{ m}$$

Usando a fórmula acima:

$$Q \text{ novo} = 200 \times 3\ 375 = 675\ 000 \text{ m}^3$$



Obras de acabamento 9

9 Obras de acabamento

9.1 INTRODUÇÃO

Quando o aterro estiver concluído e as principais descargas e drenos instalados, a barragem pode então ser concluída. É muito importante que os muros-guia ao longo dos lados do descarregador/vertedor estejam bem cobertos com erva (capim) e protegidos através de outras medidas de prevenção de erosão antes de pôr o descarregador/vertedor em funcionamento. Chuvas num aterro não protegido e caudais de água através dum descarregador/vertedor incompleto podem, no mínimo, causar pequenos sulcos e ravinas (voçoroca, boçoroca), e, no pior dos casos, destruir toda a estrutura. Portanto, quando a maior parte dos movimentos de terras de maior escala e outros trabalhos estiverem terminados, é de vital importância não negligenciar os pequenos toques de acabamento que, se adiados, podem pôr em risco muito ou mesmo todo o trabalho já feito.

Mesmo quando as obras de acabamento foram feitas correctamente, e na altura certa, são comuns os pequenos problemas com erosão e assentamento. Por causa disto, um programa de inspecção e manutenção regular tem que ser promovido para assegurar que não aparecerão perigos maiores.

O restante do local não deverá ser ignorado. Áreas utilizadas para armazenagem, alojamento ou acesso e estacionamento para activos fixos tangíveis deverão ser restaurados tanto quanto possível para as suas condições originais. Solo superficial e erva (capim) reservados no início dos trabalhos podem ser espalhados nestas áreas para permitir que a vegetação se restabeleça e sejam minimizados os riscos de erosão do solo exposto. Áreas de empréstimo e outras áreas usadas para escavar materiais devem também ser restabelecidas o mais possível (usando restos ou materiais não usados) e, em seguida, arrelvados a não ser que possam ser convertidas em lagoas de armazenagem de água.

9.2 EXIGÊNCIAS DE CONTROLO

Na altura da selecção do local da barragem deverá ter sido dito claramente à comunidade local/dono da barragem que, para manter a barragem em boas condições e para prolongar a sua vida útil como uma fonte útil e segura de água, serão necessárias inspecções atempadas e competentes, assim como manutenção.

Todas as barragens deverão ser inspeccionadas pelo menos uma vez por ano. Em climas de regime de estação seca, a melhor altura para realizar este trabalho é antes do início da estação das chuvas, quando a maior parte da barragem e do seu reservatório podem ser vistos. Deverá ser previsto um período de tempo depois da inspecção (e antes das chuvas começarem) para completar os trabalhos de remediação e reparação.

Todas as barragens com descarregador/vertedor coberto a erva (capim) deverão ser visitadas depois de cada tempestade e cheia. Isto é de maior importância no início da estação das chuvas quando, por causa da cobertura vegetal limitada, os riscos de erosão são maiores.

Todas as novas barragens que ainda não estabilizaram e assentaram completamente exigem visitas frequentes e, mais uma vez, o início da época das chuvas é uma altura importante, especialmente se a cobertura vegetal (erva, capim) ainda não se estabeleceu completamente.

Mais ou menos depois do primeiro ano, pode começar um programa mais rotineiro de inspecções. Visitas iniciais (que variarão de local para local) não deverão ocorrer menos de duas vezes por mês e deverão ser realizadas depois de cada chuvada ou cheia.

9.3 MUROS-GUIA

Os muros-guia são necessários ao longo de um ou dos dois lados do descarregador/vertedor para manter a água de cheia longe do pé e do maciço de jusante do aterro e dentro do canal. Os muros-guia são frequentemente construídos sem núcleo, mas frequentemente usam os mesmos declives que o aterro principal. No entanto, o projecto pode variar de acordo com as condições do local e a largura e a altura do coroamento ou crista/soleira podem ser reduzidas se necessário. Durante a construção, deverá ser tomado cuidado para não trespassar o descarregador/vertedor e não deverá ser removida nenhuma terra do leito do canal para este muro a não ser que seja necessário cortar para formar o descarregador/vertedor.

Poderá ser aconselhável betão ou enrocamento de pedra arrumada no final do aterro principal e ao longo dos lados internos dos muros-guia.

9.4 OUTROS TRABALHOS

No acabamento do aterro principal, deverá ser dado ao coroamento ou crista/soleira uma pequena inclinação para o reservatório para ajudar o escoamento para o reservatório e a secção de montante do aterro, menos sujeita a erosão. Deverá ser evitada a acumulação de água sobre e dentro do maciço de jusante.

Arrumação, trabalhos de cosmética e outros trabalhos menores podem, com frequência, ser deixados para o agricultor/dono da barragem/comunidade local em vez do que para o empreiteiro. Estas actividades são demasiado caras se for necessário o uso de equipamento pesado. Estes trabalhos de acabamento deverão incluir o seguinte:

- Plantação de erva (capim) (descarregador/vertedor, desembocadura e aterro)
- Arrelvamento do descarregador/vertedor (secções cortadas) e em redor das áreas com enrocamento de pedra
- Enrocamento de pedra do descarregador/vertedor (áreas de baixa queda pluviométrica)
- Acabamento da descarga de escoamento percolante (trickle flows) e tubos de despejo
- Escavação dos drenos de percolação
- Vedação
- Fertilização e rega das áreas arrelvadas
- Enrocamento de pedra dos muros-guia e aterro
- Betonagem de áreas com alto risco de erosão

Por último, se são necessários instrumentos de medida no descarregador/vertedor, ou indicadores de profundidade nas descargas ou reservatório, estes deverão ser instalados nesta altura (quando não poderão ser danificados pelo tráfego associado com a construção). Da mesma forma, letreiros e todos os avisos relativos à segurança deverão ser considerados nesta altura.

9.5 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO

Uma barragem agrícola deverá ser normalmente encontrada nas suas melhores condições imediatamente depois da construção. Para a manter em boas condições é muito importante que a manutenção seja feita regularmente.

Uma lista de verificação (check list) das actividades a serem seguidas anualmente (ou mais frequentemente) deverá ser preparada e mantida como registo das actividades de manutenção e dos trabalhos executados.

Esta lista deverá incluir o seguinte:

9.5.1 A cobertura de erva (capim)

É essencial que uma boa erva rastejante do tipo (*i.e.* capim kikuyu, capim-kikuiu, capim-quicuiu, capim-quicuio, (*Pennisetum clandestinum*), elitrígia (*Elytrigia repens* - syn. *Triticum repens* L.; *Agropyron repens* (L.) P. Beauv.; *Elymus repens* (L.) Gould)), estrela roxa, estrela Africana roxa, estrela Africana, capim estrela da África (*Cynodon nlemfluensis* ou *C. plectostachyus*) seja plantada em todas as superfícies de terra nua o mais cedo possível depois da construção e de preferência antes das primeiras chuvas fortes. Na altura da construção todo o solo superficial removido do local (*i.e.* para os trabalhos de escavação da fundação ou do descarregador/vertedor) deverá ter sido reservado e mais tarde usado para o acabamento da barragem com uma boa última camada (50-75 mm de espessura) de solo. Este pode ser misturado com estrume ou adubo (300 kg/ha de adubo azotado) e plantado com erva (capim). Onde haja disponibilidade de água, a rega ajudará muito o estabelecimento da cobertura de erva (capim) o que reduzirá ao mínimo a erosão e problemas relacionados.

Em ambientes mais inóspitos ou onde os solos usados como material de terraplanagem sejam provavelmente susceptíveis à erosão, o projectista/engenheiro pode adoptar uma ou várias soluções a curto prazo:

- Cobrir o solo com uma camada de gravilha ou enrocamento lançado (rip-rap em áreas molhadas ou sujeitas à acção de ondas) que, se houver alguma erva (capim) esta pode crescer por entre as pedras. Onde a gravilha e a pedra sejam caras ou difíceis de arranjar, esta protecção deverá ser limitada às encostas mais íngremes. Se estas áreas forem ligeiramente regadas antes do início das chuvas, o material será ligado um ao outro pela erva (capim) em crescimento.
- Semear uma cultura de cobertura de ciclo curto, tal como azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), Chicharo (*Lathyrus sativus* L.) ou semelhante, que crescerão rapidamente e que darão protecção limitada ao aterro e ao descarregador/vertedor enquanto a erva (capim) rastejante se estabelece. É necessário cortar a cultura antes de esta dar semente.
- Usar uma rede de cânhamo ou semelhante que possa ser estendida e presa nos taludes e que dará alguma protecção à erva (capim) em crescimento e ao solo por baixo, quando o escoamento superficial for muito grande.

Uma última e normalmente cara opção é a adopção de taludes com menos declive (3:1 ou 3,5:1) na fase de projecto assim reduzindo as velocidades e distribuindo o escoamento mais regularmente ao longo do aterro.

Uma vez que o coberto de erva (capim) esteja estabelecido deverá ser mantido denso e curto – obviamente isto é difícil em climas com uma estação seca longa mas pode ser ajudado por:

- Rega – onde a água seja escassa, ponha de lado uma reserva para usar quando as temperaturas começam a subir e imediatamente antes da estação das chuvas começar. Use um sistema de rega ou um tanque de água (cisterna) para fornecer à volta de 25 mm ou mais de água por semana.
- Condução – não queime a erva (capim) ou desta forma estimulará variedades mais altas, dominadoras, a crescer em vez das variedades preferidas, curtas, rastejantes. Corte a erva (capim) ou permita pastoreio limitado e bem supervisionado, tendo cuidado para evitar danos e rastos no descarregador/vertedor ou no aterro.

- Fertilização – será útil uma aplicação cuidadosa de estrume ou adubo antes de regar ou no início das chuvas.

9.5.2 Vedação

Isto é da maior importância para manter gado, pessoas e veículos fora das áreas sensíveis tais como a do descarregador/vertedor, descargas e o aterro. Uma boa vedação ajudará a manter o coberto vegetal, a minimizar erosão e a controlar o acesso à área da barragem e do reservatório.

Muitas das ravinas (voçoroca, boçoroca) nas áreas do descarregador/vertedor e nos taludes do aterro começam quando a chuva e o subsequente escoamento superficial se concentra em depressões causadas por trilhos feitos por pessoas, veículos ou animais.

Portanto, mantenha as vedações em bom estado, controle todos os postes durante a inspeção anual e inspecione o arame sempre que possível. A comunidade local ou o dono da barragem deverá fornecer a vedação na altura da construção e devem estar cientes da importância de a manter.

9.5.3 Assentamento

Por muito bem que a barragem tenha sido construída, terá sempre algum assentamento. A maior parte das barragens assentam à volta do primeiro ano depois da construção. Invariavelmente, a maior parte dos assentamentos ocorrem no ponto mais alto da barragem onde a massa é maior e outras pressões mais altas.

Na altura da construção deverá ter sido incorporada no topo do aterro uma margem para assentamento. A cada inspeção, o coroamento ou crista/soleira deverá ser controlado para se assegurar de que se mantém horizontal e que não se desenvolvem pontos baixos. Todos os abaixamentos exagerados deverão ser tidos em cuidado com aterro e monitorização adicional. Se isto for negligenciado, e se o nível do coroamento ou crista/soleira descer ainda mais, ou uma tempestade excepcional levar ao retorno da água de cheia do descarregador/vertedor, a barragem será galgada, a água concentrar-se-á nos pontos baixos e ocorrerão sérios danos.

Assentamento invulgar numa barragem mais velha pode indicar movimentos da fundação ou remoção do material do aterro por infiltração ou erosão. Procure sempre aconselhamento especializado quando isto acontecer.

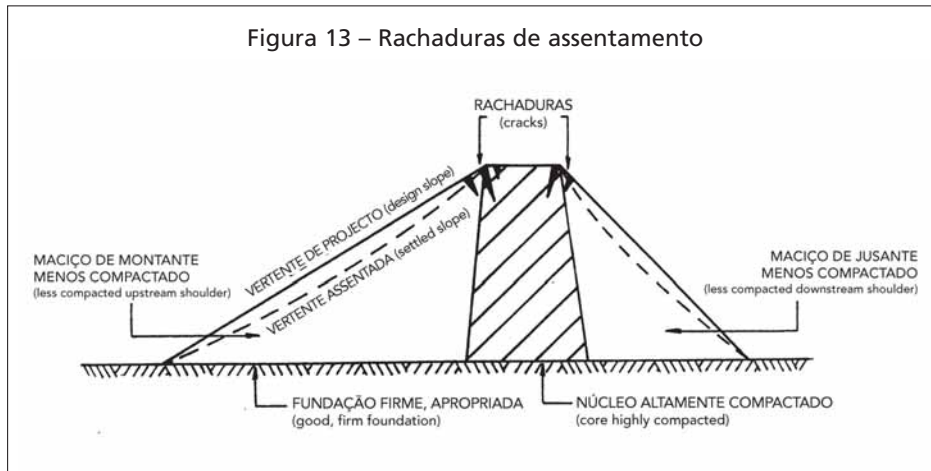
Uma outra forma de assentamento pode surgir quando, devido a técnicas de construção deficientes, o núcleo foi compactado comparativamente mais do que outras partes do aterro. A **Figura 13** ilustra isto. Os lados ou maciços de montante e de jusante do aterro assentam mais do que o núcleo, dado que estão menos bem compactados e, como a fundação está firme, (e não pode absorver por completo o assentamento diferencial), aparecem rachaduras ao longo dos bordos do coroamento ou crista/soleira à medida que o assentamento acontece. Estas rachaduras não representam um problema sério e podem normalmente ser tratadas introduzindo e pressionando bem solo molhado com erva (capim) logo que apareçam. É importante evitar que entre água nestas rachaduras (caso contrário verificar-se-ão erosão e encharcamento) e na estação das chuvas poderá ser necessário a colocação de sacos de areia para minimizar o escoamento. Quando aparecem rachaduras grandes e profundas em barragens mais velhas (indicando movimentos da fundação ou abatimento de um dos maciços), o nível da água no reservatório deverá ser baixado e, sem demora, deverá ser procurado aconselhamento especializado.

9.5.4 Percolação e drenagem

Numa certa medida, todas as barragens de terra verterão e a percolação só se tornará um problema se isto puser o aterro em perigo – quer provocando erosão na área de jusante quer causando o alagamento da barragem e assim afectar a sua estabilidade. Água suja escoando

da face de jusante duma barragem é uma causa de preocupação. À medida que os materiais finos forem sendo erodidos e levados para fora do aterro, isto poderá levar a erosão interna (piping) ou abatimento da estrutura.

Na altura da construção, e particularmente se a barragem não tiver uma área de fundação a jusante bem drenada e seca, deverão ser instalados drenos antes de construir o aterro. Se isto não tiver sido feito e a infiltração se tornar excessiva, o seguinte poderá reduzir o problema:



- Minimizar a percolação selando a face de montante e área do reservatório. Isto pode tomar a forma de um tapete de argila de 500 mm de espessura estendido e compactado nas áreas de maior pressão de água e protegido (de ser erodido e de secar) por solo superficial ou gravilha. Se o nível da água da barragem poder ser baixado, construir uma nova trincheira de vedação debaixo do pé de montante. A **Figura 10** ilustra um exemplo onde ambos, um tapete de argila e uma nova trincheira de vedação, foram instalados. Em ambos os casos a argila disponível mais impermeável deverá ser usada e deverá ser estendida na face de montante uma vez que tenha a sua camada de solo superficial removida e tenha sido gradada ou lavrada para ajudar uma boa ligação entre a velha e a nova superfície. Uma vez instalada, é importante evitar danos na nova superfície provocados por plantas de raízes profundas ou por animais que construam as suas tocas. Obviamente, este trabalho apenas pode ser feito quando o reservatório estiver seco.
- Abrir uma trincheira dentro e debaixo do pé de jusante para aliviar a pressão da água neste maciço do aterro – assegurando-se sempre de que o trabalho de escavação é feito em segurança. Aterre as trincheiras com pedra e gravilha para permitir a drenagem continuada e restaure o aterro para a sua vertente original com uma camada final de solo superficial e erva (capim). Todos os drenos devem desaguar num dreno colector central que depois é levado para uma área de descarga segura e não erosiva, mais a jusante. É melhor levar a cabo este trabalho durante a estação seca mas pode ser feito quando necessário, se a barragem está em perigo. Em ambos os casos, se possível, para reduzir o risco, o nível da água na barragem deverá ser baixado antes destas operações serem concluídas.

9.6 ÁRVORES E ARBUSTOS

Não permita que árvores, arbustos ou outras plantas de raízes profundas cresçam em nenhum lugar perto do aterro, do descarregador/vertedor e na sua desembocadura. Mantenha todas as partes da barragem limpas com uma cobertura de erva (capim) curta para proteger contra

erosão e para ajudar a inspecção e manutenção. Árvores no aterro não ajudam a estabilizar o solo e as suas raízes chegarão eventualmente à água. Quando mortas e em decomposição, formam uma passagem para insectos, animais e, água. Portanto, remova todas as árvores e arbustos antes que se estabeleçam. Numa situação em que se tenha permitido o estabelecimento de árvores velhas e de grande porte no aterro, estas deverão ser removidas quando o nível da água a montante for baixo. As árvores deverão ser cortadas o mais abaixo possível e, se os cepos não puderem ser escavados, deverão ser ensopados com gasolina e queimados ou tratados com produtos químicos para permitir uma decomposição rápida. Todos os materiais remanescentes e raízes deverão ser removidos e todas as escavações aterradas, compactadas e restauradas para a vertente de projecto com solo superficial e coberto de erva (capim).

Árvores ou arbustos no descarregador/vertedor alterarão as suas características hidráulicas e podem reduzir a sua capacidade para, em segurança, descarregar caudais de cheia. Estes caudais têm tendência a concentrar-se em canais (o que pode levar a erosão) em vez de se espalharem uniformemente sobre toda a largura do descarregador/vertedor (mantendo baixas velocidades e evitando turbulência). De novo, raízes de árvores não ajudam à estabilidade do solo.

9.7 EROSÃO

Este é um problema comum em qualquer barragem onde não foram mantidos o coberto com erva (capim) ou vedação. Se isto não for rectificado numa fase inicial podem formar-se ravinas (voçoroca, boçoroca) e o solo pode ser perdido por escoamento e cheias levando a problemas de estabilidade e de percolação.

As causas principais da erosão são:

- Falta de cobertura adequada com erva (capim).
- Pisoteamento do aterro e do descarregador/vertedor por gado e pessoas.
- Aparecimento de canais de estiagem no descarregador/vertedor.

Toda a erosão deverá ser inicialmente tratada restaurando as áreas afectadas às suas dimensões de projecto (*i.e.* aterrar, compactar e cobrir de erva (capim) todas as secções erodidas) e repor vedações se necessário.

Canais de estiagem no descarregador/vertedor estão normalmente associados com barragens construídas em rios perenes onde, durante a estação seca, pequenos fluxos serpenteiam ao longo e para baixo pelo descarregador/vertedor (especialmente em descarregadores/vertedores que não tem tido manutenção) e se concentraram em pequenas ravinas (voçoroca, boçoroca). A melhor solução para este problema é a instalação, na altura da construção, dum tubo de transbordamento abaixo do aterro, com uma entrada protegida localizada apenas abaixo do nível do descarregador/vertedor. Isto levará todas as correntes normais do rio enquanto que o descarregador/vertedor é reservado apenas para cheias. No entanto, se tal tubo de transbordamento não existe, não é aconselhável escavar no aterro uma vez a barragem construída. Assim, é melhor modificar o descarregador/vertedor para atender a caudais normais. Escave e revista um pequeno canal com capacidade suficiente que porte os volumes de água estimados e assegure que (como para qualquer estrutura de descarga) a água é descarregada de forma segura e não erosiva.

Uma desvantagem disto é que depois de cada cheia estes canais requerem controlo e desassoreamento e, onde tais medidas tenham sido realizadas, deve ser dada atenção especial às suas condições em cada inspecção.

Quando os descarregadores/vertedores tenham sido danificados por cheias, quer sejam pequenas ou grandes, é importante restaurá-los às suas dimensões de projecto – aterre, compacte e cubra com erva (capim) todos os pontos baixos, proteja os lados erodidos com enrocamento de pedra ou alvenaria e assegure-se que todas as áreas de descarga estão seguras com vertentes direitas e largas para permitir o despejo não erosivo de águas de cheia.

A construção na entrada de soleiras em betão, e a intervalos regulares ao longo do descarregador/vertedor coberto com erva (capim), assegurará que seja mantida uma superfície horizontal para o leito do canal, limitará erosão em cada secção e actuará como dissipadores de energia. Cada soleira deverá ter no mínimo 0,3 m de largura e 0,3 m de profundidade e ser bem fixada aos lados e ao leito do descarregador/vertedor. Dependendo da inclinação, podem ser posicionadas a intervalos de 30-50 m ao longo do descarregador/vertedor. Como as ravinas (voçoroca, boçoroca) frequentemente se desenvolvem primeiro na área de descarga (normalmente como resultado de vertentes demasiado inclinadas, área de descarga pequenas e má manutenção), as soleiras ajudarão a reduzir a erosão que pode voltar a acontecer ao longo do descarregador/vertedor se trabalhos de remediação não puderem ser feitos de imediato.

9.8 TÉRMITAS (CUPIM, SALALÉ, MUCHÉM) E TOCAS DE ANIMAIS

Com um programa de inspecção regular e competente, actividades de animais ou formigas nunca deverão ser um problema. Qualquer local que mostre evidência de actividades de formigas deverá ser devidamente tratado com um fumigante recomendado, escavado e a escavação aterrada em camadas com bom material e o uso cuidadoso de um insecticida de efeito prolongado. Todas as vertentes deverão ser restauradas para a sua forma original de projecto. Se a escavação necessária é muito grande (normalmente por causa de ausência de inspecção ou inspecção ineficiente), procure sempre aconselhamento especializado e nunca tente executar o trabalho na estação das chuvas ou se a barragem estiver cheia.



Obras de reparação 10

10 Obras de reparação

10.1 INTRODUÇÃO

Apenas execute obras de reparação que sejam simples, fáceis e que estejam dentro das suas capacidades. Para trabalho difícil, de grandes dimensões ou tecnicamente complexo consulte sempre um engenheiro qualificado. Obras de reparação de má qualidade podem ser perigosas e levar mais tarde ao desenvolvimento de problemas mais sérios durante a vida duma barragem.

Antes que qualquer obra de reparação seja começada tente sempre, certifique-se e corrija a causa do estrago para que o problema não se volte a repetir. A maneira como as falhas acontecem pode ser atribuída a quatro causas básicas:

- Galgamento: pode ser neutralizado por um descarregador/vertedor projectado de forma conservadora, margens generosas de folga/borda livre, e evitando áreas onde deslizamento de terras possam afectar o reservatório.
- Falha das vertentes: evite esta situação seguindo procedimentos de projecto e construção correctos, baseados nas pesquisas do local e análises dos materiais.
- Alargamento da base do aterro: minimize o risco evitando fundações de má qualidade, a adopção de vertentes com menos inclinação e reduzindo a altura da barragem.
- Erosão interna (piping): evite esta situação seguindo procedimentos de projecto e construção correctos, enchimento de rachaduras à medida que vão aparecendo (normalmente depois do assentamento duma nova barragem) e a introdução de drenagem a jusante através de filtros e drenos do pé, se a percolação se tornar excessiva.

Alguns problemas podem ter origem em defeitos estruturais associados a defeitos de projecto e construção e podem com frequência ter resultados catastróficos como quando acontece a ruptura ou tombamento da barragem. Defeitos não estruturais tais como bacias hidrográficas ou descarregadores/vertedores demasiado pequenos ou demasiado grandes relacionam-se directamente com falhas de projecto. Os resultados principais destes defeitos são realçados abaixo acompanhados de medidas de remediação que podem ser tomadas.

10.2 FALHAS ESTRUTURAIS

Estas são todas directamente associadas com o aterro e o descarregador/vertedor e podem ser associadas com a fundação, materiais usados, técnicas de projecto e construção.

10.2.1 Abatimento e deslizamento da face de jusante

Ocasionalmente isto poderá ser aplicado ao lado montante da barragem. É normalmente o resultado de materiais de má qualidade, vertentes demasiado inclinadas, drenagem inadequada e/ou infiltração excessiva. Se grave, a estabilidade da barragem pode ser afectada e é então muito importante baixar o nível da água no reservatório logo que possível.

A utilização de bom material e vertentes bem projectadas na altura da construção e o seguimento de procedimentos correctos de construção evitará o aparecimento destes problemas.

No entanto, quando aparecem problemas sérios, especialmente se numa barragem velha, a única solução são profundas obras de reconstrução e estas deverão incluir medidas para facilitar a drenagem na e por baixo da secção de jusante, tapetes de argila a montante, o alisamento das vertentes e a redução do nível da água no reservatório. Este último pode ser mantido baixando o descarregador/vertedor ou os níveis das caixas colectoras.

Outros factores, tais como solos de baixa resistência, fundações com deficiente compactação e compressão, também contribuem para a falha parcial das vertentes e podem ser de muito difícil remediação.

10.2.2 Movimentos da fundação

Movimento do aterro sobre a sua fundação pode levar à falha completa da barragem. Normalmente associado a uma escolha errada do local e com barragens maiores, os movimentos dos aterros levarão ao aparecimento de rachaduras na estrutura. São mais graves quando se estendem transversalmente através do aterro e abaixo da linha de água. Reduza o nível da água imediatamente e encha todas as rachaduras com bom material e plante erva (capim).

As barragens de terra podem absorver alguns movimentos sem sofrer danos mas se se continuam a formar rachaduras, ou estas aparecem de repente em velhas barragens, é melhor procurar imediatamente aconselhamento especializado.

10.2.3 Erosão interna (piping)

Isto ocorre quando a água de percolação escava um túnel ou tubo através dum aterro que, em casos graves, pode levar ao debilitamento e eventual tombamento da barragem. É muito grave em barragens construídas com solos de má qualidade e com grande permeabilidade.

Para evitar isto é melhor antecipar tais problemas na fase de projecto e construir drenos debaixo da secção de jusante antes de começar a construção da barragem propriamente dita. No entanto, quando a erosão interna (piping) é excessiva, ou não permitida, deverão ser seguidas as medidas já descritas para reduzir infiltração.

Quando água castanha, enlameada, é vista a emergir da face de jusante da barragem ou a percolação começa a aumentar, isto pode dizer que há graves danos internos. Isto pode ser associado, em casos mais graves, com o aparecimento de redemoinhos no lado montante. Reduza sempre o nível de água e execute, sem demora, obras de reparação e de remediação.

10.2.4 Breaching

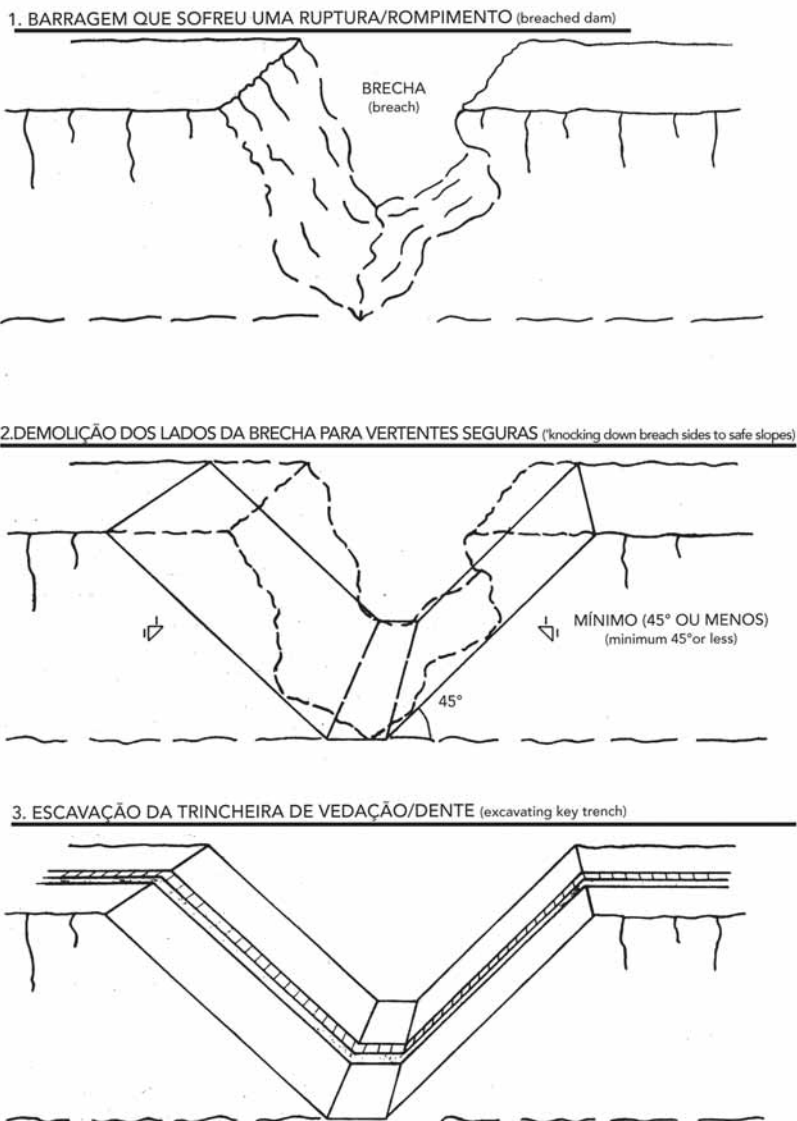
A ruptura dum barragem ocorre quando uma secção do aterro cede e se forma um buraco que pode causar a ruptura. A não ser que seja causado por galgamento ou por uma cheia excepcional (ou um descarregador/vertedor demasiado pequeno), a ruptura é normalmente resultado de um dos problemas apontados acima que se tornou num defeito grave. Investigue sempre a causa da ruptura antes de iniciar obras de reparação permanentes e, uma vez que o problema tenha sido resolvido, a brecha pode ser cheia e a barragem restaurada para as suas condições de projecto. No entanto, para o enchimento da brecha, certas diretrizes devem ser seguidas – referindo-se à **Figura 14**, o seguinte deve ser seguido:

- As obras de reparação devem ser sempre executadas na estação seca e assegure-se de que há tempo suficiente para acabar antes das chuvas começarem.
- Remova todo o material de má qualidade e solto dos lados e do fundo da brecha e assegure-se que a escavação é levada até a boa fundação (i.e. subsolo, rocha, aterro firme e bem compactado ou material de núcleo).
- Escave os lados da brecha até a um nível relativamente horizontal (1:3 mínimo e 1:5 ou menos onde possível). Isto assegura que activos fixos tangíveis e maquinaria podem

passar para um e para outro lado da vertente escavada (para encher e compactar) em vez de através da área da brecha e que, quando o espaço é fechado, a área reparada é firmemente fundada no velho material da barragem.

- Escave uma trincheira de vedação/dente, de acordo com o necessário.
- Reconstrua o aterro (ver Secção 7) para as novas necessidades de projecto assegurando-se que todo o material de aterro é depositado em camadas e bem compactado.
- Controle e inspecione frequentemente a reparação imediatamente depois da reconstrução e posteriormente dê especial atenção à área.

Figura 14 – Reparação duma barragem que sofreu uma ruptura/rompimento



NOTA: UMA TRINCHEIRA DE VEDAÇÃO/DENTE É SUFICIENTE PARA BARRAGENS ATÉ 5 m DE ALTURA. PARA BARRAGENS ACIMA DE 5 m DE ALTURA SÃO NECESSÁRIAS DUAS OU MAIS TRINCHEIRAS DE VEDAÇÃO/DENTE.
(note. one key trench is sufficient for dams up to 5 m high. two or more key trenches are required for dams over 5 m high.)

É muito importante assegurar uma boa ligação entre o velho e o novo material. Se os lados não forem escavados, e as trincheiras de vedação/dentes não forem abertas, a área de reparação pode facilmente falhar outra vez. Quando a reparação é feita de forma apropriada a área é mais capaz de resistir à pressão da água atrás de si e é menos provável que se forme uma superfície escorregadia entre o velho e o novo material. Um pouco mais de cuidado e atenção na altura das reparações é sempre preferível a um trabalho mais geral e apressado de enchimento da brecha.

Um desenho ilustrando a reparação típica numa brecha é apresentado no Anexo 4.

Sempre que uma barragem tenha sofrido um problema grave como este, assegure-se sempre que o nível da água não suba e desça rapidamente. Deve ser mantido abaixo do máximo por uns poucos anos para avaliar a eficácia da reparação e para possibilitar que a secção reparada se ajuste. Deve ser dada especial atenção a esta secção na altura de inspecção e monitorização.

10.2.5 Um descarregador/vertedor erodido

A erosão do descarregador/vertedor e a inabilidade para transportar caudais de cheia são as razões principais por detrás de muitas falhas de barragens de terra. Uma vez que a erosão tenha começado num descarregador/vertedor coberto com erva (capim) ou num descarregador/vertedor de rocha friável, é muito difícil evitar a sua recorrência sem uma manutenção contínua e procedimentos de remediação. Normalmente isto significa que deveria ter sido usada rocha sólida para descarregar água de cheia.

Se um sistema de escoamento percolante (trickle flow) não foi construído, um canal revestido deverá ser escavado no descarregador/vertedor e, para reduzir os riscos; um segundo descarregador/vertedor poderá ser construído na outra extremidade da parede da barragem. A colocação cuidadosa de sacos de areia ou de uma comporta de manutenção (comporta ensecadeira; comporta de emergência) pode, então, permitir o uso alternado do descarregador/vertedor para permitir iniciar a manutenção de um ou do outro. O enrocamento de pedra ou a betonagem do descarregador/vertedor e do aterro são soluções caras, que podem ter apenas sucesso parcial, pois se o betão for aplicado sobre a terra pode ser facilmente minado e erodido. Medidas mais simples, tais como o aumento da largura disponível do descarregador/vertedor; a construção numa soleira em betão à entrada do descarregador/vertedor (para evitar a erosão numa área sensível e dissipar alguma energia); cobertura do canal do descarregador/vertedor com erva (capim) abundante e protecção (enrocamento de pedra, pedra solta ou gabiões) dos lados incluindo a zona de descarga para o rio ou ribeiro onde normalmente começará a formação de ravinas (voçoroca, boçoroca); assim como inspecção contínua e manutenção na estação das cheias, minimizarão sempre os riscos.

Quando os caudais de cheia excederem a capacidade do descarregador/vertedor, o retorno da água no reservatório pode chegar ao ponto de galgar o aterro. A correcta avaliação dos caudais de cheia previstos e a maximização de factores de segurança tais como a largura do descarregador/vertedor e a folga/borda livre, especialmente onde informação hidrológica é insuficiente, são absolutamente vitais. Um descarregador/vertedor demasiado largo não é um problema mas um demasiado estreito pode, no pior dos casos, resultar na perda da barragem e, no melhor dos casos, em mais despesas que poderiam ter sido facilmente evitadas.

10.2.6 Acção das ondas

A acção das ondas na face de montante pode causar erosão, a qual pode aumentar o ângulo da vertente para uma inclinação indesejada ou formar “praias” na vertente que poderá levar ao abatimento dessa secção. Se deixar que esta situação continue, isto poderá reduzir o nível do descarregador/vertedor para abaixo da cota máxima. Isto é com frequência exacerbado por crescimento insuficiente de erva (capim) e erosão provocada por trilhos de animais, e,

como resultado, poderá ser necessário reconstruir toda a área de montante para reduzir a inclinação e permitir a colocação de enrocamento lançado (rip-rap) nas áreas mais sensíveis. Para barragens maiores com grandes flutuações no nível de água, os trabalhos envolvidos poderão ficar muito caros.

10.3 FALHAS NÃO ESTRUTURAIS

Uma barragem que não enche com água falhou tanto como uma que sofre de problemas de falhas do aterro e do descarregador/vertedor. Basicamente, falhas não estruturais resultam em que a barragem não cumpra as suas capacidades de projecto e isto normalmente leva a uma redução na disponibilidade de armazenamento de água. Podem ser identificadas duas razões principais:

10.3.1 Reservatório da barragem não atinge o enchimento total

A barragem poderá ser demasiado grande para a bacia hidrográfica. Este problema pode ser evitado na fase de projecto¹⁷ avaliando correctamente o rendimento da bacia hidrográfica (*i.e.* escoamento superficial médio por hectare ou quilómetro quadrado da estação das chuvas mais intensa em 10 anos -ou o tempo de retorno que o projecto/dono da barragem exigir - incluindo ter em consideração outras barragens e usos da água). A vazão afluente do reservatório pode ser aumentada construindo, se for considerado económico, drenos pluviais e de curvas de nível para aumentar o escoamento superficial e canalizar a água das áreas adjacentes da bacia.

Quando é sabido que o rendimento é satisfatório, pode dar-se o caso de que a água esteja a passar ao lado da barragem de tal forma que o reservatório não consegue encher. Frequentemente, à medida que a pressão da água aumenta, material permeável por debaixo do núcleo ou falhas que se estendam para dentro do reservatório, podem actuar como se fossem drenos de percolação. A água pode reaparecer a jusante ou contribuir para recarga subterrânea tornando difícil a identificação e rectificação do problema.

A monitorização cuidadosa da escavação na altura da construção da trincheira de vedação para assegurar que é suficientemente profunda e que é provável que abaixo desta não existam camadas permeáveis (*i.e.* antigos leitos de rios ou ribeiros ou rocha mãe do tipo ardósia/xisto), diminuirá o risco de surgirem tais problemas. Também ajudará, se na fase do estudo de viabilidade, for realizada uma pesquisa do leito do rio a montante da barragem para localizar sumidouros. De forma a assegurar que as áreas de empréstimo no reservatório se mantêm impermeáveis debaixo de pressão, estas não deverão ser completamente privadas do material de argila.

Quando se suspeita de perdas de água, a possível área de origem pode ser selada adicionando e incorporando (enlameadura) argila no reservatório imediatamente a montante do aterro (especialmente onde a água é mais profunda) e/ou escavando uma nova trincheira de vedação até a uma camada impermeável abaixo do nível do núcleo, na secção a montante do aterro. Esta última medida poderá ser mais económica se uma área alargada do reservatório tiver de ser coberta com uma camada de material impermeável.

10.3.2 A barragem assoreia

Este é normalmente um problema a longo prazo que pode ser evitado se as barragens não forem construídas em rios que transportem grandes cargas de sedimentos. Se não for detectado na fase do estudo de viabilidade, algumas medidas de remediação podem ser tomadas:

17. Ver secção 5.5.

- As práticas agrícolas locais na área da bacia hidrográfica podem ser melhoradas com melhor rotação de culturas, redução do encabeçamento e introdução de métodos de conservação.
- O coberto vegetal na bacia pode ser maximizado, especialmente em climas com estação seca onde chuvas de cedo podem levar a altos níveis de erosão. A desflorestação deverá ser minimizada em toda a bacia e deverá ser desencorajada a prática, corrente em muitas localidades, de localizar pomares e hortas perto do reservatório ou rio (para facilitar a rega manual).
- Quando esta última situação estiver presente, práticas culturais melhoradas tais como sulcos segundo as curvas de nível e lavoura, mantendo uma faixa de terra não cultivada perto do rio e reservatório e conservando linhas de água, podem reduzir o escoamento superficial e a erosão.
- Ravinas (voçoroca, boçoroca) e outras áreas de alto escoamento superficial devem ser recuperadas ou pelo menos estabilizadas.
- Bacias de retenção de sedimentos podem ser construídas a montante da barragem principal. Pequenas barragens ou caixas de deposição de sedimentos retêm a maior proporção dos sedimentos antes destes chegarem ao reservatório. Estas são geralmente temporárias, duma maneira geral caras e necessitam serem desassoreadas, portanto, deverão ser consideradas como medidas provisórias (tapa-buracos) enquanto são iniciadas outras medidas para reduzir assoreamento na sua origem.

Quando um reservatório está seriamente assoreado, normalmente não é económico escavá-lo. Transportar e despejar em segurança grandes quantidades de limos molhados pode tornar-se difícil. A alternativa preferível é aumentar a barragem em altura uma vez que o influxo dos sedimentos tenha sido reduzido aplicando as medidas preconizadas acima. Isto aumentará a capacidade de armazenamento apenas com um relativamente pequeno aumento do volume de terraplanagem.

Para barragens a serem construídas em rios com alto nível de limos, a construção dum aterro com um coroamento ou crista/soleira larga facilitará o alteamento da barragem em anos subsequentes.

Bibliografia e outras referências

- British Standard 1377**, London, UK, 1990 nine standards: references 1377-1-1990 to 1377-9-1990 inclusive and including later amendments at www.bsigroup.com.
- Food and Agriculture Organization**. 2001. Small dams and weirs in earth and gabion materials, AGL/MISC/32/2001. FAO Land and Water Development Division, Rome.
- Food and Agriculture Organization**. 2006. Simple methods for aquaculture – Manuals from the FAO training series, CD-Rom set. FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service.
- Hudson, N.W.** 1975. Field engineering for agricultural development. Oxford, UK, Clarendon Press.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives of Swaziland**. 1990. Repair and maintenance of small earth dams. Field Support Guide 109, Swaziland.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives of Swaziland**. 1992. Handbook on dam design and construction.
- Nelson, K.** 1997. Design and construction of small earth dams. Australia, Inkata Press. Third edition.
- Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J.T. and Frevert, R.K.** 1981. Soil and Water Conservation Engineering. New York, John Wiley & Sons. Third edition.
- Sherard, J.L., Woodward, R.J. and Gizienski, S.F.** 1964. Earth and rock dams. New York, John Wiley & Sons.
- Stephens, T.** 1991. Handbook on small earth dams and weirs – A guide to siting, design and construction. Bedfordshire, UK, Cranfield Press.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B.** 1967. Soil mechanics in engineering practice. New York, John Wiley & Sons. Second Edition.
- United States Bureau of Reclamation (USBR)**. 2006. Design of small dams. Water Resources Technical Publication Series. Washington, DC.
- World Bank, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Fund for Agricultural Development**. 2009. Gender in agriculture sourcebook. Washington, DC.

Glossário

Abatimento	O movimento de terra através de erosão ou encharcamento (especialmente em taludes inclinados) para fora de qualquer uma das faces do aterro. Também se pode referir como deslizamento, desmoronamento ou solapamento.
Área de descarga	A área ao fim do descarregador/vertedor onde este descarrega para um curso de água ou semelhante. A erosão com frequência começa aqui, se a área de descarga não foi devidamente projectada, protegida ou mantida.
Área ou caixa de empréstimo	Uma fonte de materiais de terraplanagem para a construção dum aterro. Localizada idealmente dentro da área do reservatório para facilitar o armazenamento e evitar a necessidade de medidas de restauração após a conclusão da barragem.
Assentamento	O aterro, mesmo que bem construído, assentará até a um certo ponto. Uma margem para isto deverá ser incluída na altura da construção (margem de assentamento) elevando o ponto central do aterro e afinando esta área elevada para os lados do vale.
Aterrar	O enchimento, no local, dum trincheira ou outra escavação ou com o material originariamente escavado da mesma escavação ou usando material importado dum outro lugar.
Aterro	A parede da barragem
Bacia hidrográfica	A área a montante da barragem que recebe todos os rios e outros cursos de água que fornecem a barragem.
Banqueta de aterro	Um banco horizontal ou uma área tipo terraço na vertente dum aterro, incluído para estabilidade ou onde é necessária uma mudança de gradiente.
Barragem de aterro homogéneo	Um aterro construído consistentemente com um tipo similar de material de solo para produzir uma estrutura homogénea.
Barragem de aterro homogéneo modificada	Um aterro semelhante a uma barragem de aterro homogéneo mas com uma zona de filtro no lado de jusante para, de forma segura, baixar o nível freático e depois passar a água de drenagem/percolação para fora do aterro.

Barragem zonada	Um aterro, quando construído com vários materiais de solo diferenciados de acordo com a sua posição e função na estrutura, é chamado de zonado.
Calda de cimento (o uso de)	O enchimento, com argamassa tipo gesso, de rachas e fissuras numa superfície rochosa em preparação para betonar ou aterrar.
Capacidade de armazenamento	O volume máximo possível de água que a barragem pode armazenar quando o reservatório está cheio.
Caudais de cheia	Acima dos caudais normais do rio em seguida a excessiva queda de chuva.
Caudal perene	Um curso de água que corre todo o ano. A alternativa, quando um curso de água seca periodicamente, é chamado caudal intermitente.
Cheia máxima provável	O pico de cheia numa bacia baseado (para o projecto da barragem e do descarregador/vertedor) num período de retorno de 1 em X anos.
Compactação	A compressão dum material de solo por meios mecânicos, na construção de aterros, para melhorar a sua estabilidade e características de capacidade de carga.
Coroamento ou crista/soleira	É o topo do aterro. O coroamento do descarregador/vertedor é o nível a que a água começa a correr no descarregador/vertedor
Cota máxima	O nível máximo de água para o qual a barragem foi projectada. Para barragens pequenas isto é o mesmo que o nível de entrada do descarregador/vertedor.
Desassoreamento	A escavação de limos ou outro material do reservatório numa barragem para aumentar a sua capacidade de armazenamento. Poderá ser mais económico levantar a altura do aterro para conseguir um aumento do armazenamento do que desassorear uma área grande de bacia.
Descarregador/vertedor	A secção de descarga da barragem, não dependente do tamanho da barragem mas sim do tamanho da bacia e das suas características hidrológicas e outras. Deve ser construída com dimensões suficientes para, em segurança, levar para fora a cheia máxima provável (CMP) de projecto, quando a barragem estiver cheia.
Encharcamento	Um solo completamente saturado está encharcado. A secção jusante do aterro pode-se tornar instável (especialmente por ser geralmente projectado com vertentes mais inclinadas e materiais mais permeáveis) se ficasse encharcada. Por isso, é importante existir uma drenagem livre nesta área do aterro.

Enchimento	A construção do aterro. Isto é normalmente feito na base de camada a camada acompanhado por humedecimento e compactação.
Enlameadura	A utilização de argila para selar uma superfície misturando o solo com água e estratificando-o numa superfície e depois compactando-o com máquina ou manualmente (historicamente por pisoteio de animais) para a tornar hermética.
Enrocamento de pedra	A protecção duma superfície vulnerável pela colocação de pedras de tamanho semelhante algumas vezes assentes sobre argamassa. Frequentemente utilizado para os drenos do pé.
Erosão	A remoção de solo e rocha por agentes naturais tais como chuva, caudais fluviais, percolação ou abatimento. Frequentemente acelerado por pessoas ou animais por sobrepastoreio ou pela formação de trilhos e marcas de rodados.
Erosão interna (piping)	A erosão interna ocorre quando fluxos hidráulicos (percolação) através do aterro transportam material de solo em suspensão causando o aparecimento de canais (tubos) na estrutura.
Folga/borda livre	A diferença em altura entre o coroamento ou crista/soleira da barragem e o nível de entrada do descarregador/vertedor.
Gabiões	Um meio patenteado para controlo da erosão na forma de cestos de arame ou colchões selectivamente cheios, no local, com rochas.
Galgamento	Ocorre quando caudais de cheia excessivos passam sobre o aterro por causa da insuficiente capacidade do descarregador/vertedor. Segue-se sempre a erosão e, se grave, pode levar a grandes estragos.
Geotêxteis	Um tecido sintético permeável de espessuras variadas com propriedades de filtragem e drenagem. Quando colocados atrás e debaixo de gabiões, limitam o movimento de material de solo em suspensão para dentro do gabião.
Humidade condicionada	O humedecimento (mas não alagamento) ou secagem dum solo para facilitar a compactação.
Linha de água	O nível da água no reservatório é referido como linha de água ou nível de água. O nível máximo de água possível é referido como cota máxima.

Muro-guia	A extensão do aterro, construído para conter em segurança caudais do descarregador/vertedor e para evitar que a água afecte a área de jusante da barragem. Também referido como margem-guia.
Nível freático	O nível mais alto da água em qualquer zona saturada do aterro.
Núcleo	A secção central dum barragem zonada, construído com material altamente impermeável para selar o aterro de percolação. A secção subterrânea do núcleo é referida como trincheira de vedação.
Percolação	À água movendo-se através ou por baixo dum aterro designa-se por percolação. Todas as barragens terão, em certa medida, percolação e, se pequena ou controlada, esta percolação não é considerada um problema grave.
Permeabilidade	É a medida da capacidade de um material (tipicamente uma rocha ou material menos consolidado como o solo) para transmitir fluidos.
Piezómetro	É um furo de observação de pequeno diâmetro, no aterro, equipado com um aparelho de medida para registar níveis de água e em particular avisar os engenheiros de variações.
Pista de vento (fetch)	A distância máxima desobstruída, a cota máxima, que o vento pode viajar através dum reservatório para erguer ondas que terão impacto no aterro.
Planímetro	Um instrumento para medir áreas numa planta ou mapa.
Rendimento da bacia hidrográfica	O escoamento superficial total estimado dum bacia hidrográfica para um determinado período; normalmente um ano.
Resistência ao cisalhamento	A resistência à deformação dum solo por coesão, normalmente aumentada por compactação a um determinado teor de humidade.
Ruptura	A remoção completa dum secção da barragem pela água do reservatório passando através do aterro. Pode ser provocada por erosão, movimento da fundação ou galgamento.
Tempo de concentração	O tempo entre o início dum tempestade numa bacia hidrográfica e o aparecimento da cheia máxima na barragem. Utilizado para projectar o descarregador/vertedor.
Terraplanagem	Todo o material de solo para ser usado na construção dum barragem constituirá a terraplanagem.

Teste de desagregação	É um método rápido e simples para a identificação dum solo argiloso dispersivo.
Teste de Proctor	É um teste padrão, desenvolvido nos Estados Unidos, para o controlo de humidade e compactação para solos coesivos.
Testes de Atterberg	Os limites de Atterberg ou limites de consistência são um método de avaliação da natureza de solos. Através duma série de testes e ensaios é possível definir o Limite de liquidez, o Limite de plasticidade e o Limite de contracção de um solo. Apesar da sua natureza fundamentalmente empírica, estes valores são de grande importância em aplicações de Mecânica dos solos, tais como a determinação do Índice de plasticidade e a actividade ou Actividade dos solos.
Trincheira de vedação	Área escavada, abaixo do nível do solo por baixo do núcleo e através de todo o material permeável para atingir um estrato mais impermeável, e para ser aterrada (e compactada) com material altamente impermeável para selar a fundação contra a percolação.
Turbulência	Caudal rápido, irregular, altamente erosivo. A ser evitada em descarregadores/vertedores cobertos a erva (capim) ou em terra, por meio de taludes menos inclinados e canais largos e rasos.

Anexo 1

Directrizes de aprovisionamento para preparação de concurso público, avaliação e adjudicação de contrato

INTRODUÇÃO

Todo o aprovisionamento (e planeamento) deve obedecer aos três pilares de Integridade, Transparência e Responsabilidade. Isto aplica-se a todas as actividades antes da construção, durante a construção (especialmente se serão utilizados os serviços de empreiteiros e consultores) e ao subsequente funcionamento e manutenção da estrutura e de qualquer infraestrutura relacionada tal como um sistema de irrigação.

Em quase todos os países e para todas as agências internacionais de financiamento existem regras para o aprovisionamento e estas deverão ser seguidas. Estas regras deverão encorajar a verdadeira e livre competição nos concursos públicos e adjudicação de contrato, reuniões abertas e distribuição de informação equitativa e justa, efectiva monitorização e auditoria de todos os processos e realização de actividades.

Como parte do trabalho de preparação, e antes que qualquer concurso público seja anunciado, a agência que aprovisiona necessita duma estimativa realista (com base num projecto de boa qualidade e cálculo dos encargos) do custo da estrutura com discriminação dos custos dos itens significativos. Para preparar esta estimativa, um engenheiro (**O Engenheiro**) deverá ser seleccionado e nomeado não apenas para executar este trabalho preliminar mas também para continuar a supervisionar o empreiteiro e assegurar-se que todas as obras são executadas de acordo com o projecto e com a mais alta qualidade possível.

A estimativa deverá ser mantida estritamente confidencial e não deverão existir quaisquer ligações entre as pessoas com conhecimento desta matéria e os concorrentes. Se o concurso resultar em ofertas recebidas que variam, em muito, desta estimativa, a validade do concurso deverá ser questionada. Estimativas subvalorizadas por parte dos concorrentes poderá levar a desempenhos contratuais insatisfatórios e à necessidade de mudanças e variações ao longo do contrato e estimativas sobrevalorizadas poderão sugerir preços exagerados, cartel de concorrentes ou outra proposta irrealista.

Os critérios de tomada de decisão ao longo de todas as fases devem ser claros, justificáveis e objectivos (com um registo escrito quando necessário) sem nenhuma margem para ambiguidade, especialmente na avaliação e comparação das propostas.

É recomendada a pré-qualificação dos concorrentes para contratos significativamente caros ou uma série de pequenos contratos¹⁸ mas evitando a possibilidade do estabelecimento de cartéis. Esta pré-qualificação deverá ser baseada na competência profissional (pessoal e equipamento), experiência relevante, capacidade financeira e integridade. Qualquer empreiteiro

18. Adjudicação de contratos para uma série de pequenas barragens numa área, ou para um projecto com um contrato global, poderá resultar em economia de escala na mobilização, a utilização de activos fixos tangíveis, e em supervisão.

ou consultor que tenha qualquer condenação recente ou tenha sido banido por actividades financeiras irregulares, ou por não conclusão de contratos, não lhe deverá ser permitido pré-qualificar-se.

TRABALHO DE PREPARAÇÃO

A preparação dos documentos do concurso público e contrato, incluindo todos os levantamentos e projecto de trabalho necessário para preparar a estimativa de custos e o orçamento indicativo, deverá ser feito com a devida antecedência. Se os fundos serão providenciados por agências internacionais de empréstimos ou doadores, as suas directrizes terão de ser seguidas e exemplos de anúncio de concurso público e documentos deverão ser obtidos dessas organizações no início do processo.

O processo de preparação poderá incluir a necessidade do pedido de direitos sobre a água e terra, estudos de impacto ambiental mais os planos de compensação e restabelecimento. Isto deverá ser concluído antes da aprovação da construção da barragem e autorizada a prosseguir.

Em muitos lugares, a construção pode apenas ter lugar na estação seca quando os níveis do rio são baixos, o acesso ao local é mais fácil e é possível controlar o teor de humidade para compactação. Logo, o projecto e o concurso público deverão ter lugar durante a estação das chuvas e programados para estarem concluídos no início da estação seca seguinte a tempo para mobilizar os activos fixos tangíveis na altura em que o solo começa a secar. Normalmente é melhor começar a limpeza das estradas de acesso, abate e remoção de árvores e preparação das áreas de fundação antes que o solo seque completamente. O fim dum estação das chuvas e o início da estação seca seguinte são a melhor altura para isto.

ANÚNCIO DO CONCURSO PÚBLICO

Inclua sempre uma visita ao local em todos os anúncios de concurso público e procedimento de adjudicação.

O período de anúncio de concurso público deverá ter em consideração a necessidade de aprovação (normalmente na fase de anúncio e de adjudicação) do mutuante ou doador, a necessidade de observação de regulamentos e procedimentos burocráticos locais ou do governo nacional, quer seja anunciado a nível internacional, regional ou nacional, e o âmbito das obras. O concurso público para uma pequena barragem poderá ser anunciado a nível nacional e dado aos possíveis concorrentes 6 a 8 semanas para responder, incluindo visitas ao local e recolha de documentos. Portanto, o período de concurso para isto, incluindo anúncio e avaliação, poderia ser à volta de 12 semanas.

Uma série de barragens a serem financiadas por um ou mais doadores poderá necessitar de anúncio internacional com tempo necessário para possíveis concorrentes procederem à recolha de documentos, visitar o local e preparar calendarização e propostas (no seus países de origem). Tal concurso público poderá necessitar até 20 semanas para a sua conclusão com mais tempo necessário para o concorrente vencedor se mobilizar.

Quanto mais complicadas forem as obras e o tamanho e número de barragens a serem construídas, mais tempo levará o processo de concurso público. São apresentadas abaixo directrizes para ajudar a preparação do concurso e documentos de contrato, e na adjudicação dum contrato para um projecto simples envolvendo apenas uma ou duas pequenas barragens:

As modalidades de avaliação (ver pormenores a seguir) – ou quaisquer equivalentes modificados – deverão ser anexados a todos os documentos do concurso público para permitir aos concorrentes perceberem o processo de avaliação proposto.

Mantenha sempre um registo escrito de acontecimentos relevantes e informe sempre os concorrentes, por escrito, de qualquer assunto que possa ter implicações legais. Qualquer informação específica que não esteja no documento, dada a qualquer concorrente, deverá ser comunicada, por escrito, a todos os outros concorrentes.

AS MODALIDADES DE AVALIAÇÃO

Existem duas opções para concurso público, e a escolha tem de ser indicada no documento do concurso.

Na primeira opção, a oferta técnica e financeira estão combinadas e apresentadas num único sobrescrito. A segunda opção, chamada concurso por etapas, envolve um sistema de dois sobrescritos no qual a proposta técnica (primeiro sobrescrito) é avaliada e as propostas classificadas antes da oferta financeira (segundo sobrescrito) serem abertas. Isto assegura que os preços não influenciam a avaliação técnica da proposta. Esta abordagem deverá ser privilegiada, em particular no caso de contratos complexos. Onde é usado o processo de concurso público com dois sobrescritos, deverá ser indicado nos documentos do concurso que os concorrentes deverão colocar as componentes técnicas e financeiras das suas propostas em separado, marcando claramente os sobrescritos. Estes sobrescritos deverão ser colocados dentro dum outro sobrescrito, aplicando-se os procedimentos normais para a apresentação da proposta.

Deverá ser adoptado um sistema de pontos, baseado em critérios que podem ser ajustados conforme o país, locais das barragens, âmbito da obra e outros factores. Todos os concorrentes deverão ser informados dos procedimentos de avaliação a seguir e se há algumas condições especiais envolvidas. O seguinte sistema de pontos pode ser usado como guia:

Proposta técnica: 50 pontos

Experiência – máximo de 20 pontos

Isto é calculado de acordo com a avaliação pessoal de cada membro da equipa e considera o seguinte: Qualquer experiência (boa ou má) com o empreiteiro, experiência do empreiteiro na área e em obras semelhantes.

Equipamento e pessoal – máximo de 10 pontos

De novo, é utilizada a avaliação individual de cada membro da equipa. Factores como número e idade do equipamento, adequabilidade do equipamento para as obras envolvidas, experiência do pessoal (incluindo operadores e supervisores) e apoio que o empreiteiro tem no país (incluindo o fornecimento de combustível, acomodações no local, apoio mecânico, etc.) deverão ser considerados. Quando são promovidas obras que requerem mão-de-obra intensiva, a esta categoria poderia ser atribuída mais pontos (20 talvez, e a categoria experiência reduzida para 10) e dado o número mais alto de pontos àqueles empreiteiros que se ofereçam para seguir estes procedimentos.

Programa de trabalho – máximo de 10 pontos

A mais alta pontuação será dada aos empreiteiros que possam concluir as obras dentro do prazo de projecto já decidido ou antes que comece a próxima estação das chuvas.

Localização do empreiteiro – máximo de 10 pontos

Com base mais na distância de mobilização do que na localização física do empreiteiro,

isto também é determinado pela opinião de cada membro da equipa. Como guia, a mais alta pontuação (i.e. 10) deverá ser dada a empreiteiros localizados na zona, digamos 8 pontos para localização na província, 4 pontos para empreiteiros com base nacional e 2 ou menos para empreiteiros mobilizando-se de fora do país.

Proposta financeira: 50 pontos

Custo – máximo de 50 pontos

A proposta com o custo mais baixo recebe 50 pontos e as outras ofertas recebem pontos com base em 50 menos 1 ponto por cada 2 por cento de diferença da proposta com o custo mais baixo. Qualquer proposta com mais de 100 por cento mais alta do que a proposta com o custo mais baixo não receberá qualquer pontuação.

A avaliação

Deverá ser estabelecida uma equipa de avaliação com pelo menos três pessoas. Pelo menos uma das pessoas deverá ter formação em engenharia (O Engenheiro é a pessoa mais indicada para isto) e ser capaz de aconselhar os outros membros da equipa sobre assuntos técnicos, se estes surgirem. Poderá ser útil a inclusão duma pessoa local (comité da barragem). No entanto, uma equipa com mais de seis pessoas poderá ser demasiado pesada e logo, inadequada.

Nesta altura, os membros da equipa deverão evitar confraternização e outros contactos estreitos com os concorrentes.

Os seguintes passos deverão ser seguidos:

Passo 1: RECEPÇÃO DAS PROPOSTAS

Em seguida ao anúncio do concurso público, assegure-se que todos os concorrentes que paguem a necessária taxa¹⁹ não reembolsável, recebem os documentos, plantas do projecto, estimativa de custos (mas não o orçamento indicativo), qualquer Acordo da Comunidade, a data da visita ao local e pormenores sobre onde os documentos da proposta deverão ser entregues, a data limite para a entrega e o local e hora de abertura das propostas.

Se o prazo for mudado, todos os concorrentes potenciais deverão ser informados quer pessoalmente (se em pequeno número) ou por anúncio nos meios de comunicação social.

As propostas recebidas deverão ser registadas num diário e o concorrente e o funcionário devem assinar para confirmação da data e da hora a que foi recebida. Qualquer proposta recebida em sobrescrito não selado deverá ser rejeitada e o(a) concorrente informado(a) por escrito de que a sua taxa foi utilizada e que não poderá repropor. Todas as outras propostas deverão ser guardadas num lugar seguro até à data e hora de abertura das propostas.

A visita ao local deverá ser formalmente registada no mesmo diário e qualquer concorrente impossibilitado(a) de fazer a visita deverá ser excluído(a) do processo e a sua proposta devolvida, não aberta.

Passo 2: ABERTURA DAS PROPOSTAS

A pessoa responsável pela abertura das propostas deverá primeiro informar todos os presentes do procedimento que ele(a) irá seguir. Breve informação sobre o processo de avaliação (já fornecido nos documentos e baseado nas directrizes acima) deverá

19. Apenas aceite contante ou cheques visados.

ser dada para assegurar aos concorrentes potenciais de que a avaliação será justa e equitativa.

Na altura da abertura do concurso público, deverá ser dada a um funcionário a responsabilidade de abrir as propostas recebidas. Será necessário um(a) secretário(a) para registar os participantes e quaisquer comentários feitos (especialmente objecções). A acta – breve e com apenas os pontos principais – deverá ser feita para futura referência.

Passo 3: REVISÃO DA DOCUMENTAÇÃO

À medida que as propostas forem sendo abertas, o funcionário responsável pode anunciar o nome do concorrente mas depois deve verificar que a proposta está completa e que obedece às condições anunciadas. Se, por qualquer razão, não está completa (por exemplo, falta o certificado da visita ao local), a proposta deverá ser rejeitada e o valor da proposta não deverá ser anunciado. O documento completo deverá ser devolvido ao concorrente acompanhado duma carta a explicar porque é que a sua proposta foi rejeitada. Não há possibilidade de apelo nesta matéria.

Pequenas omissões ou erros são aceitáveis. Pequenos erros de aritmética deverão ser corrigidos e o valor corrigido usado na avaliação. Se forem notados erros significativos que possam afectar o valor da proposta, e à discrição da equipa de avaliação, a proposta deverá ser rejeitada.

Propostas irrealistas, ou com valores a nível impossível de alcançar ou para concorrentes que mostram ser completamente inexperientes ou que possuem equipamento totalmente inapropriado, também podem ser rejeitadas nesta fase.

Se os concorrentes não tiverem sido pré-qualificados, alguma investigação deverá ser feita nesta fase sobre a integridade do concorrente (este processo deve ser registado nos documentos da proposta ou no anúncio do concurso público). Qualquer concorrente com recente²⁰ condenação penal com relação a fraude, suborno ou corrupção ou com graves casos provados de más práticas contratuais ou por não conclusão de contratos, deverá ser excluído nesta altura. A proposta não deverá ser avaliada. Como dito acima, a proposta deve ser devolvida ao concorrente com uma carta e todos os outros concorrentes informados desta decisão.

Passo 4: AVALIAÇÃO TÉCNICA

Uma vez que as propostas tenham sido declaradas válidas, pode ser iniciado o procedimento de avaliação por pontos.

Inicialmente, os concorrentes deverão ser avaliados de acordo com a metodologia de avaliação em utilização, em relação ao critério de não-preços, isto é, apenas de acordo com os seus méritos técnicos. Nesta fase, a equipa de avaliação não deverá ter acesso aos preços propostos pelo concorrente. Esta avaliação de critério de não-preços deverá ser documentada antes de passar à próxima fase da avaliação.

Passo 5: AVALIAÇÃO FINANCEIRA

Depois dos concorrentes terem sido avaliados de acordo com o critério técnico, uma avaliação financeira dos preços propostos (ou cotados) pode então ter início. Os resultados da avaliação financeira deverão ser documentados antes de passar à próxima fase da avaliação.

20. Nos últimos cinco anos ou qualquer outro período que seja acordado.

Passo 6: AVALIAÇÃO DA “MELHOR OFERTA COMBINADA”

Tendo avaliado separadamente os concorrentes em relação a critérios técnicos e financeiros, uma comparação do “trabalho técnico” e “preço” deverá ser feita de acordo com os critérios estabelecidos no documento do concurso público, para determinar que concorrente representa a melhor oferta combinada. Esta fase estabelecerá a classificação final dos concorrentes.

ADJUDICAÇÃO DO CONTRATO

Uma vez que a classificação final tenha sido estabelecida, o empreiteiro com o total mais alto deverá receber a adjudicação do contrato.

Se, por razões excepcionais, é tomada a decisão de não adjudicar o contrato ao concorrente com a avaliação mais alta, os outros concorrentes deverão ser formalmente informados dessas razões e dado um período (10-14 dias) para poderem contestar, mas não alterar as suas propostas. Todas as contestações deverão ser analisadas e tomada uma decisão final. Porque isto pode levar a atrasos e a problemas legais, é melhor não tomar decisões que adjudiquem contratos a outros concorrentes que não sejam aqueles com a avaliação mais alta.

Por último, uma vez tomada a decisão de adjudicar o contrato, o potencial empreiteiro pode ser contactado e o contrato adjudicado. Recomenda-se que não devam ser feitas negociações com o concorrente vencedor quer para reduzir o custo (i.e. se acima do orçamento para a barragem ou projecto ou se todas as propostas forem consideradas inaceitavelmente altas em parte ou no total) quer para melhorar a proposta para incluir itens considerados incompletos. É ético fazê-lo desde que seja feito para o interesse da relação custo-eficácia e numa forma aberta e transparente.

Se a adjudicação do contrato falhar, ou for parada por qualquer razão, o segundo concorrente mais classificado pode ser chamado. No entanto, nunca negocie com dois concorrentes ao mesmo tempo numa tentativa de pô-los um contra o outro. Isto não é ético nem profissional.

Uma vez que o contrato tenha sido adjudicado, os outros concorrentes não seleccionados devem ser informados da adjudicação mas não do preço final. O processo de avaliação é confidencial e a informação aí contida é apenas tornada pública se um concorrente perdedor contestar e tiver que ser instaurada uma arbitragem. A decisão da adjudicação deverá ser publicada com uma lista de todos os concorrentes, elementos principais do processo de avaliação listados e razões específicas porque é que a adjudicação foi feita ao concorrente vencedor.

Um exemplo de tabela de avaliação é apresentado abaixo (ver **Tabela A1**).

Tabela A1 – Modelo de tabela de avaliação por pontos

Preço da proposta	Preço (Máx. 50)	Experiência (Máx. 20)	Pessoal/equipamento (Máx. 10)	Programa de trabalho (Máx. 10)	Localização do empreiteiro (Máx.10)	Total de pontos (Máx. 100)	
Nomes dos concorrentes	O mais baixo	50	Calcular	Calcular	Calcular	Calcular	Soma dos cálculos das colunas à esquerda
	A segunda mais baixa e assim por diante	Calcular	“”	“”	“”	“”	
		“”	“”	“”	“”	“”	
		“”	“”	“”	“”	“”	

SUPERVISÃO DO CONTRATO

São necessárias monitorizações e auditorias contínuas para a supervisão de qualquer contrato. Isto pode ser feito pelo dono da barragem, agências governamentais ou consultores contratados para supervisionar um contrato financiado por uma agência internacional de financiamento. Para todos menos para o primeiro, o supervisor deverá, por sua vez, ser monitorizado e auditado para assegurar a observância do contrato e para encorajar a relação custo-eficácia e para evitar corrupção. O Banco Mundial estabelece um painel de especialistas para cada contrato para uma grande barragem e estas pessoas são totalmente independentes e são capazes de levar a cabo monitorizações e auditorias regulares (e irregulares) durante toda a duração do contrato.

Particular atenção deve ser dada a variações no contrato. Qualquer variação deverá ser analisada tanto individualmente como no seu conjunto e, uma vez que o tecto financeiro tenha sido atingido (com base no preço do contrato e normalmente no intervalo de 10-15 por cento) os especialistas independentes externos deverão ser chamados. Qualquer caso provado de variação em resposta a suborno ou corrupção deverá causar o imediato cancelamento do contrato (sem haver lugar a qualquer sanção pecuniária compulsória em favor do empreiteiro) e demissão e acusação de qualquer pessoal de supervisão envolvido.

Para todos os contratos, é necessária uma organização/entidade para a efectiva resolução de disputas. Tal como com o painel de especialistas, esta deverá ser independente e devidamente qualificada para resolver disputas imparcialmente e no interesse da integridade e justiça. Isto poderá ser uma agência governamental ou com base no sector privado. Pormenores sobre tal agência deverão vir claramente especificados em todos os documentos do concurso público e do contrato.

PAGAMENTOS

A sequência de pagamentos ao empreiteiro terá sido especificada nos documentos do concurso público e no contrato. Normalmente, estes terão sido negociados na altura da assinatura do contrato e qualquer variação admitida, especificada nos documentos do concurso público.

Pagamento adiantado:

A maior parte dos contratos para barragens requerem um pagamento adiantado a ser feito ao empreiteiro para **mobilização** (estabelecimento do local completo com escritórios, electricidade, comunicações e fornecimento de água, limpeza do local da barragem, estabelecimento de stocks de materiais, transporte de equipamento e pessoal para o local e outras actividades iniciais relacionadas). Isto deverá ser registado como um pagamento adiantado e pode incluir entre 10 e 25 por cento do montante total do contrato. Pode ser feito como um pagamento único ou pode ser proporcionalmente recuperado à medida que pagamentos de rotina são feitos ao empreiteiro à medida que as obras procedem.

Pagamentos progressivos de rotina:

Pagamentos de rotina podem ser acordados na altura da assinatura do contrato e podem tomar a forma dum pagamento mensal com base em determinado volume estimado de trabalho concluído ou pode ser baseado na proporção da barragem a ser completada. De qualquer maneira, os pedidos de pagamento deverão ser submetidos pelo empreiteiro e depois controlados e aprovados pelo Engenheiro que supervisiona as obras.

Todos os pagamentos aprovados deverão ser examinados e autorizados; depois pagos rapidamente. Muitos empreiteiros não possuem os recursos financeiros para cobrir longas demoras nos pagamentos progressivos e, quando empreiteiros privados estão a trabalhar para

clientes do sector público tais como ministérios, devem ser estabelecidas, antes do início do projecto, formas eficazes e transparentes e meios de assegurar rapidamente os pagamentos aos empreiteiros.

Custos não previstos:

Em todos menos nos contratos mais simples, deverá ser prevista uma soma para trabalhos não esperados ou para alterações ao projecto. Normalmente listados na lista de quantitativos e estimativas como **Contingências**, isto pode ser calculado à volta de 5 a 15 por cento do total do montante do contrato.

De novo, todos estes pagamentos deverão ser inicialmente aprovados pelo engenheiro, examinados uma vez o trabalho concluído e depois pago rapidamente ao empreiteiro. Ver comentários acima sobre este assunto.

Pagamentos finais:

No final da construção, as obras deverão ser inspeccionadas e assinadas pelo engenheiro. O empreiteiro pode então desmobilizar e deixar o local. Normalmente, o pagamento final é retido por um período acordado no contrato – um ano é satisfatório e dará uma oportunidade à barragem para encher e ser usada antes da responsabilidade do empreiteiro acabar. Durante este período, a barragem deverá ser monitorizada e controlada com frequência. Qualquer falha deverá ser devidamente anotada e corrigida às custas do empreiteiro.

Se o empreiteiro não puder ou não quiser fazer o trabalho, o montante retido poderá ser usado para pagar outro empreiteiro para fazer o trabalho necessário.

Uma vez terminado o período de responsabilidade, o engenheiro certifica a barragem como boa e o empreiteiro pode receber o saldo devido.

INSPECÇÃO FINAL E MEDIÇÃO

Esta é uma actividade importante e pode ser executada pelo engenheiro para assegurar que a barragem concluída foi construída de acordo com o projecto e com o nível de qualidade mais alto possível. Esta actividade pode ser executada em conjunto pelo engenheiro e o empreiteiro para garantir que não há resultados contestados, embora seja o engenheiro o responsável geral.

É melhor que a inspecção final seja concluída antes do empreiteiro desmobilizar para assegurar que qualquer trabalho pendente possa ser concluído sem demora. Um conjunto de desenhos “Conforme construído” devem ser produzidos e mantidos no registo.

Pode então dar-se início ao programa de manutenção e segurança.

Anexo 2

Análise de custo-benefício

O exemplo abaixo é de um projecto para uma barragem com 11 m de altura e um sistema de rega privado associado, orçamentado para a Zâmbia em 2008.

Tabela A2: Quadro-resumo de custos					
Factura	Actividade	Taxa unitária	Quantidade	Custo US\$	Total US\$
1	Pesquisa do local	Montante	–	–	12 000.00
2	Salário do engenheiro: projecto e supervisão	Montante	–	–	17 000.00
3	Mobilização	Montante	–	–	7 500.00
4	Limpeza do local:				
	Área do aterro	ha	5	2 000	10 000.00
	Reservatório	ha	40	500	20 000.00
5	Trincheira de vedação/núcleo:				
	Escavação	m ³	750	5.5	4 125.00
	Aterrar	m ³	750	7.0	5 250.00
6	Aterro	m ³	22 000	3.5	77 000.00
7	Muros-guia	m ³	1 400	6.0	8 400.00
8	Descarregador/vertedouro	m ³	770	6.0	4 620.00
9	Obras de acabamento	horas	240	10	2 400.00
10	Outras obras da barragem incluindo trabalhos de assentamento depois da construção	Montante	–	–	5 000.00
Sub-total Barragem				A	173 295.00
11	Sistema de rega (um centre-pivot)	ha	35		42 000.00
12	Miscelânea (estrada de acesso/fornecimento de electricidade)	Montante	–		30 000.00
Sub-total Sistema de rega				B	72 000.00
Sub-total todo o projecto				A+B	245 295.00
Contingências				10%	24 560.00
Grande total				US\$	269 845.00

Primeiro prepare a tabela de custos como mostrado na **Tabela 3**, Secção 6.6.

ANÁLISE INICIAL²¹:

O custo total estimado do conjunto de infra-estruturas (barragem, sistema de rega, infra-estruturas associadas tais como estradas de acesso e fornecimento de electricidade) e a supervisão por um engenheiro qualificado é de US\$ 270 000 para um resultado final de 35 ha regados. Assim, o custo por ha para o esquema de financiamento de capital é de US\$ 7 715 o que está mais ou menos na média para desenvolvimento de rega na Zâmbia, em 2008.

21. O conjunto de ferramentas do FAO Rural Invest dá uma metodologia precisa e transparente para a formulação, cálculo dos custos e avaliação de investimentos de pequena e média escala usando software desenvolvido para o efeito. Pode ser considerado tanto com finalidade lucrativa como sem finalidade lucrativa. Mais informação pode ser encontrada em www.fao.org/tc/tci/ruralinvest_en.asp

Tabela A3: Calendário proposto para as obras

Factura	Actividade	Abril	Mai	Junho	Julho	Ago	Set	Out	Nov
1	Pesquisa do local	■							
2	Engenheiro: projecto e supervisão		■						
3	Mobilização			■					
4	Limpeza do local			■	■				
5	Trincheira de vedação/núcleo				■				
6	Aterro					■	■	■	
7	Muros-guia						■	■	
8	Descarregador/vertedouro						■	■	
9	Obras de acabamento								■
10	Outros								■
11	Esquema de rega						■	■	■
12	Estrada de acesso/fornecimento de electricidade				■	■	■		

Notas:

Cronograma baseado num período de estação seca de Abril-Novembro.

A pesquisa do local poderá acontecer no ano precedente.

O descarregador/vertedouro deverá estar concluído e operacional antes de começar a estação das chuvas.

Os trabalhos referentes ao esquema de rega poderão começar no ano sucessivo enquanto a barragem enche.

O esquema de rega inclui duas electro-bombas, tubagem, acessórios e um centre-pivot para um total de 35 ha.

A limpeza da área do reservatório é normalmente apenas de árvores e arbustos grandes.

A camada superficial do solo pode ser removida em áreas que serão usadas como áreas de empréstimo.

O custo por hectare é uma forma útil de comparar locais de barragem quando está envolvida irrigação e pode ser feito apenas para o custo da barragem ou para os custos combinados da barragem e o sistema de rega adjacente.

Uma segunda comparação pode ser feita sobre o custo da barragem para o volume de água armazenado – neste caso a capacidade da barragem (que determina a área que pode ser regada – para trigo na estação seca) foi estimado em 280 000 m³. Assim, o custo para a água armazenada foi de US\$ 1,47/m³ tomando em consideração o custo da barragem acima mais 10 por cento para contingências. Quando existe mais do que um local de barragem este é um meio útil de comparação por razões económicas.

ANÁLISE AVANÇADA:

Para avaliar a viabilidade económica os custos e benefícios podem ser estimados (e, de novo, fazer comparações entre locais e esquemas para avaliar os locais de potencial mais alto para serem desenvolvidos). Neste exemplo, o trigo foi a cultura de estação seca para ser cultivado nos 35 ha do esquema de rega. O preço do trigo na Zâmbia em 2008 era de US\$ 450/t e o rendimento de trigo regado na Zâmbia anda consistentemente numa média de 6 t/ha. Assim, para 35 ha, a produção totalizaria 210 t e traria um retorno de US\$ 94 500 por estação, com base nos preços de 2008. As culturas da estação das chuvas foram semeadas como uma mistura de milho e soja que rendeu 8 t/ha para o milho e 2 t/ha para a soja. Os preços ao produtor em 2008 eram de US\$ 220/t para milho e US\$ 300/t para soja.

Tabela A4: Retorno das actividades agrícolas (Um ano agrícola – Abril a Abril)

Cultura	Rendimento (35 ha)	Área cultivada	Preço ao produtor US\$	Produção	Total recebido US\$
Trigo	6 t/ha	35 ha	450/t	210 t	94 500.00
Milho	8 t/ha	15 ha	220/t	120 t	26 400.00
Soja	2 t/ha	20 ha	300/t	40 t	12 000.00
Total					132 900.00

Assim, pode fazer-se uma estimativa do retorno que o regante receberá por um ano agrícola para os 35 ha.

O custo médio dos inputs por ano agrícola foi de US\$ 750/ha para fertilizantes, outros inputs incluindo preparação da terra e colheita e US\$ 300/ha para custos de bombagem para rega (estação seca e complementar). Logo, o custo total dos inputs foi de US\$ 1 150/ha para 35 ha, totalizando US\$ 40 250 para o ano agrícola. Parece, mesmo sem uma análise de custo-benefício aprofundada, que a construção duma barragem e sistema de rega são vantajosos com “lucros” anuais nos 35 ha superiores a US\$ 90 000, suficiente para contribuir para os custos de funcionamento e manutenção e para amortizar o custo do capital da barragem e sistema de rega em 3-4 anos.

Anexo 3

Produção de peixe em barragens agrícolas

BARRAGENS E PRODUÇÃO DE PEIXE

As maiorias das pequenas barragens de terra são construídas para conservação de água, irrigação e dessedentar animais, fornecimento de água potável, e outros fins. As barragens são raramente construídas para produção de peixe mas podem ser usadas para este fim em conjugação com outras utilizações.

Se a produção de peixe é considerada na fase de projecto da barragem, podem ser conseguidos benefícios na produção e rendimento com um pequeno aumento do custo total da barragem. Barragens com uma expectativa de um fluxo contínuo significativo ou aquelas com vertentes muito inclinadas e profundidades maiores do que 3-5 m, não podem ser consideradas como apropriadas para produção significativa de peixe.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A CONSTRUÇÃO

O local para o reservatório deve ser limpo de vegetação, tanto quanto possível, para evitar a formação de dióxido de carbono e metano na água, após o primeiro enchimento – isto também é desejável para reduzir a produção de gases com efeito de estufa²² e minimizar os efeitos da decomposição da matéria orgânica nos níveis de oxigénio na água – dado que a vegetação em apodrecimento na água produz um ambiente hostil para os peixes. Esta remoção da vegetação é aconselhável – especialmente em áreas mais frescas onde a decomposição do material vegetal pode levar muito tempo – quando são libertados caudais regulares da barragem (por exemplo para gerar energia hidroeléctrica) dado que a água poluída seria depois introduzida nos cursos de água a jusante.

Em áreas de solos altamente ácidos, (comum na África Central e do Sul) poderá ser útil fazer uma calagem na área do reservatório com até 2 t/ha de calcário (ou o nível recomendado para a produção normal duma cultura) espalhado e incorporado na camada superficial antes do primeiro enchimento para reduzir acidez e obter água mais alcalina para ser armazenada (pH 7,0 a 8,5 é o ideal). A produção de peixe é aumentada em águas alcalinas mas isto terá de ser considerado cuidadosamente se a água do reservatório é principalmente para irrigação ou usos domésticos onde um pH neutro de 7,0 ou mais baixo é recomendável.

Áreas rochosas dentro dos limites do reservatório podem ser deixadas para servir de abrigo aos peixes e insectos e para área de reprodução.

Se necessário e desejável, uma ou duas destas áreas podem ser construídas para criar ilhas no reservatório e isto promoverá a vinda de aves e também fornecerá áreas de pouca profundidade para a reprodução e alimentação dos peixes. Para barragens de maiores dimensões, onde poderá ser feita pesca à rede, essas áreas rochosas no leito do reservatório poderão ter que ser removidas para evitar danos nas redes.

22. Em 2000 foi estimado que as albufeiras contribuíram com até 7 por cento, a nível global, para os gases com efeito de estufa.

Em todos os casos as barragens não deverão ser povoadas com peixes até pelo menos 3-4 meses depois do primeiro enchimento. Isto permitirá à água de “amadurecer” e desenvolver um ecossistema estável que possa manter peixes e outra vida selvagem.

TAMANHO DO RESERVATÓRIO E CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROFUNDIDADE

→ Barragens grandes com 10 ha ou mais de área de superfície de reservatório:

Quando estas barragens têm um fluxo contínuo significativo, ou tem na maior parte profundidades maiores do que 5 m, o potencial para produção de peixe será limitado. Outros factores, incluindo turvação, temperatura da água, variação em pH e baixo teor de oxigénio na água, também poderão afectar a produção.

Duma maneira geral, áreas com uma profundidade de 3-5 m são ideais para a produção de peixe.

→ Barragens médias com 3-10 ha de área de superfície de reservatório:

Os constrangimentos para fluxo contínuo e profundidade aplicam-se, mas geralmente estas barragens são bem adequadas para a produção de peixe. Se houver áreas significativas do reservatório com águas pouco profundas, poderá ser económico considerar uma calagem do fundo do reservatório antes do enchimento e fertilizar a água, 14-21 dias depois da calagem ter sido concluída²³, para promover o crescimento de algas e plâncton e para suplemento alimentar dos peixes. O fertilizante pode tomar a forma de material inorgânico (dissolvido em água e aplicado na altura da ocorrência de temperaturas da água mais altas) ou estrume. Para este último, normalmente é vantajoso estabelecer pocilgas ou similar, perto da barragem e aplicar estrume a uma taxa de até 100 kg/ha por dia – ou, inicialmente incorporado no solo no leito seco do reservatório ou colocado em pequenas quantidades a intervalos regulares na água pouco profunda.

Fertilização/estrumeação da água deverá ser feita a intervalos regulares em quantidades que não poluam a água. Estrume fresco será comido pelos peixes e qualquer porção que sobeje induzirá o crescimento de pequeníssimas plantas e organismos animais.

A fertilização não deverá ser feita em alturas de alto fluxo contínuo ou em alturas de baixos níveis de água. Está associado o cuidado em manter bom controlo sobre a vegetação. O excessivo crescimento de infestantes levará a mais baixas populações de peixes, peixes mais pequenos, utilização de nutrientes que doutra maneira poderiam produzir plâncton, interfere com actividades de balneação e navegação e também promove doenças transmitidas pela água tais como malária (paludismo) e bilharzias (esquistossomose). É importante equilibrar o crescimento da vegetação no reservatório numa barragem de modo a disponibilizar abrigos para pequenos peixes, insectos e outros pequenos animais; oxigenar a água e fornecer uma importante fonte de fertilizante através de material vegetal em decomposição sem ter uma vegetação excessiva e os subsequentes efeitos adversos na água. Ocasionalmente, poderá ser necessária uma limpeza manual das infestantes para assegurar que o crescimento das plantas não é excessivo.

→ Barragens pequenas com menos de 3 ha de área de superfície de reservatório:

Estas estruturas incluem barragens sazonais e grandes viveiros de peixes e são as fontes mais efectivas de produção de peixe, especialmente se tiverem extensas áreas de água entre os 3 e os 5 m de profundidade.

23. Esta prática não é aceitável para barragens para o fornecimento de águas domésticas.

Os tratamentos sugeridos acima incluindo fertilização ou estrumação e calagem combinados com boa gestão e alimentação suplementar podem atingir altos rendimentos de produção de peixe. Estas barragens são mais adequadas à produção de peixe do que para povoamento e deverão ser geridas de acordo.

Para desenvolver a produção de peixe em todas as barragens, um bom começo é consultar o “Métodos simples para aquacultura” (Simple methods for aquaculture) (FAO, 2006), que inclui manuais para a gestão e técnicas de cultivo para peixes de água doce.

Anexo 4

Exemplos de plantas padrão

TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS NAS PLANTAS PADRÃO

ENGLISH

DAM DRAWING 1

Plan

Basin	
Concrete sill (if required)	
Cut-off to follow crest line	
Spillway	
Fenceline	
Gate in Fence	
Stone Pitching	
Gabion anti-erosion bar	
Rock bar	
4 lines of 12 gauge	
2 strands of galvanized barbed wire	
100 diameter creosoted posts	
Corner posts and intermediate strutted posts as per technical specification	
Water course	

Typical valley cross-section and earthworks

Crest length	
Spillway length	
Crest	
FSL	
Base width	
Reduced levels at centre line	
Area of cross section (WxH)	
Length of longitudinal section	
Embankment	
Training bank	
Settlement allowance	
Means height	
Length	
Slopes	
Spillway volume	
Area	
Average excavation depth	
Depth	
Capacity	

PORTUGUÊS

PLANTA PADRÃO 1

Planta

Bacia
Soleira em betão (se necessário)
Corte pela linha do coroamento/crista/soleira
Descarregador
Vedação
Portão na vedação
Enrocamento
Barreira anti-erosão do gabião
Afloramento rochoso
4 linhas com 12 manómetros
2 linhas de arame farpado galvanizado
Postes de 100 mm de diâmetro cobertos de creosoto
Postes de canto e postes intermédios escorados de acordo com especificação técnica
Curso de água

Corte típico e trabalho de terraplanagem

Comprimento do coroamento/crista/soleira
Comprimento do descarregador
Coroamento/crista/soleira
Cota máxima
Largura da base
Níveis reduzidos no eixo do aterro
Área da secção transversal (largura x altura)
Comprimento da secção longitudinal
Aterro
Muro-guia
Margem do assentamento
Altura média
Comprimento
Declives
Volume do descarregador
Área
Profundidade media de escavação
Profundidade
Capacidade

Location Plan

Spillway 15m wide and 1.20m deep
Embankment crest height
Embankment slopes (Upstream, downstream)
Training Bank slopes (both sides)
Settlement allowance
All dimensions in millimeters
Reduced levels from arbitrary datum

Planta de localização

Descarregador 15m de largura e 1.20m de profundidade
Altura do coroamento/crista/soleira do aterro
Vertentes do aterro (montante, jusante)
Taludes dos muros-guia (ambos lados)
Margem do assentamento
Todas as dimensões em milímetros
Níveis reduzidos de um datum arbitrário

ENGLISH**DAM DRAWING 2****Plan**

Cut-off will follow crest line
Spillway
Stone Pitching
Rocky outcrop
Fence line
Thorn fence
Existing fence
Gate in Fence
4 lines of 12 gauge
2 strands of galvanized barbed wire
100 diameter creosoted posts
Corner posts and intermediate strutted posts as per technical specification
Water course
Bridge

Typical valley cross-section and earthworks

Crest length
Spillway length
Crest
FSL
Base width
Reduced levels at centre line
Areas of cross section
Length of longitudinal section
Embankment
Training bank
Settlement allowance
Means height
Length
Slopes
Spillway volume
Area
Average excavation depth
Depth
Capacity

PORTUGUÊS**PLANTA PADRÃO 2****Planta**

Corte pela linha do coroamento/crista/soleira
Descarregador
Enrocamento
Afloramento rochoso
Vedação
Vedação cortada
Vedação existente
Portão na vedação
4 linhas com 12 manómetros
2 linhas de arame farpado galvanizado
Postes de 100 mm de diâmetro cobertos de creosoto
Postes de canto e portes intermédios escorados de acordo com especificação técnica
Curso de água
Ponte

Corte vale típico e trabalho de terraplanagem

Comprimento do coroamento/crista/soleira
Comprimento do descarregador
Coroamento/crista/soleira
Cota máxima
Largura da base
Níveis reduzidos no eixo do aterro
Área da secção transversal (largura x altura)
Comprimento da secção longitudinal
Aterro
Muro-guia
Margem do assentamento
Altura média
Comprimento
Declives
Volume do descarregador
Área
Profundidade media de escavação
Profundidade
Capacidade

Location map

Spillway 15m wide and 1.20m deep
Embankment crest height
Embankment slopes (Upstream, downstream)
Training Bank slopes (both sides)
Settlement allowance
All dimensions in millimeters
Reduced levels from arbitrary datum

Plano de localização

Descarregador 15m de largura e 1.20m de profundidade
Altura do coroamento/crista/soleira do aterro
Vertentes do aterro (montante, jusante)
Taludes dos muros-guia (ambos lados)
Margem do assentamento
Todas as dimensões em milímetros
Níveis reduzidos de um datum arbitrário

ENGLISH**DAM DRAWING 3****Breach repair detail**

Homogeneous earthfill
Crest graveled where used as a road
150 thick layer of topsoil planted with runner grass
River and sand filter material
Rock fill
Toe drain (if required)
Cutoff trench excavated to a firm impervious foundation
Stripped ground level
Maximum stored water level
Free board

Downstream slope erosion repair detail

Existing embakment
Crest graveled where used as a road
Existing material trimmed back to compact surface
150 thick layer of topsoil planted with runner grass
Homogeneous earthfill
River and sand filter material
Stripped ground level
Maximum stored water level
Free board

Breach repair detail – Typical cross section

Homogeneous earthfill
Crest graveled where used as a road
150 thick layer of topsoil planted with runner grass
River and sand filter material
Rock fill
Toe drain (if required)

PORTUGUÊS**PLANTA PADRÃO 3****Detalhe de reparação de fenda**

Enchimento de terra homogénio
Coroamento/crista/soleira com gravilha, quando usada como Estrada
Solo superficial de 150mm de espessura coberto com relva
Material de filtro (areia material do rio)
Enrocamento
Dreno jusante (se necessário)
Trincheira transversal escavada de modo a formar uma fundação impermeável
Elevação do solo limpo
Nível máximo de água armazenada
Folga/ Borda livre

Detalhe de reparação dos efeitos da erosão na vertente jusante

Aterro actual
Coroamento/crista/soleira com gravilha, quando usada como Estrada
Material existente compactado na superfície
Solo superficial de 150mm de espessura coberto com relva
Enchimento de terra homogénio
Material de filtro (areia material do rio)
Elevação do solo limpo
Nível máximo de água armazenada
Folga/ Borda livre

Detalhe de reparação de fenda – corte típico

Enchimento de terra homogénio
Coroamento/crista/soleira com gravilha, quando usada como Estrada
Solo superficial de 150mm de espessura coberto com relva
Material de filtro (areia material do rio)
Enrocamento
Dreno jusante (se necessário)

Cutoff trench excavated to a firm impervious foundation

Stripped ground level

Maximum stored water level

Free board

Downstream slope erosion repair detail – typical cross section

Existing embankment

Crest graveled where used as a road

Existing material trimmed back to compact surface

150 thick layer of topsoil planted with runner grass

Homogeneous earthfill

River and sand filter material

Rock fill toe

Stripped ground level

Toe drain

Slope to be determined on site

Maximum stored water level

Free board

Breach repair detail

Crest level

Homogeneous earthfill

Existing material trimmed back to compact surface

Existing embankment

Slope to be determined on site

Cutoff trench

Breach repair detail – plan of breach

Existing embankment

Breach

Upstream

Cutoff trench

ENGLISH

DAM DRAWING 4

Typical section through water outlet pipe

Pipe inlet

Standard precast concrete box

Trapezoidal channel

Construction drawing

(1) All reinforcement in this drawing is detailed in accordance with BSCP (1972) as follows:

(2) Bar calling up system

No. in group

Diameter

Trincheira transversal escavada de modo a formar uma fundação impermeável

Elevação do solo limpo

Nível máximo de água armazenada

Folga/ Borda livre

Detalhe de reparação dos efeitos da erosão na vertente jusante – corte típico

Aterro actual

Coroamento/crista/soleira com gravilha, quando usada como Estrada

Material existente compactado na superfície

Solo superficial de 150mm de espessura coberto com relva

Enchimento de terra homogénio

Material de filtro (areia material do rio)

Enrocamento a jusante (se especificado pelo supervisor)

Elevação do solo limpo

Dreno a jusante (se necessário)

Declive a determinar no local

Nível máximo de água armazenada

Folga/ Borda livre

Detalhe da reparação de uma fenda

Altura do coroamento/crista/soleira

Enchimento de terra homogénio

Material existente compactado na superfície

Aterro actual

Declive a determinar no local

Trincheira transversal

Detalhe da reparação de uma fenda – planta da fenda

Aterro actual

Fenda

Montante

Trincheira transversal

PORTUGUÊS

PLANTA PADRÃO 4

Corte típico ao longo do tubo de descarga

Entrada do tubo de descarga

Caixa de betão pré-fabricada padrão

Canal trapezoidal

Desenho da construção

Todo o reforço neste desenho é detalhado em se conformidade com a BSCP (1972) como segue:

Sistema de nomenclatura de barreiras

Número no grupo

Diâmetro

Spacing	Espaçamento
Material type	Tipo de Material
Mark number	Número da Marca
Position	Posição
(3) Cover to reinforcement to be 40mm unless stated otherwise	Cobertura do reforço de 40 mm a menos que descrito de outra forma
(4) Bending in accordance with BS 4466	Flexão de acordo com BS 4466
(5) Material type	Tipo de material
Reinforcing steel should be in accordance with requirements of BS 4461. This material type is shown on the drawings as follows:	Reforço do aço deve ser em conformidade com os requisitos da BS 4461. Este tipo material é mostrado nos desenhos como se segue:
Mild steel bars grade	Classe das barras de aço carbono
Type 2 deformed bars grade	Classe Tipo 2 de barras de aço
Type 1 square twisted cold worked bars grade	Classe Tipo 1 de barras de aço trocidas a frio
(6) In the event of non-availability of bar sizes shown, the steel area, lap and anchorage lengths at any cross section may be amended subject to the approval of the engineer	No caso de não disponibilidade de barras do tamanho indicado, a área de aço e comprimentos de assentamento e ancoragem de qualquer secção transversal podem ser alterados mediante a aprovação do engenheiro
(7) General abbreviations	Abreviaturas gerais
Near face	Face próxima
Far face	Face distante
Each face	Cada face
Bottom	Fundo
Top	Topo
Alternate bars reversed	Barras revertidas substitutas
Alternate	Substituto
Each way	Cada sentido
Staggered	Escalonados
(8) Dimensions in millimetres	Dimensões em milímetros
(9) Elevation in metres above arbitrary datum	Elevação em metros acima do datum arbitrário
(10) Do not scale – use figured dimensions	Não à escala – considerar dimensões indicadas na figura
(11) Gabion baskets to be constructed in accordance with technical specification	Gabiões a ser construídos de acordo com especificações

Section A-A

Block work	Pre-fabricado
Galvanized Tube	Tubo galvanizado
Concrete	Betão
Filter	filtro

Section C-C

Trench	Trincheira
Galvanized steel pipe	Tubo de aço galvanizado
Stripped ground level	Elevação do solo limpo
Cast against undisturbed ground	Molde em solo não movimentado
Mesh	Rede
Plastic pipe	Tubo de plástico
Concrete	Betão

Section D-D

Concrete	Betão
Mesh	Rede

Secção A-A

Pre-fabricado
Tubo galvanizado
Betão
filtro

Secção C-C

Trincheira
Tubo de aço galvanizado
Elevação do solo limpo
Molde em solo não movimentado
Rede
Tubo de plástico
Betão

Secção D-D

Betão
Rede

ENGLISH**DAM DRAWING 5****Section A-A**

Spillway	
Training wall	
Embankment	
Crest	
Varies	
Natural ground level	

Typical spillway arrangement - Plan

Angle varies to suit topography	
Training wall	
Gabion wall	
Concrete Sill	
Erodible ground	
Radius	
Width	

Section B-B - Gabion wall

Natural ground level	
Gabion basket filled with selected handpicked stones	
Nominal size	
Spillway surface	
Geotextile	
Mesh	
Cast against undisturbed ground	
Concrete	
Topsoil	
Concrete sill	

Section C-C

Natural ground level	
Varies	
Gabion mattress	
Spillway surface	

Construction drawing

- (1) All reinforcement in this drawing is detailed in accordance with BSCP (1972) as follows:
- (2) Bar calling up system
- | | |
|---------------------|--|
| No. in group | |
| Diameter | |
| Spacing | |
| Material type | |
| Mark number | |
| Position | |
- (3) Cover to reinforcement to be 40mm unless stated otherwise
- (4) Bending in accordance with BS 4466
- (5) Material type

PORTUGUÊS**PLANTA PADRÃO 5****Secção A-A**

Descarregador
Muro-guia
Aterro
Coroamento/crista/soleira
Varia
Elevação natural do solo

Planta – Descarregador típico

Ângulo varia conforme a topografia
Muro-guia
Parede do gabião
Soleira em betão
Solo erodível/erosioável
Raio
Largura

Secção B-B - Parede do gabião

Elevação natural do solo
Gabião cheio com cascalho seleccionado manualmente
Dimensão nominal
Superfície do descarregador
Geotêxtil
Rede
Molde em solo não movimentado
Betão
Solo superficial
Soleira em betão

Secção C-C

Elevação natural do solo
Varia
Gabião
Superfície do descarregador

Desenhos de construções

- Todo o reforço neste desenho é detalhado em conformidade com a BSCP (1972) como se segue:
- Sistema de nomenclatura de barreiras
- | |
|------------------|
| Número no grupo |
| Diâmetro |
| Espaçamento |
| Tipo de Material |
| Número da Marca |
| Posição |
- Cobertura do reforço de 40 mm a menos que descrito de outra forma
- Flexão de acordo com BS 4466
- Tipo de material

Reinforcing steel should be in accordance with requirements of BS 4461. This material type is shown on the drawings as follows

Mild steel bars grade

Type 2 deformed bars grade

Type 1 square twisted cold worked bars grade

(6) In the event of non-availability of bar sizes shown, the steel area, lap and anchorage lengths at any cross section may be amended subject to the approval of the engineer

(7) General abbreviations

Near face

Far face

Each face

Bottom

Top

Alternate bars reversed

Alternate

Each way

Staggered

(8) Dimensions in millimetres

(9) Elevation in metres above arbitrary datum

(10) Do not scale – use figured dimensions

(11) Gabion baskets to be constructed in accordance with technical specification

Reforço do aço deve ser em conformidade com os requisitos da BS 4461. Este tipo material é mostrado nos desenhos como se segue:

Classe das barras de aço carbono

Classe Tipo 2 de barras de aço

Classe Tipo 1 de barras de aço trocadas a frio

No caso de não disponibilidade de barras do tamanho indicado, a área de aço e comprimentos de assentamentos de assentamento e ancoragem de qualquer secção transversal podem ser alterados mediante a aprovação do engenheiro

Abreviaturas gerais

Face próxima

Face distante

Cada face

Fundo

Topo

Barras revertidas substitutas

Substituto

Cada sentido

Escalonados

Dimensões em milímetros

Elevação em metros acima do datum arbitrário

Não à escala – considerar dimensões indicadas na figura

Gabiões a ser construídos de acordo com especificações

ENGLISH

DAM DRAWING 6

Spillway erosion control

Gabion structure plan

Gabion drop structure

Natural ground level

Natural gully sides

Trimmed or stepped to suit

Geotextile

Gabion structure plan

With of spillway

Top edge of natural gully

Existing gully

Section A-A

With of spillway

Gabion

Geotextile

Natural Gully

Trimmed or stepped

PORTUGUÊS

PLANTA PADRÃO 6

Controlo de erosão do descarregador

Planta de estrutura do gabião

Estrutura de queda do gabião

Elevação natural do solo

Bordas naturais do talude

Aplanado ou em degraus conforme necessário

Geotêxtil

Planta da estrutura do gabião

Largura do descarregador

Topo do talude natural

Talude actual

Secção A-A

Largura do descarregador

Gabião

Geotêxtil

Talude natural

Ajustado ou em degraus

Section B-B

With of spillway
Gabion
Geotextile
Natural gulley
Trimmed or stepped
Natural ground level

Section D-D

Gabion
Geotextile
Natural gulley
Trimmed or stepped
Natural ground level

Secção B-B

Largura do descarregador
Gabião
Geotêxtil
Talude natural
Ajustado ou em degraus
Elevação natural do solo

Secção D-D

Gabião
Geotêxtil
Talude natural
Ajustado ou em degraus
Elevação natural do solo

PUBLICAÇÕES TÉCNICAS DA FAO

PUBLICAÇÕES DA FAO SOBRE REGA E DRENAGEM

1	Irrigation practice and water management, 1972 (Ar* E* F* S*)	39	Lysimeters, 1982 (C E* F* S*)
1 Rev.1	Irrigation practice and water management, 1984 (I)	40	Organization, operation and maintenance of irrigation schemes, 1982 (C E* F S*)
2	Irrigation canal lining, 1971 (New edition, 1977, available in E, F and S in the FAO Land and Water Development Series, No. 1)	41	Environmental management for vector control in rice fields, 1984 (E* F* S*)
3	Design criteria for basin irrigation systems, 1971 (I*)	42	Consultation on irrigation in Africa, 1987 (F I)
4	Village irrigation programmes - a new approach in water economy, 1971 (F I*)	43	Water lifting devices, 1986 (F I)
5	Automated irrigation, 1971 (E* F* S*)	44	Design and optimization of irrigation distribution networks, 1988 (F I)
6	Drainage of heavy soils, 1971 (E* F* S*)	45	Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems, 1989 (I)
7	Salinity seminar, Baghdad, 1971 (F I*)	46	CROPWAT – a computer program for irrigation planning and management, 1992 (E F* S*)
8	Water and the environment, 1971 (E* F* S*)	47	Wastewater treatment and use in agriculture, 1992 (I)
9	Drainage materials, 1972 (E* F* S*)	48	The use of saline waters for crop production, 1993 (I)
10	Integrated farm water management, 1971 (E* F* S*)	49	CLIMWAT for CROPWAT, 1993 (I)
11	Planning methodology seminar, Bucharest, 1972 (E* F*)	50	Le pompage éolien, 1994 (F)
12	Farm water management seminar, Manila, 1972 (I*)	51	Prospects for the drainage of clay soils, 1995 (I)
13	Water use seminar, Damascus, 1972 (F* I*)	52	Reforming water resources policy, 1995 (I)
14	Trickle irrigation, 1973 (E* F* S*)	53	Environmental impact assessment of irrigation and drainage projects, 1995 (I)
15	Drainage machinery, 1973 (F* I*)	54	Crues et apports, 1996 (F)
16	Drainage of salty soils, 1973 (C* E* F* S*)	55	Control of water pollution from agriculture, 1996 (E* S)
17	Man's influence on the hydrological cycle, 1973 (E* F* S*)	56	Crop evapotranspiration, 2006 (E S)
18	Groundwater seminar, Granada, 1973 (E* F S*)	57	Soil salinity assessment, 1999 (I)
19	Mathematical models in hydrology, 1973 (I)	58	Transfer of irrigation management services: guidelines, 1999 (E F R S)
20/1	Water laws in Moslem countries - Vol. 1, 1973 (F* I*)	59	Performance analysis of on-demand pressurized irrigation systems, 2000 (I)
20/2	Water laws in Moslem countries - Vol. 2, 1978 (F I)	60 Rev.1	Materials for subsurface land drainage systems, 2005 (E)
21	Groundwater models, 1973 (I)	61	Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, 2002 (I)
22	Water for agriculture - index, 1973 (E/F/S*)	62	Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems, 2007 (I)
23	Simulation methods in water development, 1974 (E* F* S*)	63	Modernizing Irrigation Management – the MASSCOTE approach. Mapping System and Services for Canal Operation Techniques, 2007 (I)
24	Crop water requirements, (rev.) 1977 (C* E F S)	64	Manual on small earth dams. A guide to siting, design and construction, 2010 (E P)
25	Effective rainfall, 1974 (C* E* F* S*)		
26/1	Small hydraulic structures – Vol. 1, 1975 (E* F* S*)		
26/2	Small hydraulic structures – Vol. 2, 1975 (E* F* S*)		
27	Agro-meteorological field stations, 1976 (E* F* S*)		
28	Drainage testing, 1976 (E* F* S*)		
29	Water quality for agriculture, 1976 (E* F* S*)		
29 Rev.1	Water quality for agriculture, 1985 (C** E* F* S*)		
30	Self help wells, 1977 (I)*		
31	Groundwater pollution, 1979 (C* E* S)		
32	Deterministic models in hydrology, 1979 (I)*	Ar	– Arabe
33	Yield response to water, 1979 (C* E F S)	Multil	– Multilingual
34	Corrosion and encrustation in water wells, 1980 (I)	C	– Chinês
35	Mechanized sprinkler irrigation, 1982 (C E* F S*)	E	– Inglês
36	Localized irrigation, 1980 (Ar C E* F S*)	F	– Francês
37	Arid zone hydrology, 1981 (C I)	P	– Português
38	Drainage design factors, 1980 (Ar C E F S)	R	– Russo
		S	– Espanhol
			** Em preparação

Manual sobre pequenas barragens de terra

Guia para a localização, projecto e construção

Esta publicação tem como objectivo preencher uma lacuna de directrizes práticas para a construção de pequenas barragens de terra. Apresenta aos leitores um material de consulta, seguro e prático, para melhorar capacidades em localização e projecção de barragens em áreas rurais, para introduzir uma abordagem sensível às questões de género e dos beneficiários em geral e para reforçar a segurança e competência na construção. Uma das secções proporciona um guia sobre custos, preparação de concursos públicos e adjudicação de contratos.

Este manual é principalmente dirigido a técnicos e outros com conhecimentos de engenharia e sistemas de irrigação básicos e processos para aplicação dos conceitos, técnicas e métodos propostos, usando procedimentos de projecto e de construção simples e fáceis.

ISBN 978-92-5-906547-3 ISSN 0254-5284



9 789259 065473

I1531P/1/08.11