

Medidas de adaptação, de correcção e de reabilitação das barragens existentes em decurso da entrada em vigor do futuro Regulamento de Segurança de Barragens de Moçambique (RSBM)



José Mora Ramos

Razão desta apresentação



Os Serviços de Consultoria para elaboração do *Regulamento de Segurança de Barragens de Moçambique (RSBM)* foram adjudicados à empresa EGC – Engenharia, Gestão e Consultoria, Lda, que para os trabalhos constituiu uma equipa de especialistas, em que me integro.

Estes trabalhos encontram-se em fase muito adiantada, pelo que é oportuna **a análise do tipo de adaptações e de eventuais obras de correcção ou de reabilitação** a que as obras existentes terão que ser sujeitas.

Abordaremos o tema de forma obviamente muito sumária, apresentando, numa visão pessoal, algumas ideias enquadrantes, exemplos relativos a obras moçambicanas e, pelo paralelismo das situações, a obras portuguesas, neste caso decorrentes da entrada em vigor do regulamento português.

As medidas de adaptação e de correcção ou reabilitação decorrentes da entrada em vigor do futuro RSBM são de vária índole, designadamente:

- medidas que podemos designar como de carácter técnico-administrativo;
- medidas que podemos classificar como preventivas entre as quais a elaboração do plano de segurança;
- medidas de verificação da conformidade apoiadas em:
 - inspecções regulamentares de segurança;
 - relatórios de comportamento;
- obras de beneficiação, de correcção e de reabilitação.

A proposta de RSBM prevê, nas suas disposições transitórias, que estas medidas sejam implementadas de forma faseada e ao longo de um período extenso.

Sequência da comunicação

1		Enquadramento
	1.1	Âmbito de aplicação do RSBM
	1.2	Parâmetros de segurança - períodos de retorno do sismo máximo de projecto e da cheia de dimensionamento. Folga mínima
	1.3	Universo das barragens moçambicanas do âmbito do futuro RSBM (fonte – base de dados, quadro indicativo)
	1.4	Caracterização geral das barragens
2.		Medidas de carácter técnico-administrativo
3.		Medidas preventivas: controlo da segurança - implementação do plano de segurança
	3.1	Plano de observação - Sistemas de observação
4.		Verificação da conformidade: inspecções de segurança e relatórios de comportamento e de referência
5.		Verificação da conformidade dos órgãos de segurança
6.		Verificação da conformidade dos critérios de segurança estrutural

1.1 Âmbito de aplicação

O RSBM aplica-se a:

Grandes barragens, ou seja:

- Barragens de altura igual ou superior a 15 m;
- Barragens de altura igual ou superior a 10 m e albufeira de capacidade superior a 1 hm³;
- Barragens com caudal de dimensionamento dos órgãos de descarga superior a 2000 m³/s.

☐ Restantes barragens classificadas como sendo de dano potencial médio ou alto.

Classificação

No futuro RSBM as obras classificam-se nas classes de risco I, II, e III, em função do seu índice de vulnerabilidade e dos danos potenciais a elas associados:

- Em termos de vulnerabilidade têm-se em conta as características técnicas da barragem, o seu estado de conservação e a implementação de medidas de controlo de segurança, considerando-se três categorias:

Baixa vulnerabilidade ;

Média vulnerabilidade;

Alta vulnerabilidade.

- Em termos de dano potencial têm-se em conta as perdas de vidas humanas, os danos no património natural e construído e as perdas socioeconómicas, associadas à onda de inundação devida a uma eventual rotura, sendo consideradas três categorias:

Baixo dano potencial;

Médio dano potencial;

Alto dano potencial.

Do cruzamento das classificações relativas à vulnerabilidade e ao dano potencial resultam as seguintes

Classes de risco:

Vulnerabilidade	Dano potencial		
	Alto	Médio	Baixo
Alta	Classe I	Classe I	Classe III
Média	Classe I	Classe II	Classe III
Baixa	Classe I	Classe III	Classe III

1.2 Parametros de segurança: períodos de retorno do sismo máximo de projecto e da cheia de dimensionamento. Folga mínima

O futuro RSBM define os períodos de retorno mínimos do sismo máximo de projecto e da cheia de dimensionamento bem como a folga mínima, elementos necessários para a verificação da conformidade das estruturas e dos seus órgãos de segurança e de exploração.

Índices de risco sísmico parciais

$$\text{Índice de risco sísmico IR} = i_1 + i_2 + i_3$$

Capacidade da albufeira		Altura da barragem		Danos potenciais	
V (hm ³)	Índice parcial (i ₁)	h (m)	Índice parcial (i ₂)	Número de habitações em risco (N)	Índice parcial (i ₃)
120 ≤ V	6	h ≥ 50	6	400 ≤ N	32
1 ≤ V < 120	4	50 > h ≥ 30	4	10 ≤ N < 400	28
0,1 ≤ V < 1	2	30 > h ≥ 15	2	1 ≤ N < 10	16
V < 0,1	0	h < 15	0	N = 0	12
				N = 0	4

Períodos de retorno mínimos do sismo máximo de projecto

Índice de risco sísmico (IR)	Período mínimo de retorno (anos)
4 a 10	1 000
12 a 20	2 500
22 a 30	5 000
32 a 44	10 000/SME

Períodos de retorno mínimos (anos) da cheia de dimensionamento
h – altura da barragem

Betão	Aterro	Dano potencial alto e médio	Dano potencial baixo
$h > 100$	$h \geq 50$	5 000	2000
$100 > h \geq 50$	$50 > h \geq 15$	2 000	1000
$50 > h \geq 15$	$15 > h$	1 000	500
$15 > h$	–	500	200

Folga mínima (m) em relação ao NMC

Tipo de barragem	Altura H (m)	Folga H (m)
Aterro	$H \geq 100$	2,00
	$30 \leq H < 100$	1,50
	$H < 30$	1,00
Betão	-	1,00

1.3 Universo das barragens moçambicanas do âmbito do RSBM (fonte – base de dados, quadro indicativo, em preparação)

Barragem	Local	Província	Distrito	Curso de água	Bacia	Dono de obra
Cahora-Bassa	Songo	Tete	Cahora-Bassa		Zambeze	HCB
Chicamba	Chicamba	Manica	Manica		Búzi	EDM
Chimezi		Manica	N/A		N/A	Ara Centro
Chimoio		Manica	N/A		N/A	Ara Centro
Chipembe		Cabo Delgado	N/A		N/A	Ara Norte
Corumana	Sabié (16km)	Maputo	Moamba		Incomáti	Ara Sul
Cuamba	Serra Mitucué	Niassa	Cuamba		Lúrio	EDM
Locumué		N/A	N/A		N/A	Ara Norte
Macarretane	Macarretane	Gaza	Guijá		Limpopo	Ara Sul
Malema		N/A	N/A		N/A	Ara Centro Norte
Massingir	Massingir	Gaza	Chókwè		Limpopo	Ara Sul
Mavúzi	Mavúzi	Manica	Sussundenga		Búzi	EDM
Kenmare (Moma)	Topuito	Nampula	Moma		N/A	Kenmare
Montepuez		Cabo Delgado	Montepuez		N/A	Ara Norte
Muda		N/A	N/A		N/A	Ara Centro
Nacala	Muecula	Nampula	Nacala-a-Velha		Monapo	Ara Centro Norte
Nampula	Nampula (15 km)	Nampula	Nampula		Monapo	Ara Centro Norte
Peq. Libombos	Maputo (35 km)	Maputo	Boane		Umbelúzi	Ara Sul
Sussundenga		Manica	N/A		N/A	Ara Centro
Lichinga	Chiulugo	Niassa	Lichinga		Rovuma	EDM
Messica		Nampula	N/A		Monapo	Matanuska
Namotória	Namitória	Nampula	Angoche	Nalulo	Melúli	N/A
Carapira	Carapira	Nampula		Monapo		

2. Medidas de carácter técnico-administrativo

Barragem da Chicamba Real – presumível situação actual					
Director de exploração	Arquivo técnico	Livro técnico	Base de dados	Arquivo informático dos dados de observação	Transmissão de dados
Designado	Constituído	Solici-tado	Campos preen-chidos	Constituído	Em transmissão
Designação proposta	Parcial-mente consti-tuído	Não solici-tado	Campos parcialmente preenchidos		Sem transmissão
Designação aceite	Não consti-tuído				
Não designado					

3. Medidas preventivas: Controlo da segurança – implementação do plano de segurança

Barragem da Chicamba Real – presumível situação actual

Plano de observação	Regras de exploração	Plano de emergência interno	Plano de segurança ambiental	Plano de emergência externo
Exigível e implementado	Exigíveis e implementadas	Exigível e implementado	Exigível e implementado	Exigível e implementado
Exigível e não elaborado	Exigíveis e não implementadas	Exigível e não implementado	Exigível e não implementado	Exigível e não implementado
Não exigível	Não exigíveis	Não exigível	Não exigível	Não exigível

3.1 Plano de observação - Constituição dos sistemas de observação

Grandezas a observar em barragens de aterro

Altura da barragem (m)	Classe de dano potencial	Deslocamentos		Tensões totais	Caudais infiltrados	Pressões intersticiais na água		Nível da água na albufeira	Precipitação atmosférica	Sismologia
		Superficiais	Internos			Piezómetros	Piezómetros sem fluxo			
h < 15	Alto	X ^(a)	—	—	X	X	—	X	X	—
	Médio ou baixo				Caudal total	—			—	
15 ≤ h < 30	Alto	X	X	—	X	X	X ^(b)	X	X	—
	Médio ou baixo	X ^(a)	—		Caudal total				—	
30 ≤ h < 50	Alto	X	X	(X)	X	X	X ^(b)	X	X	X
	Médio ou baixo		(X)		Caudais parciais				X	(X ^(b))
50 ≤ h < 100	Alto, médio ou baixo	X	X	X	X	X	X ^(b)	X	X	X
100 ≤ h	Alto, médio ou baixo	X	X	X	X	X	X ^(b)	X	X	X

(X) - Dispositivo opcional

(a) - Nivelamento

(b) - Em barragens com núcleos ou fundações argilosas

3.1 Plano de observação - Constituição dos sistemas de observação

Grandezas a observar em barragens de betão e alvenaria

Altura (em m)	Classe de dano potencial	Acções		Caudais drenados e infiltrados		Subpressões	Deslocamentos			Movimentos de juntas	Betão		Acções e respostas sísmicas
		Níveis da água (1)	Temperatura do ar	Totais	Parciais		Horizontais	Verticais do coroamento	Inserção		Temperaturas	Extensões ou tensões	
15>h	Médio e baixo	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Alto	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
15<h<30	Médio e baixo	X	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-
	Alto	X (2)	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-
30<h<50		X (2)	X	X	X	X	X	X	X	X (4)	X	-	-
50<h<100		X (2)	X	X	X	X	X (3)	X (3)	X	X (4)	X	X	X
h>100		X (2)	X	X	X	X	X (3)	X (3)	X	X (4)	X	X	X

(1) Na albufeira e a jusante, quando este puder variar significativamente

(2) Medição do nível a montante a realizar com redundância, usando métodos/equipamentos distintos

(3) Medições a realizar com redundância, usando métodos/equipamentos distintos

(4) No interior e à superfície

Chicamba – Sistema de observação completo e operacional

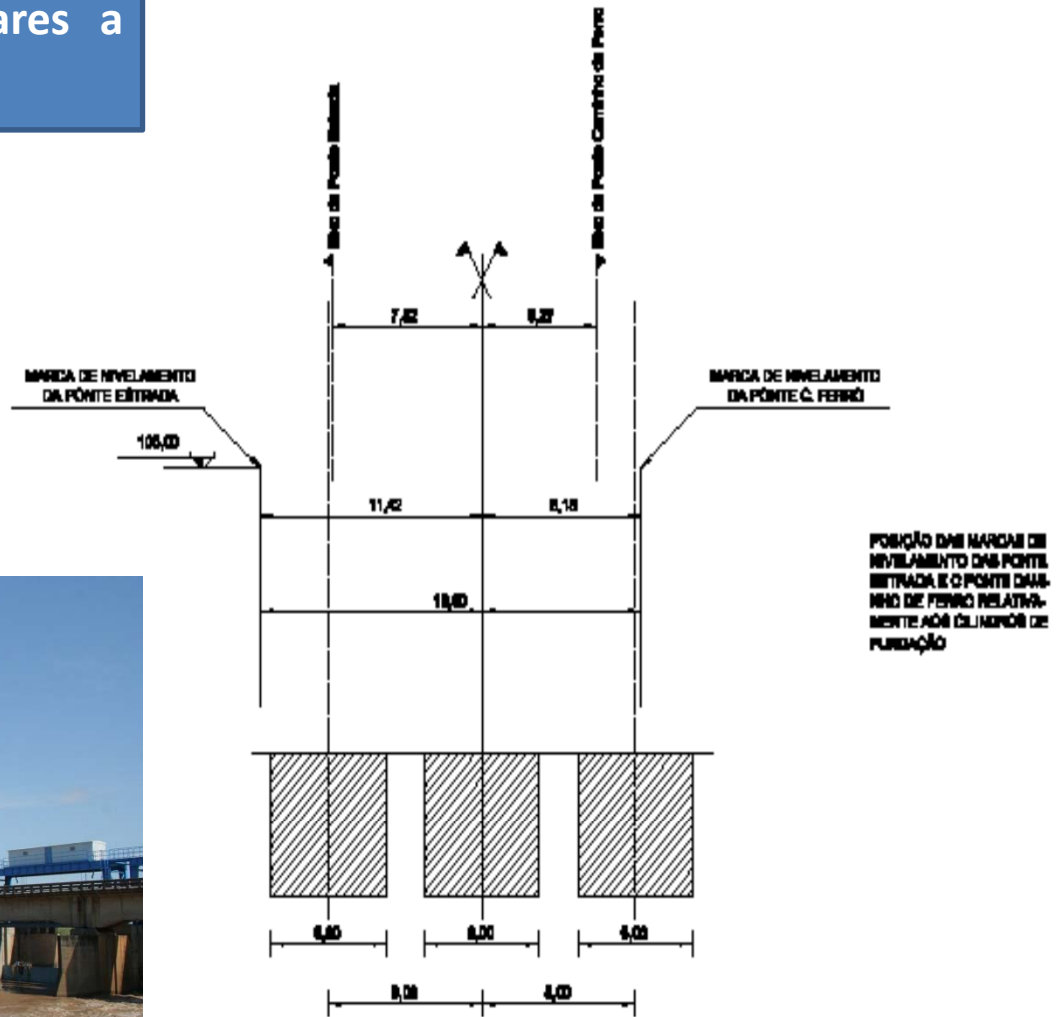


Pequenos Libombos – descarregador

- Instalação de um fio de prumo
- Medição autónoma das subpressões



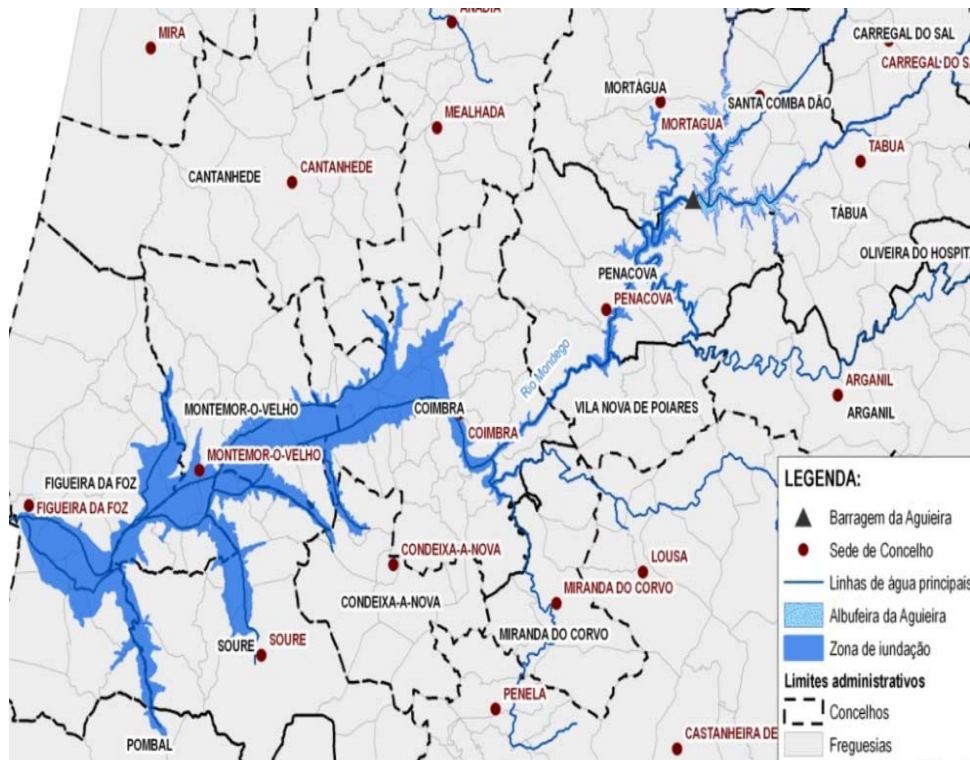
Macarretane – Nivelamentos de precisão na cabeça dos pilares a montante e a jusante



Cahora Bassa – Sistema de observação completo e operacional



Barragem da Aguieira - Plano de emergência interno

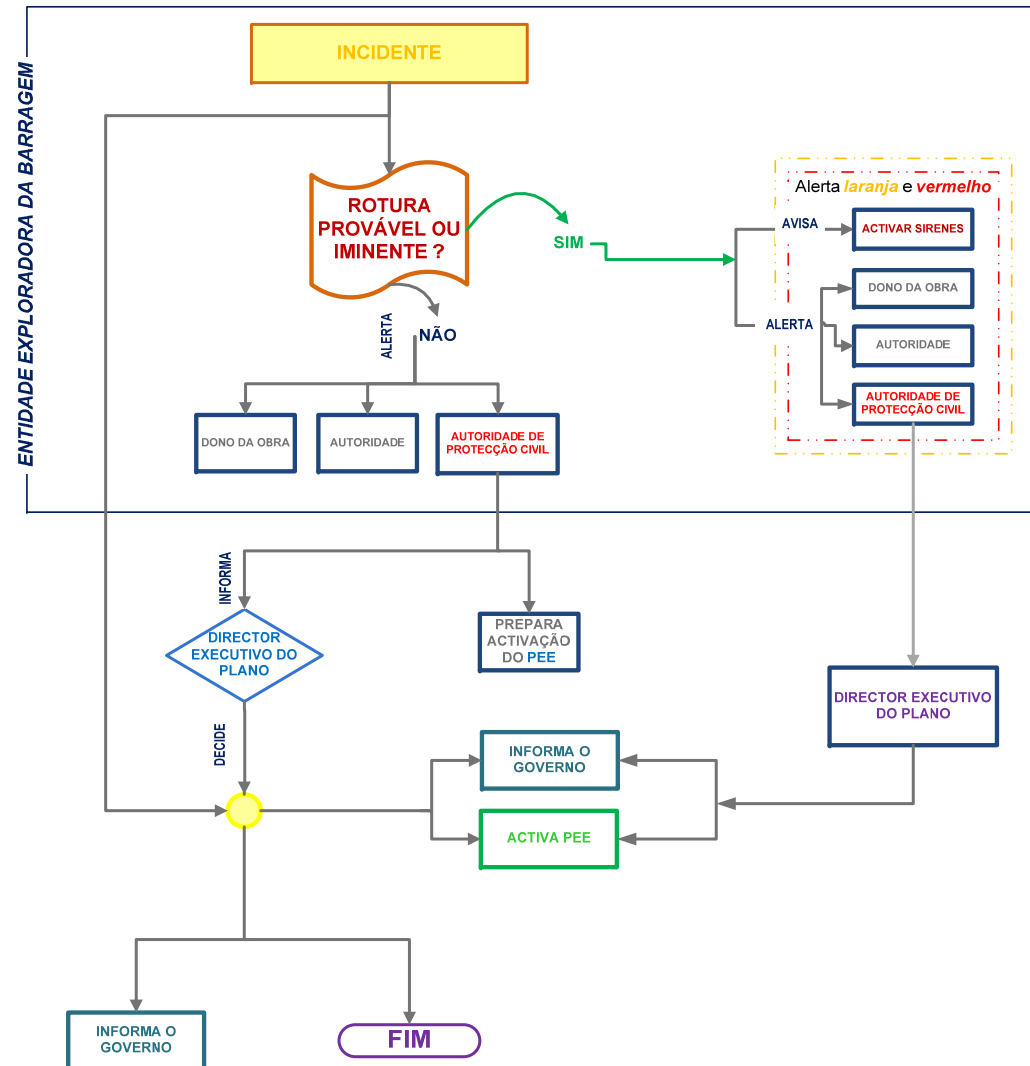


BARRAGEM DA AGUIEIRA PLANO DE EMERGÊNCIA INTERNO

PAÍS: PORTUGAL	LOCAL DO PAÍS: Região Centro
NOME DA ENTIDADE CONTRATANTE: EDP – Energias de Portugal, SA	ENDEREÇO: Praça Marquês de Pombal nº 12, 1250-162 Lisboa
DATA DE INÍCIO (Mês/ano): Fevereiro 2012	DATA DE CONCLUSÃO (Mês/ano): Outubro 2013
NOME DO RESPONSÁVEL (Director do projeto/Coordenador, Líder da Equipa) e funções desempenhadas: Francisco Carvalho – Coordenação Geral do Estudo	
Equipa de profissionais fornecida pela empresa (perfil): Engenheiros Civis, Engenheiros do Ambiente, Geógrafos e Topógrafos	
<p>A barragem da Aguieira, com 89 m de altura, situa-se no rio Mondego. O reservatório tem uma capacidade de 423 x 10⁶ m³ e ocupa ao NPA uma área de 2000 ha.</p> <p>O estudo de ruptura da barragem considera a caracterização do vale de jusante e da zona envolvente.</p>	
<ul style="list-style-type: none">• Diagnóstico socioeconómico da população e sua estimativa na zona afectada pela eventual ruptura da barragem.• Diagnóstico dos usos e ocupação do solo na zona de estudo.• Realização de levantamentos de campo, com vista à caracterização pormenorizada das povoações, património e infra-estruturas existentes na zona dos vales a jusante das barragens e na envolvente das albufeiras (faixa de 100 m).• Elaboração de análises prognósticas e de cenários prospectivos.• Elaboração de um sistema de informação geográfica para aplicação do Plano de Emergência Interno.• Produção de cartografia. <ul style="list-style-type: none">• Estabelecimento do plano de acção em caso de acidente	

BARRAGEM DE FRONHAS

Plano de emergência interno



4. Verificação da conformidade - Inspeções de segurança e elaboração de relatórios de comportamento e de referência

Periodicidade das inspeções de segurança e dos relatórios

Características e classe	Inspeções de rotina	Inspeções principais	Relatórios de comportamento	Relatórios de referência	Relatórios de segurança ambiental
Classe I	Bimestrais	Anuais	Anuais	Quinquenais	Bienais
Classe II	Semestrais	Bienais	Bienais	Quinquenais	Quinquenais
Classe III	Anuais	Quinquenais	Quinquenais	-	-

5. Verificação da conformidade dos órgãos de segurança

Barragem	Cheia regulamentar de dimensionamento	Capacidade de descarga, características e estado de manutenção dos órgãos de segurança e exploração			Situação	Medidas exigíveis
		Descarregador	Descarga de fundo	Tomada de água		
Chicamba		Conforme	Conforme	Conforme		
Nampula			Exigível			
Locumué			Não existente		Degradado	Reabilitação

Barragem de Nampula descarga de fundo



**Crítérios de projecto –
Dimensionar os órgãos de
segurança e exploração,
incluindo descarregadores
de cheias, descargas de
fundo, central e circuitos
hidráulicos, por forma que:**

As descargas de fundo permitam o esvaziamento da albufeira e sejam equipadas com duas comportas, uma funcionando como segurança, a outra destinada ao serviço normal da exploração, exceptuando-se, quando devidamente justificado, as barragens incluídas nas classes II e III.

Barragem de Locumué

Informações cedidas por Eng^o
Batista - LNEC



Vista da albufeira, a meio do coroamento



Vista do talude de jusante

Coroamento com cerca de 900 m

No ano hidrológico de 2012-2013 ocorreu, do lado da MD, a cerca de ¼ do desenvolvimento, um escorregamento de terras para jusante

Barragem de Locumué

Informações cedidas por Eng^o
Batista - LNEC



Após o acidente foi aberta uma vala, como “descarregador” auxiliar, do lado da MD (o canal de descarga está na encosta da ME)



Recolocação de aterro no talude de jusante, no 2º semestre de 2013

**BARRAGEM DE SALAMONDE
DESCARREGADOR DE CHEIAS COMPLEMENTAR**



BARRAGEM DE SALAMONDE DESCARREGADOR DE CHEIAS COMPLEMENTAR

PAÍS: PORTUGAL	LOCAL DO PAÍS: Concelho de Vieira do Minho
NOME DA ENTIDADE CONTRATANTE: EDP – Energias de Portugal	ENDEREÇO: Praça Marquês de Pombal nº 12, 1250-162 Lisboa
DATA DE INÍCIO (Mês/ano): Julho de 2010	DATA DE CONCLUSÃO (Mês/ano): Setembro de 2014
NOME DO RESPONSÁVEL (director do projecto/Coordenador, Líder da Equipa) e funções desempenhadas: Sérgio Costa – Coordenação Geral do Estudo	

Descrição do Projecto:

A barragem de Salamonde foi construída em 1953 no rio Cávado e possui uma altura de 75 m.

Pretende-se, com a construção do descarregador de cheias complementar, adaptar a barragem existente aos mais recentes regulamentos de segurança de barragens.

O descarregador de cheias complementar é constituído por uma solução em túnel escavado na margem direita do rio Cávado, e possui uma capacidade máxima de vazão de 1 250 m³/s.

As obras do descarregador compreendem:

- uma soleira WES equipada com duas comportas de superfície, a montante da zona do encontro da barragem;
- um túnel de geometria variável (secção mais frequente em ferradura com diâmetro do círculo base de cerca de 10 m), localizado sob o encontro esquerdo da barragem, com cerca de 120 m de extensão;
- uma estrutura terminal em trampolim.

Foi executado um programa de simulação de curvas de regolfo em secção fechada e aplicado o modelo HEC-RAS para simulação de curvas de regolfo no leito do rio.

BARRAGEM DE SALAMONDE DESCARREGADOR DE CHEIAS COMPLEMENTAR



6. Verificação da conformidade dos critérios de segurança estrutural

VERIFICAÇÕES DE SEGURANÇA E NORMAS DE PROJECTO

As verificações de segurança estrutural para as diferentes situações de projecto deverão ser realizadas mediante a utilização do conceito dos estados limite e o recurso a coeficientes parciais

Até à aprovação das normas de projeto será adoptada regulamentação ou normas definidas pela Autoridade Nacional

Barragem de Nampula - Elementos de um relatório elaborado pelo LNEC em 2006

Valores mínimos dos ângulos de atrito nas descontinuidades da vizinhança da interface betão-rocha que garantem a segurança ao deslizamento

		Valores mínimos		
		Situação	Valor de pico do ângulo de atrito interno	Valor residual do ângulo de atrito interno
Cenários correntes (coesão de 0,2 MPa)	Acções estáticas (NPA)	(a)	26°	-
		(b)	22°	-
	Comb. sísmica (NPA e SBP)	(a)	28°	-
		(b)	24°	-
Cenários correntes (sem coesão)	Acções estáticas (NPA)	(a)	46°	-
		(b)	41°	-
	Comb. sísmica (NPA e SBP)	(a)	48°	-
		(b)		-
Cenários de rotura	Acções estáticas (NMC)	(a)	-	53°
		(b)	-	46°
	Comb. sísmica (NPA e SMP)	(a)	-	44°
		(b)	-	39°

(a) Sistemas de impermeabilização e de drenagem inoperacionais

(b) Sistemas de impermeabilização e de drenagem eficazes