

10º Encontro Técnico-Científico dos Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP

Construir infraestruturas resilientes e reduzir
a vulnerabilidade face às alterações climáticas

TEMA 3 BARRAGENS E RECURSOS HÍDRICOS

António Bento Franco

Vogal do Conselho Diretivo do LNEC



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

17 e 18 de Junho de 2019
MOÇAMBIQUE • MAPUTO

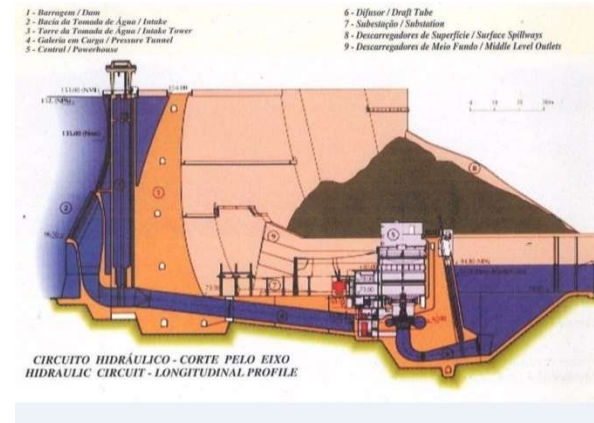
Apoio



CPLP
Comunidade dos Países
de Língua Portuguesa

Índice

- 1- Introdução
- 2- Tipos de Barragens
- 3- Órgãos hidráulicos das barragens
- 4- Níveis e Curvas características das albufeiras
- 5- Gestão de Cheias e secas
- 6- Segurança hidráulico- operacional e do vale a jusante



Barragens

- Abastecimento de Água
- Rega
- Produção de Energia Hidroelétrica
- Turismo e recreio
- Reserva Estratégica de Água
- Combate à desertificação e às alterações climáticas
- Dinamização económica regional
- Defesa do ambiente e património

Introdução

REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MOÇAMBIQUE

Aplicado a:

a) Grandes barragens, ou seja:

- i. Barragens de altura igual ou superior a 15 m, medida desde a cota mais baixa da superfície geral das fundações até à cota do coroamento;
- ii. Barragens de altura igual ou superior a 10 m e albufeira de capacidade superior a 1 hm³;
- iii. Barragens com caudal de dimensionamento dos órgãos de descarga superior a 2000 m³/s;

b) Restantes barragens de dano potencial médio ou alto.

Introdução

REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MOÇAMBIQUE

- **CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS**

1 - No presente regulamento as barragens classificam-se nas **classes de risco I, II, e III**, em função do seu **índice de vulnerabilidade** e dos **danos potenciais** a elas associados.

2 - Em termos de **vulnerabilidade** devem ter-se em conta as características técnicas da barragem, o seu estado de conservação e a implementação de medidas de controlo de segurança, a que estarão associados índices de vulnerabilidade parciais.

...

7 - A classificação em termos de **dano potencial** deve ter em conta as perdas de vidas humanas, os danos no património natural e construído e as perdas socioeconómicas, associadas à onda de inundação correspondente ao cenário de acidente mais desfavorável.

Introdução

REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE MOÇAMBIQUE

PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

O plano de segurança da barragem, documento integrante do projecto, é constituído por quatro documentos independentes e complementares:

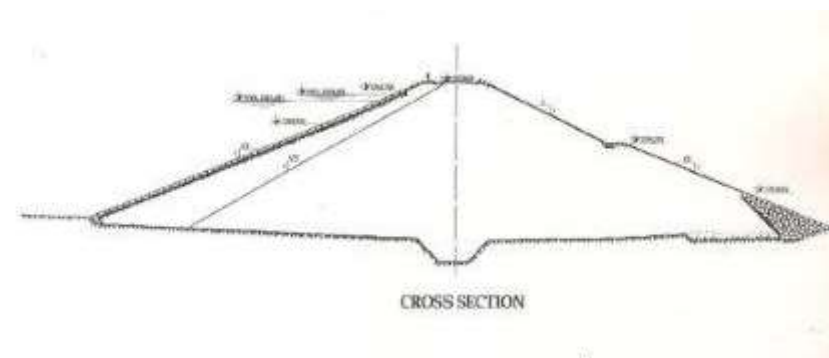
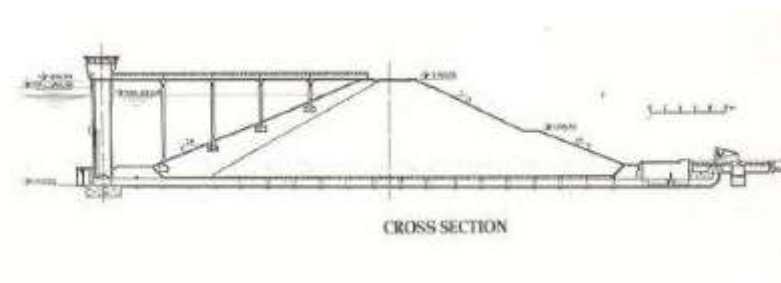
- a) O plano de observação, relativo à segurança estrutural;
- b) As regras de exploração, relativas à segurança hidráulico-operacional;
- c) O plano de emergência interno;
- d) O plano de segurança ambiental.

Tipos de Barragens

- Barragens de Aterro
 - Terra
 - Homogéneas
 - Zonadas
 - Enrocamento
- Barragens de Betão
 - Gravidade
 - Abóbada
 - Contrafortes
 - Abóbadas múltiplas
 - Móveis
- Barragens Mistas

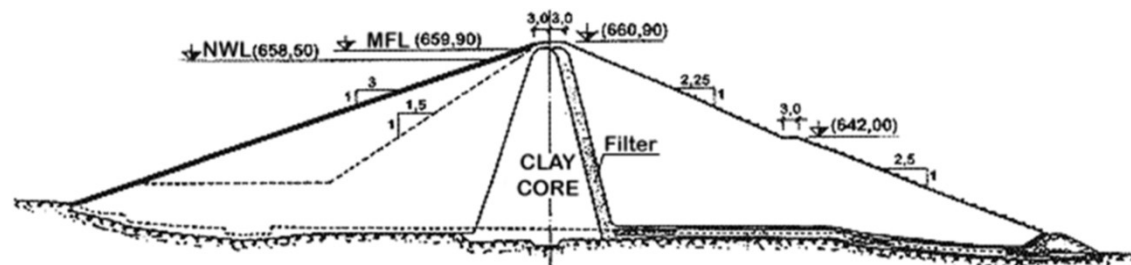
Tipos de Barragens

Barragem do Divor - Terra homogénea



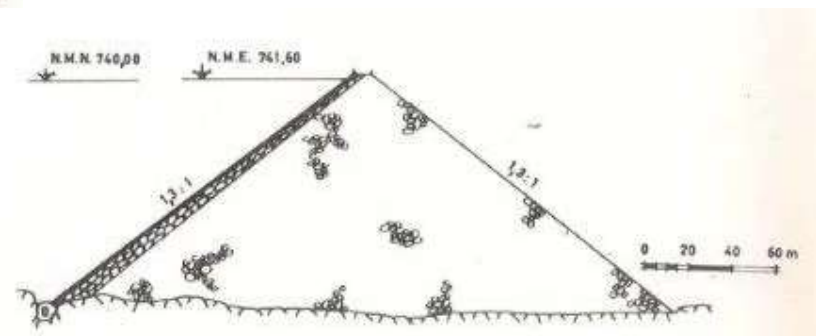
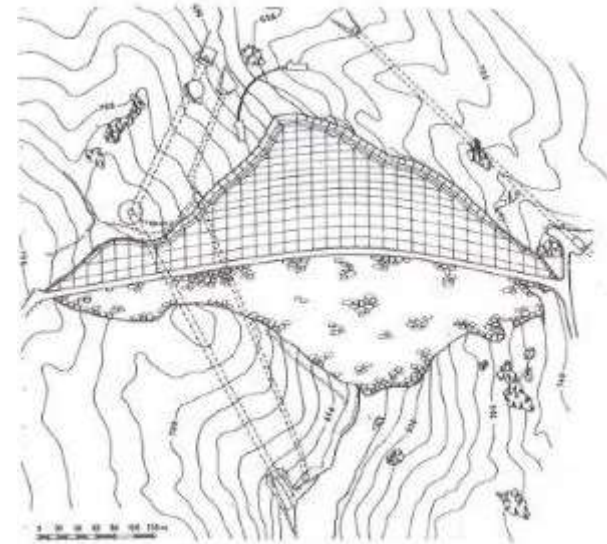
Tipos de Barragens

Barragem de Alijó – Aterro Zonado



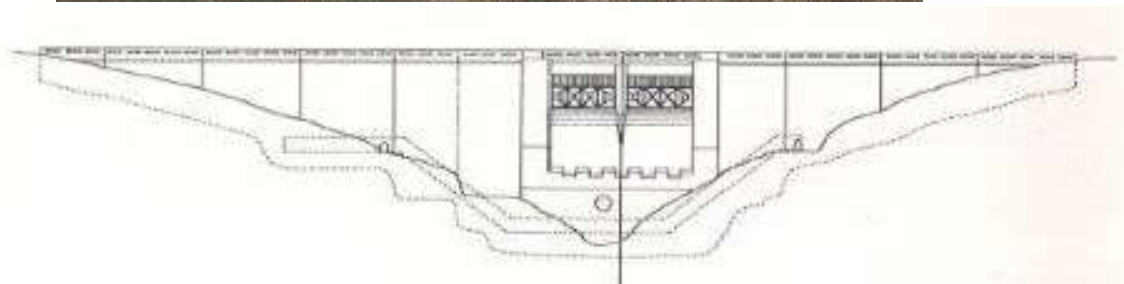
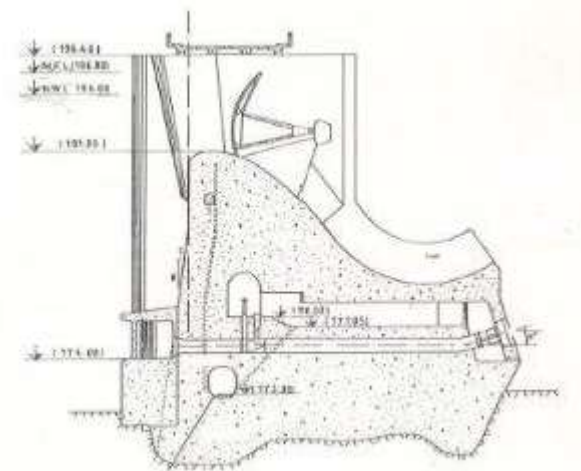
Tipos de Barragens

Barragem de Paradela - Enrocamento



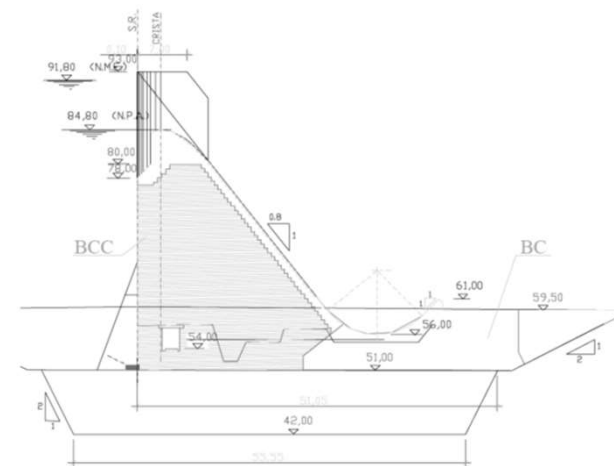
Tipos de Barragens

Barragem do Monte Novo – Betão Gravidade



Tipos de Barragens: Betão Compactado com Cilindros (BCC)

Barragem de Pedrogão (Portugal)



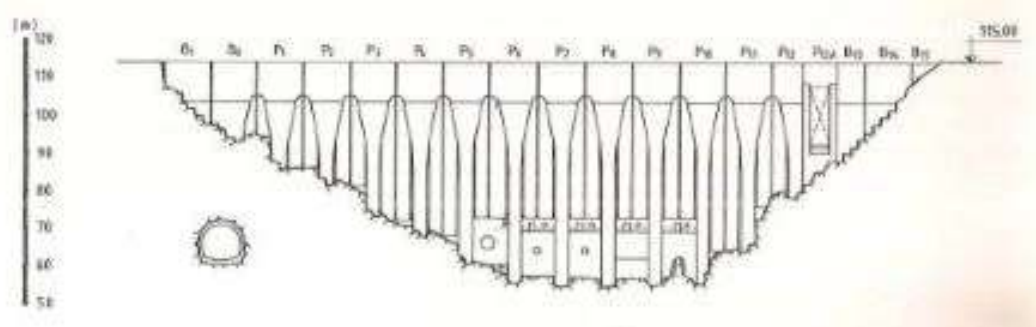
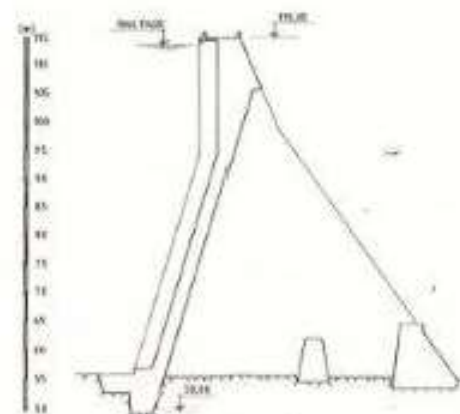
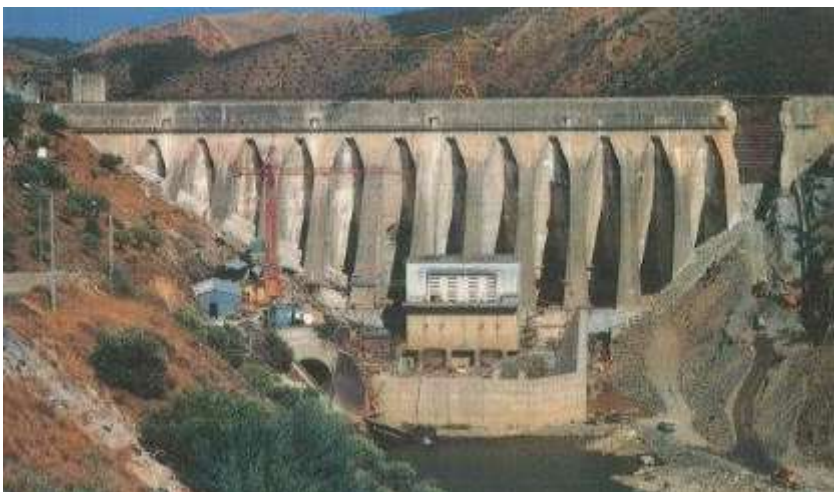
Tipos de Barragens

Barragem de Cahora Bassa - Arco



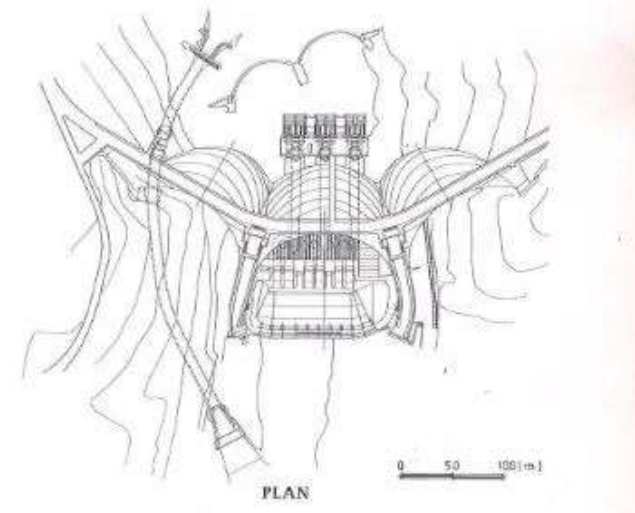
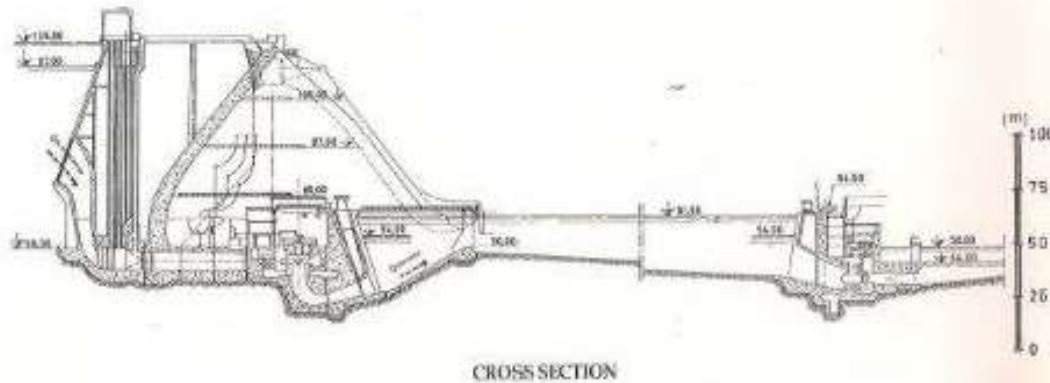
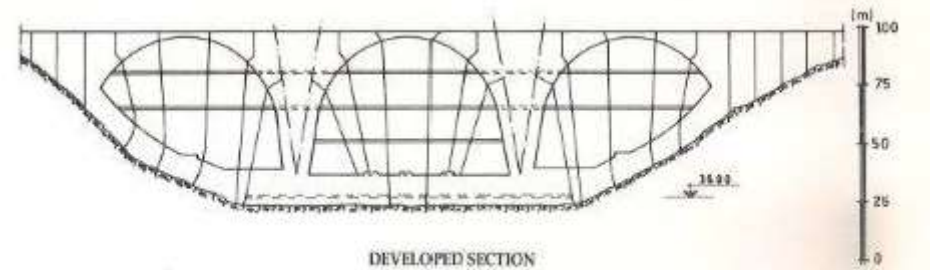
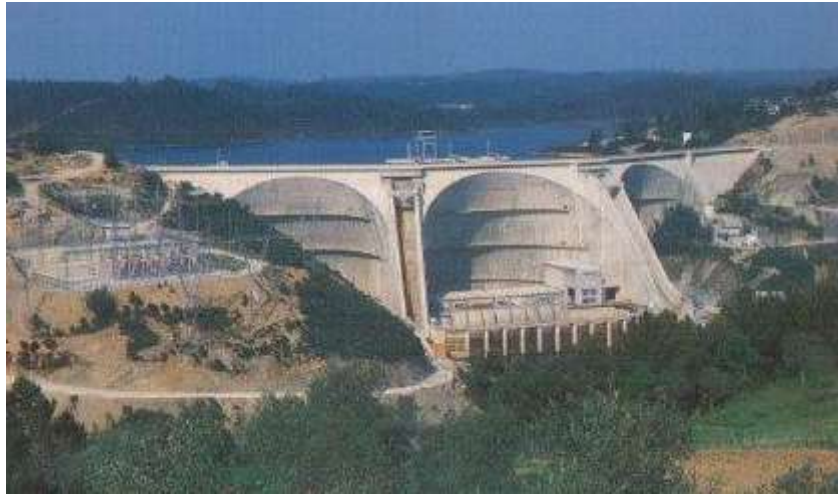
Tipos de Barragens

Barragem de Pracana- Contrafortes



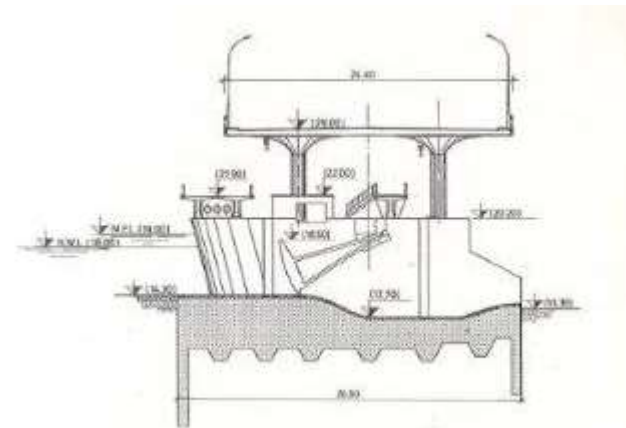
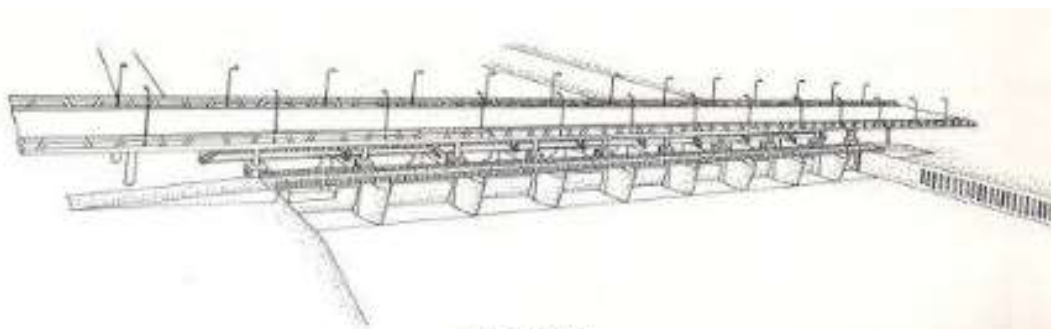
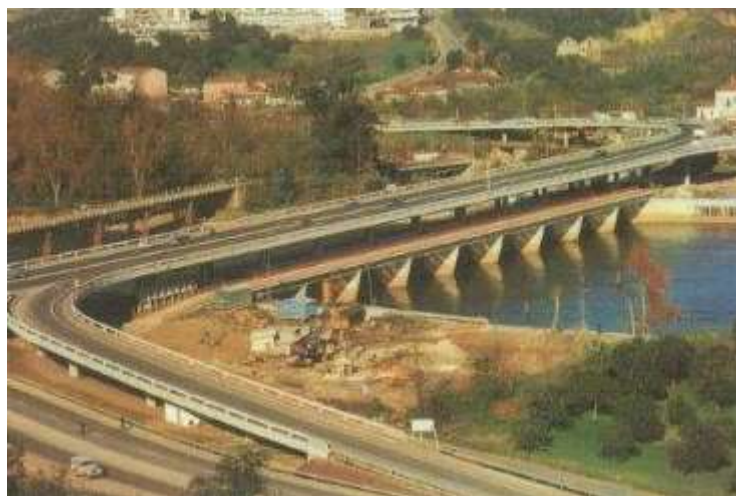
Tipos de Barragens

Barragem da Agueira - Abóbadas múltiplas



Tipos de Barragens

Ponte Açude de Coimbra- Móvel



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE

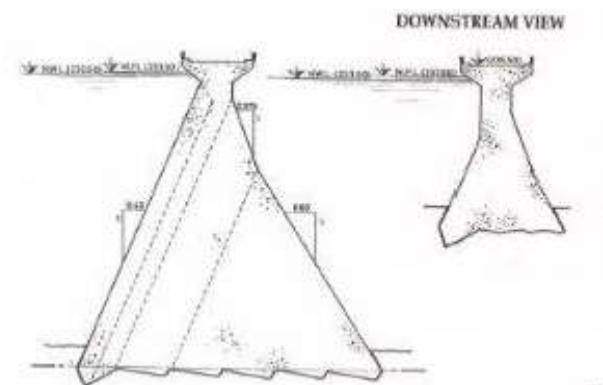
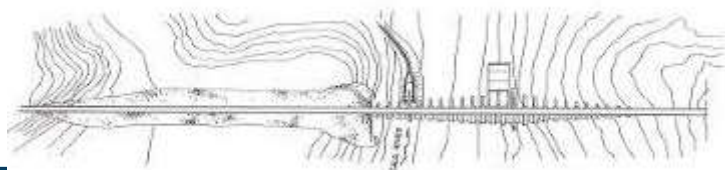
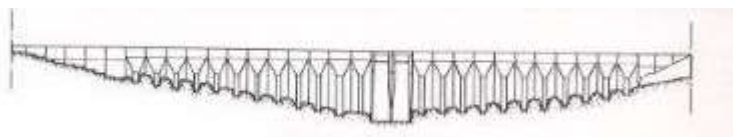
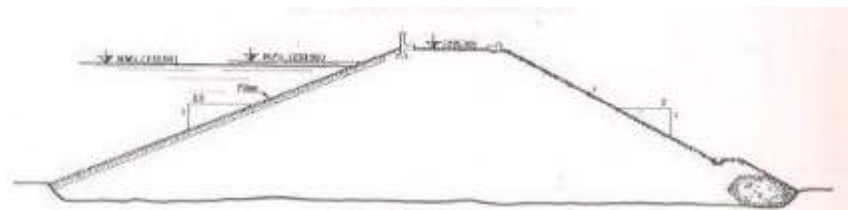
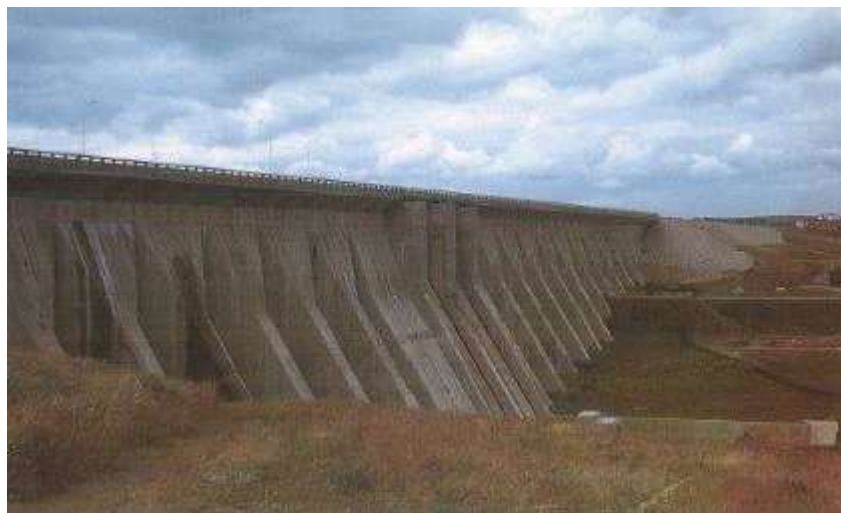


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

10º Encontro Técnico-Científico dos Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP
Construir infraestruturas resilientes e reduzir a vulnerabilidade face às alterações climáticas

Tipos de Barragens

Barragem do Caia - Mista



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

10º Encontro Técnico-Científico dos Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP
Construir infraestruturas resilientes e reduzir a vulnerabilidade face às alterações climáticas

Órgãos hidráulicos das barragens

1- Na fase da construção

- Desvio Provisório + ensecadeiras de montante e jusante

2 – Na fase de exploração

- Descarregador de Cheias
- Descarga de Fundo
- Tomadas de Água
- Circuitos de Caudal ecológico
- Escada de peixes

Órgãos hidráulicos das barragens

Descarregadores de Cheia

Os descarregadores de cheia apresentam diferentes tipos e constituição, em função das barragens em que se inserem e das condições topográficas e hidráulicas existentes. A opção por um tipo de descarregador e a sua concepção devem ser analisadas em cada caso tomando em consideração os aspectos referidos, juntamente com os aspectos de segurança e com critérios económicos, de modo a obter uma solução adequada aos condicionalismos existentes e economicamente aceitável.

Órgãos hidráulicos das barragens

Período de Retorno

- Período de Retorno de cheia (T) – é o intervalo de tempo médio entre ocorrências sucessivas de uma dada cheia.
- Ex: Cheia centenária (T= 100 anos) é a cheia que ocorre, **em média**, de 100 em 100 anos, cuja probabilidade de não excedência é de 0,99.

Órgãos hidráulicos das barragens

Período de Retorno

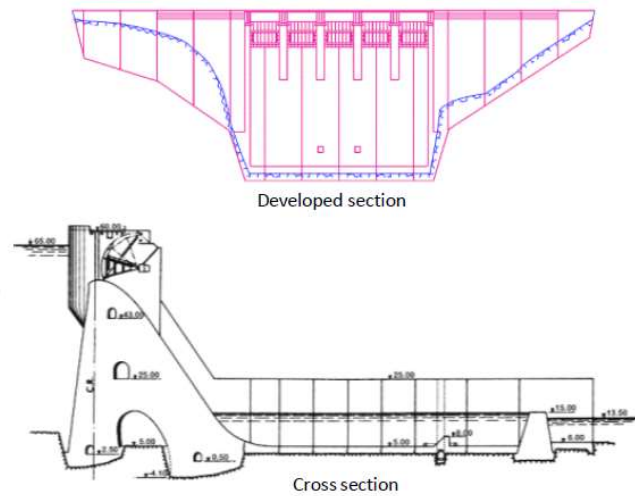
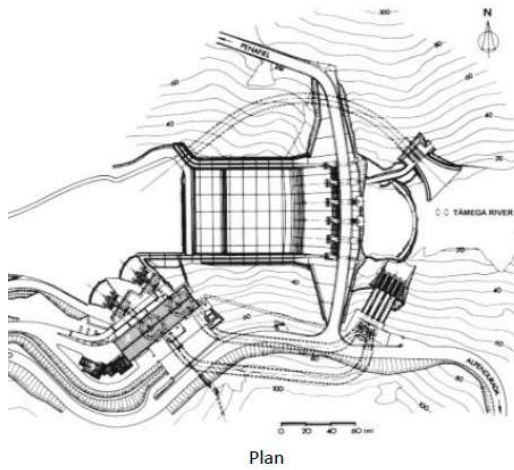
Quadro 7 - Períodos de retorno mínimos (anos) da cheia a considerar no dimensionamento do descarregador de cheias

Betão	Aterro	Classes I e II	Classe III
$h \geq 100$	$h \geq 50$	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

h – altura da barragem

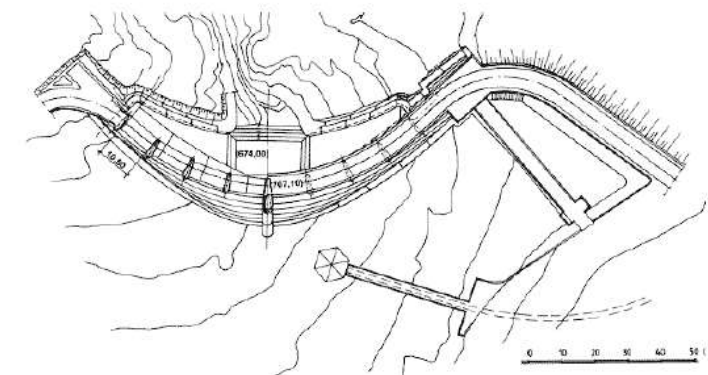
Órgãos hidráulicos das barragens

Descarregador de cheias - Barragem do Torrão

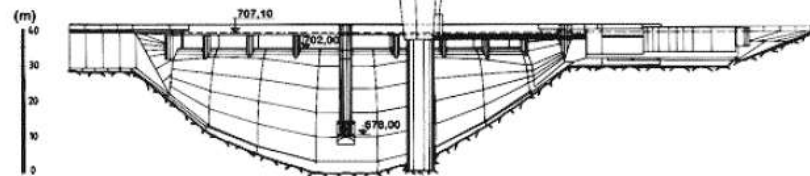


Órgãos hidráulicos das barragens

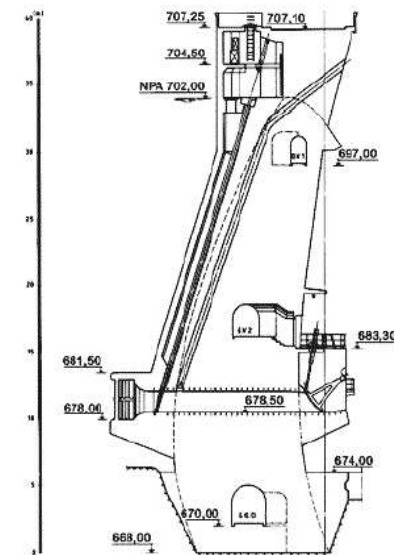
Descarregador de cheias - Barragem do Caldeirão



Plan



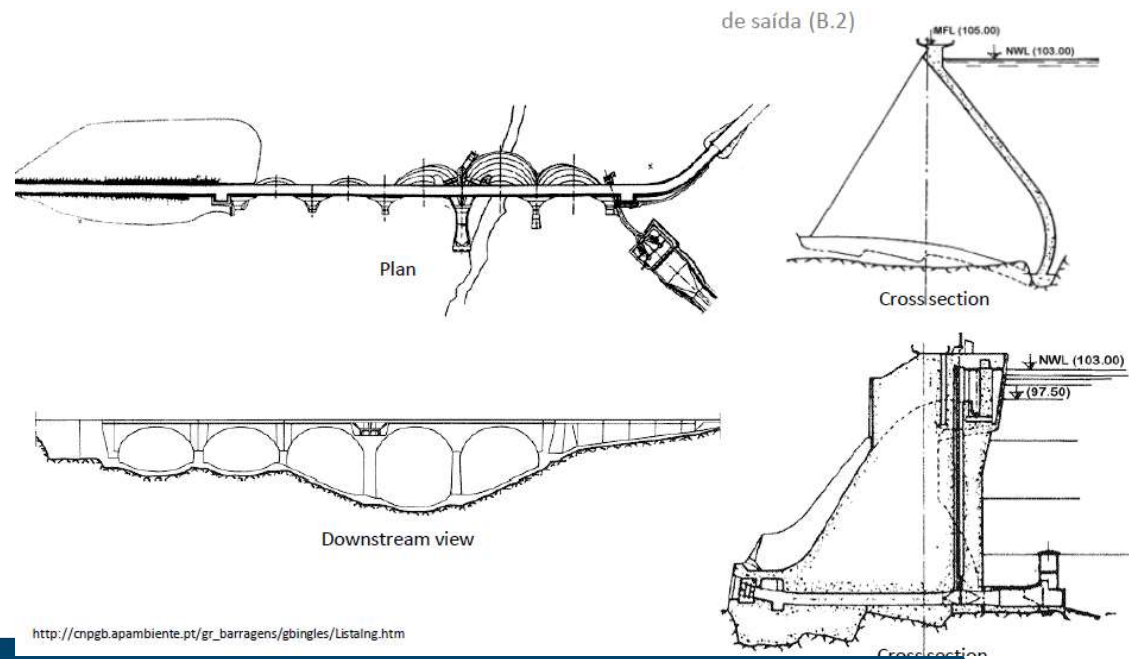
Upstream view



Cross section

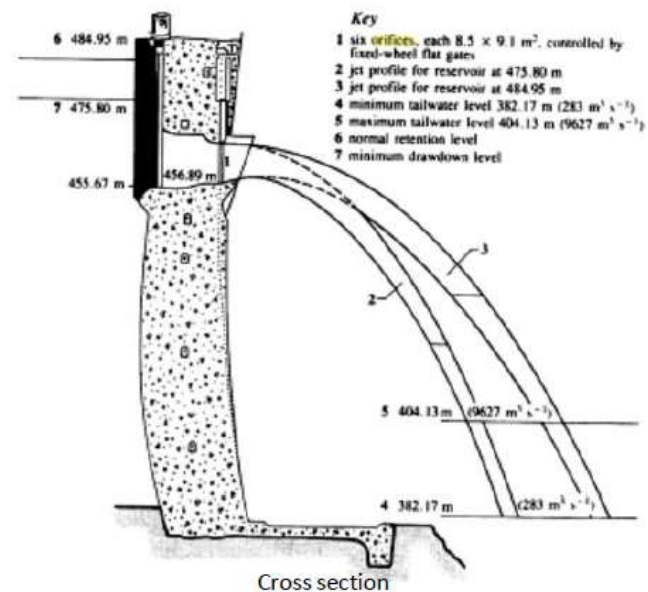
Órgãos hidráulicos das barragens

Descarregador de cheias - Barragem de Odivelas



Órgãos hidráulicos das barragens

Descarregador de cheias - Barragem de Kariba



Órgãos hidráulicos das barragens

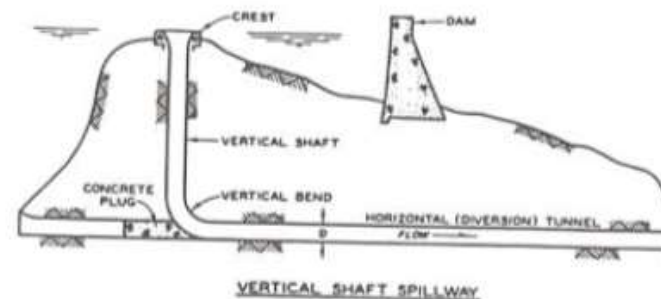
Descarregador de cheias - Barragem de Malhada de Peres



Órgãos hidráulicos das barragens

Descarregador de cheias - Barragem de Paradela

Planta
(top view)



Órgãos hidráulicos das barragens

Descarregador de cheias - Barragem de New Haddell



Órgãos hidráulicos das barragens

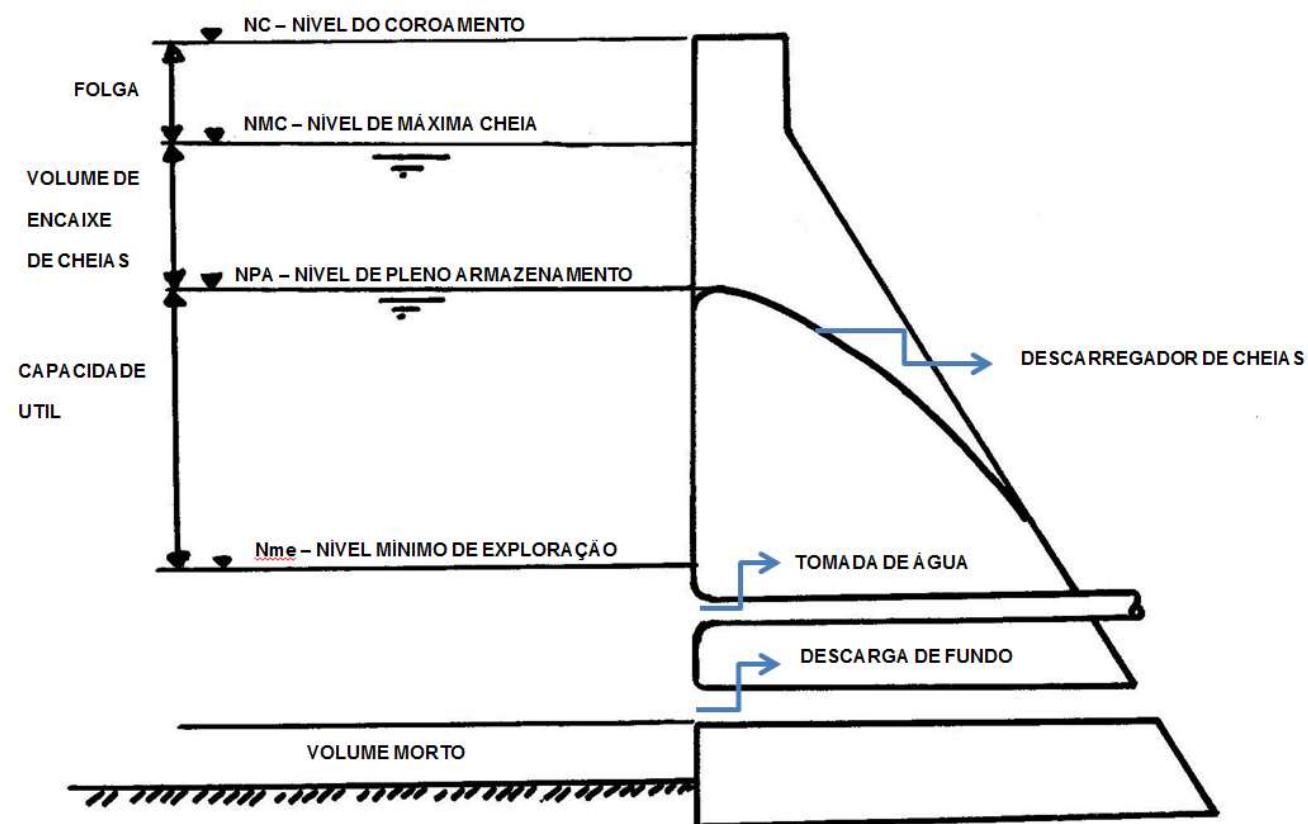
Descarregador de cheias – Modelo Reduzido



Foto retirada de MATEUS MENDONÇA (2013)

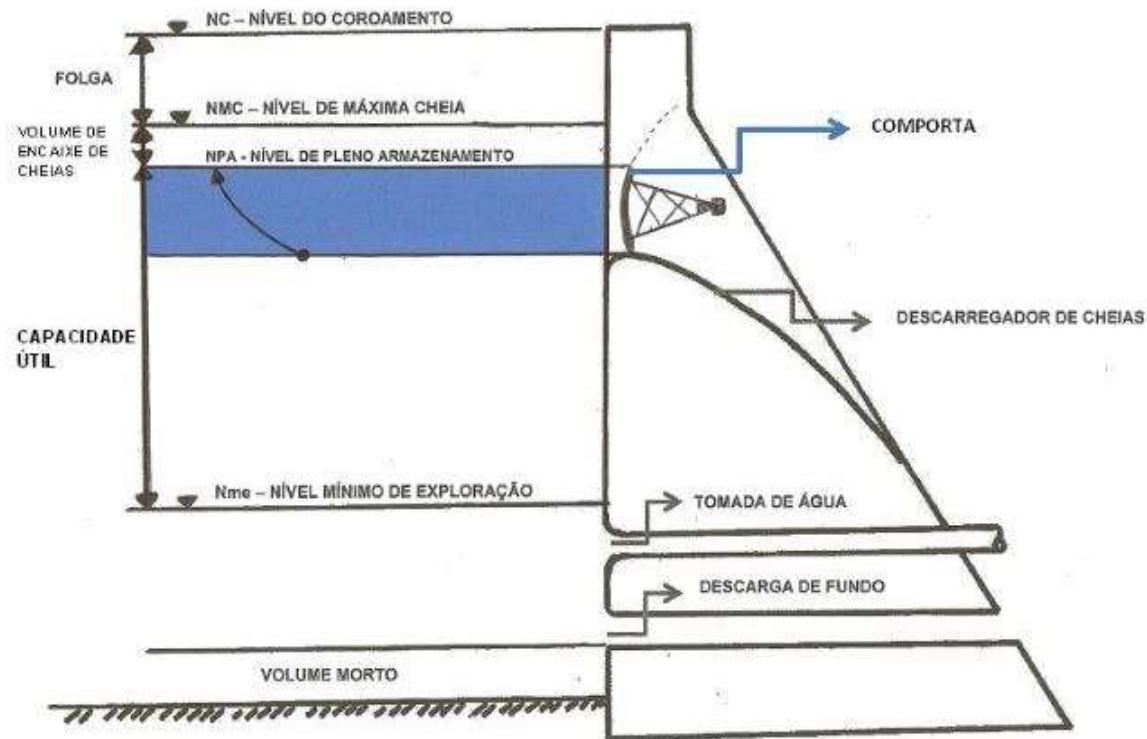
Níveis característicos da albufeira

Descarregador sem comporta



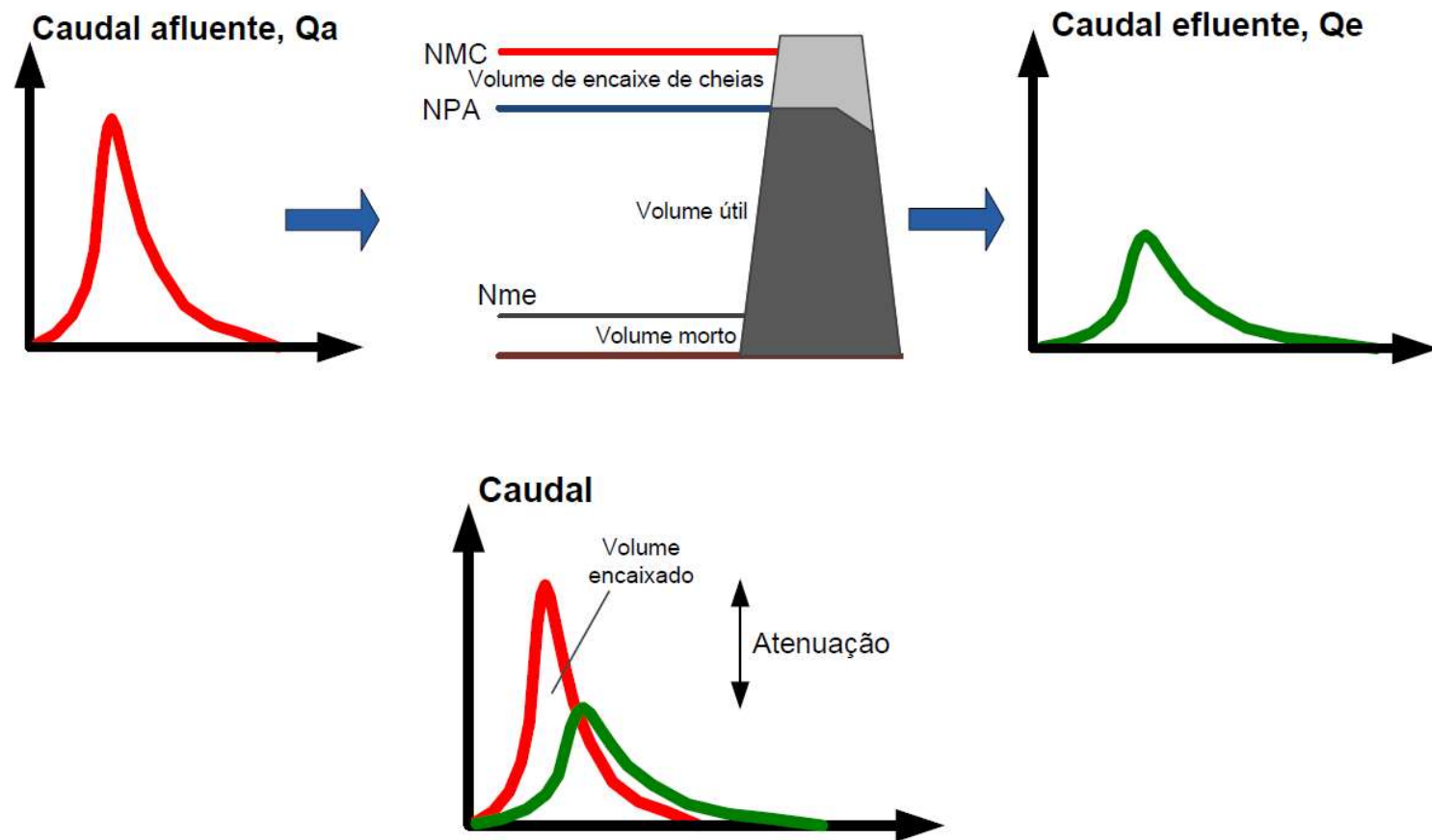
Níveis característicos da albufeira

Descarregador com comporta

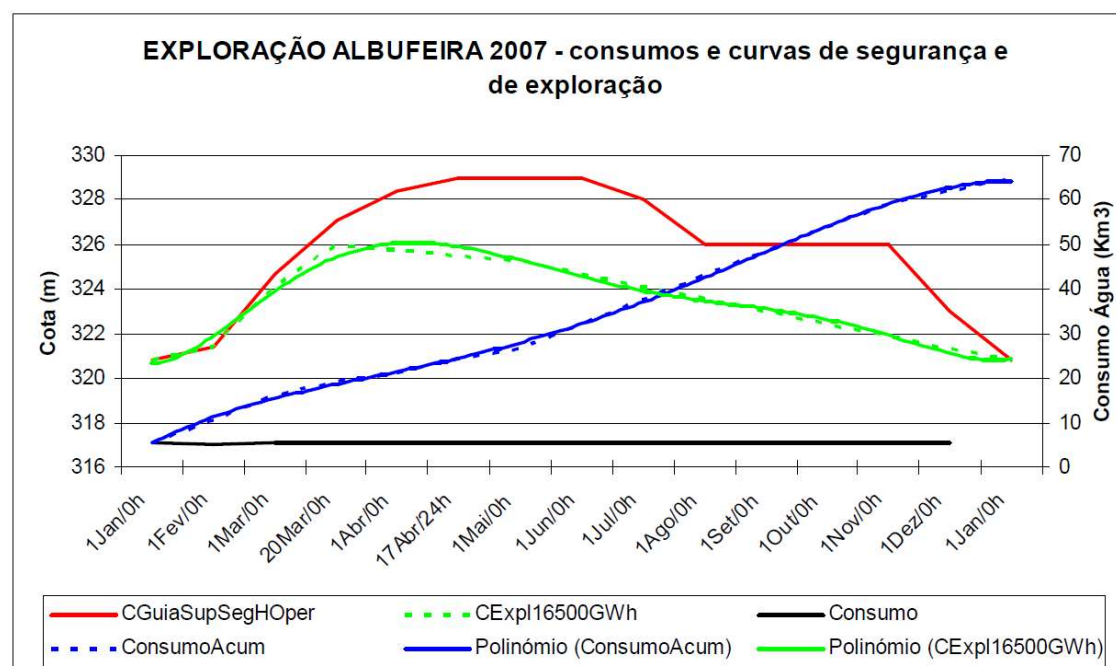


Níveis característicos da albufeira

Amortecimento de cheias na albufeira



Exemplo de Curvas Guia de Cahora Bassa



*Figura retirada de Jessen, G. e Silva, H. (2008) **GESTÃO HIDROLÓGICA DA ALBUFEIRA DE CAHORA BASSA EM PERÍODOS CRÍTICOS (CHEIAS E SECAS)**, 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia 2º Congresso de Engenharia de Moçambique, Maputo, 2-4 Setembro 2008.*

GESTÃO DE CHEIAS E SECAS



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE

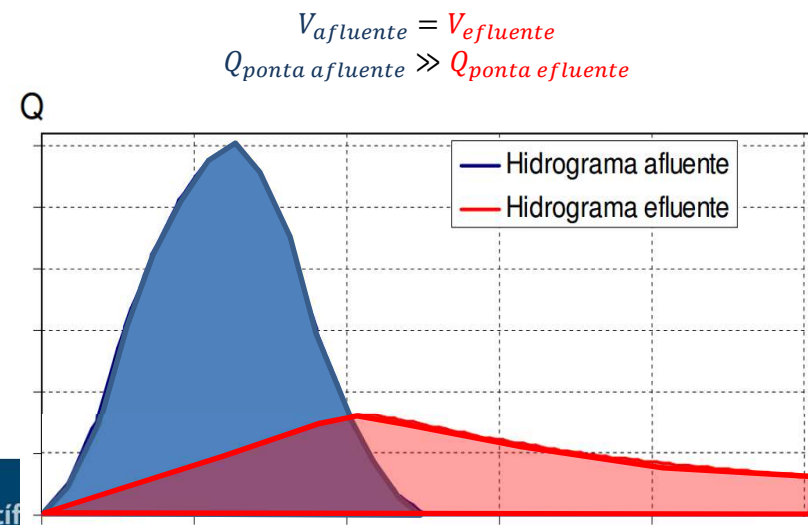


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

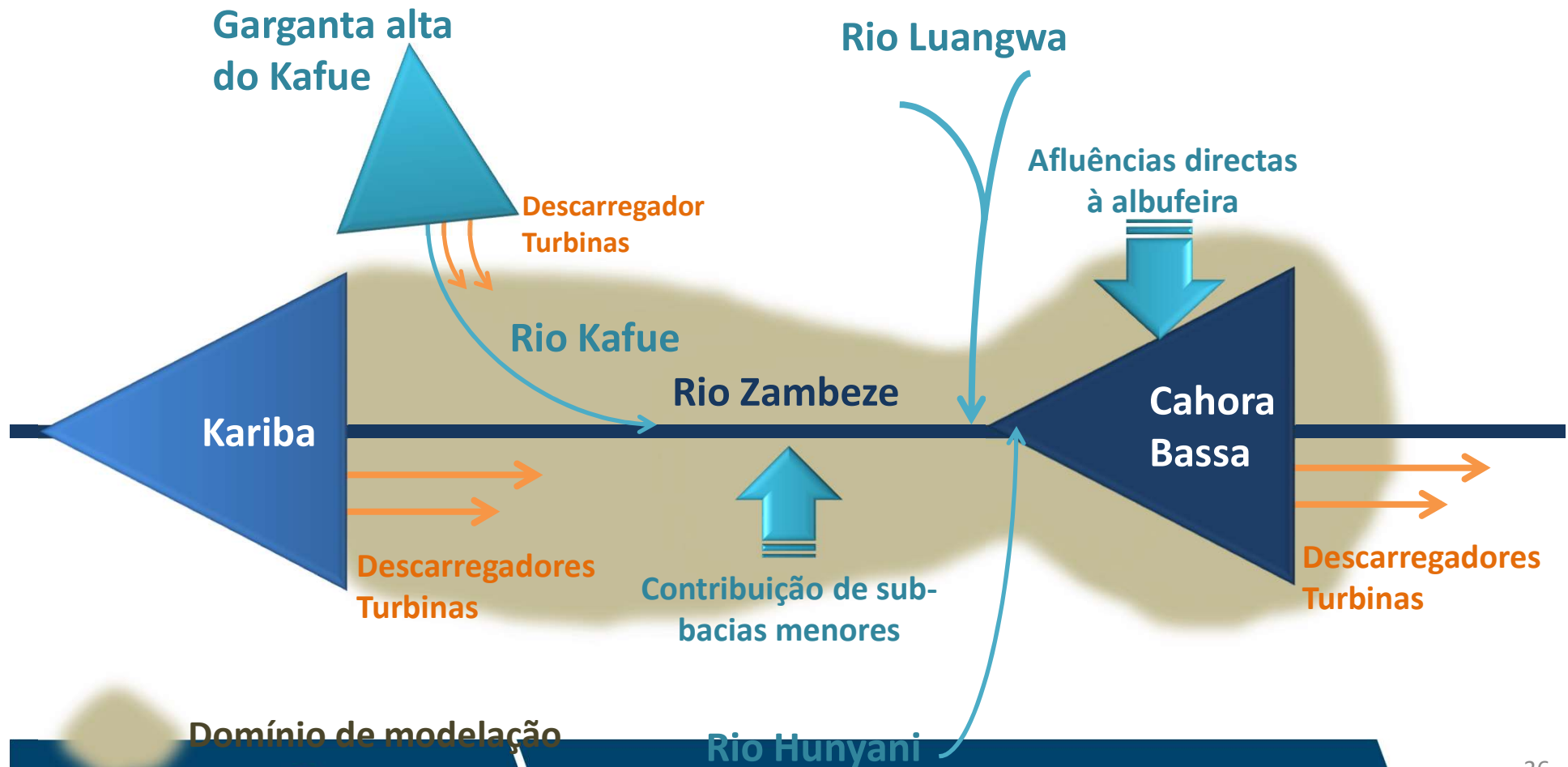
10º Encontro Técnico-Científico dos Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP
Construir infraestruturas resilientes e reduzir a vulnerabilidade face às alterações climáticas

Gestão de cheias

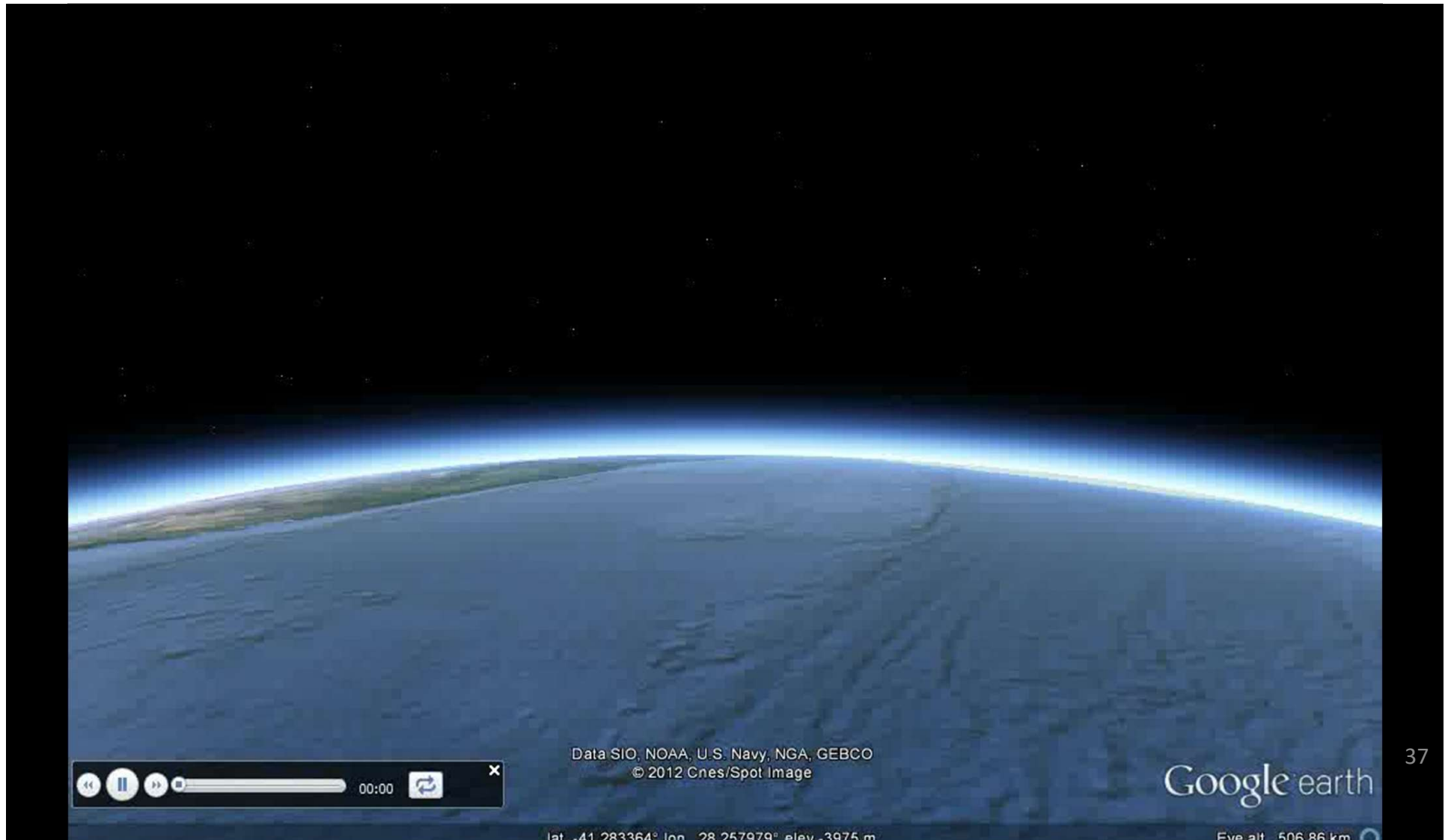
- As **cheias** são caracterizadas por serem um **fenómeno hidrológico extremo**, causado por uma **precipitação intensa**, originando **caudais** que **excedem a capacidade de vazão** do leito menor do rio.
- A **regularização de cheias** através de albufeiras consiste no **armazenamento temporário** de uma parte do volume afluente. Deste modo, há uma **diminuição** para jusante do **caudal de ponta** no rio, **minimizando** ou **evitando** os efeitos da cheia (perdas de vida, prejuízos em infraestruturas, entre outros).
- Como o **caudal de ponta** sofre um significativo **retardamento o tempo de aviso** é **aumentado**.
- Em termos de **dimensionamento e gestão** das albufeiras há que considerar:
 - ✓ Segurança da barragem;
 - ✓ Segurança das populações – sistemas de aviso;
 - ✓ Cumprimento das outras funções da albufeira.



Esquema do modelo



Fontes de dados topográficos

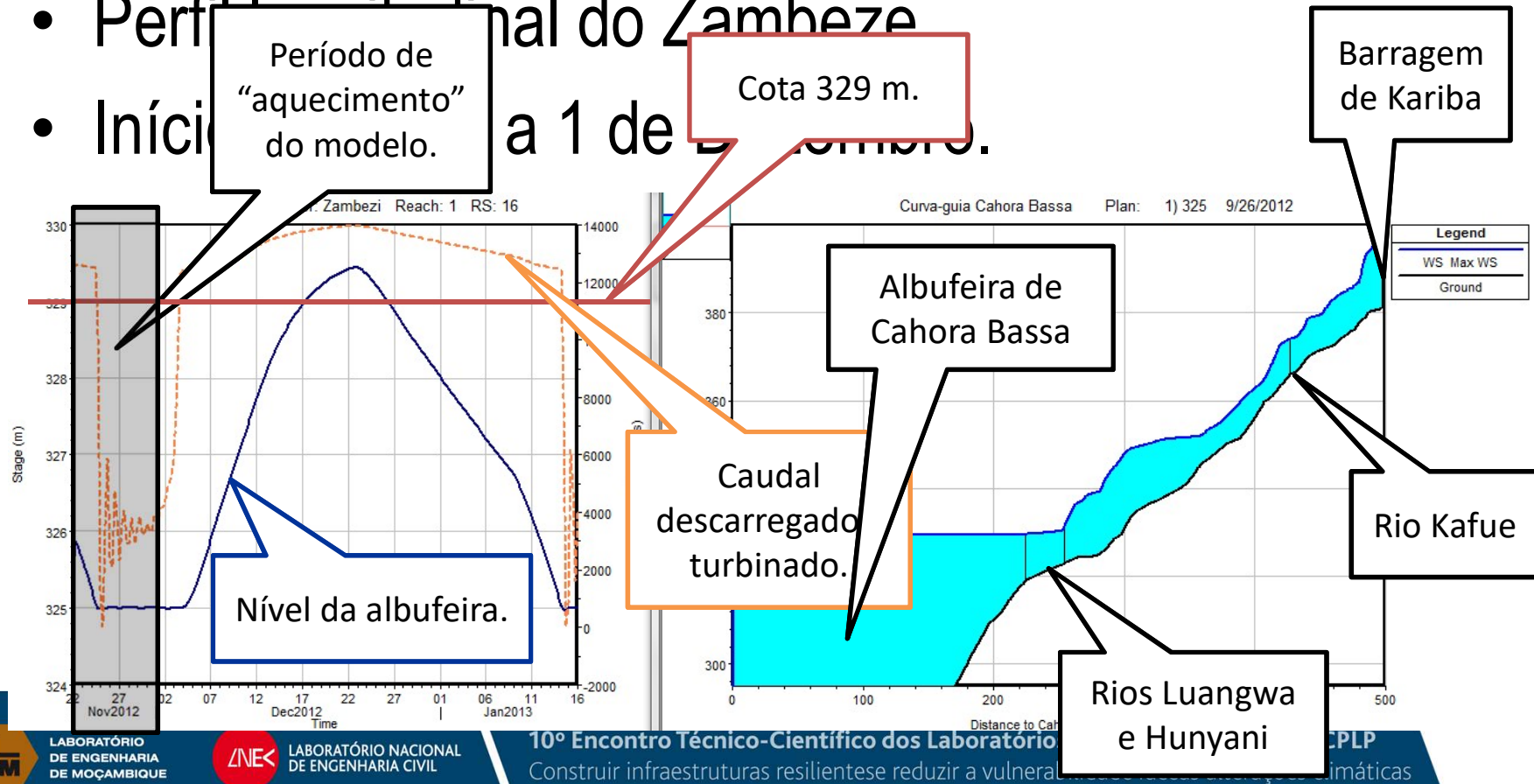


Síntese dos casos modelados

- Cheias com e sem descargas preventivas da albufeira.
- Cota inicial da albufeira testada a vários níveis:
 - 320.8 m;
 - 322 m;
 - 325 m;
 - 326 m;
 - 329 m.

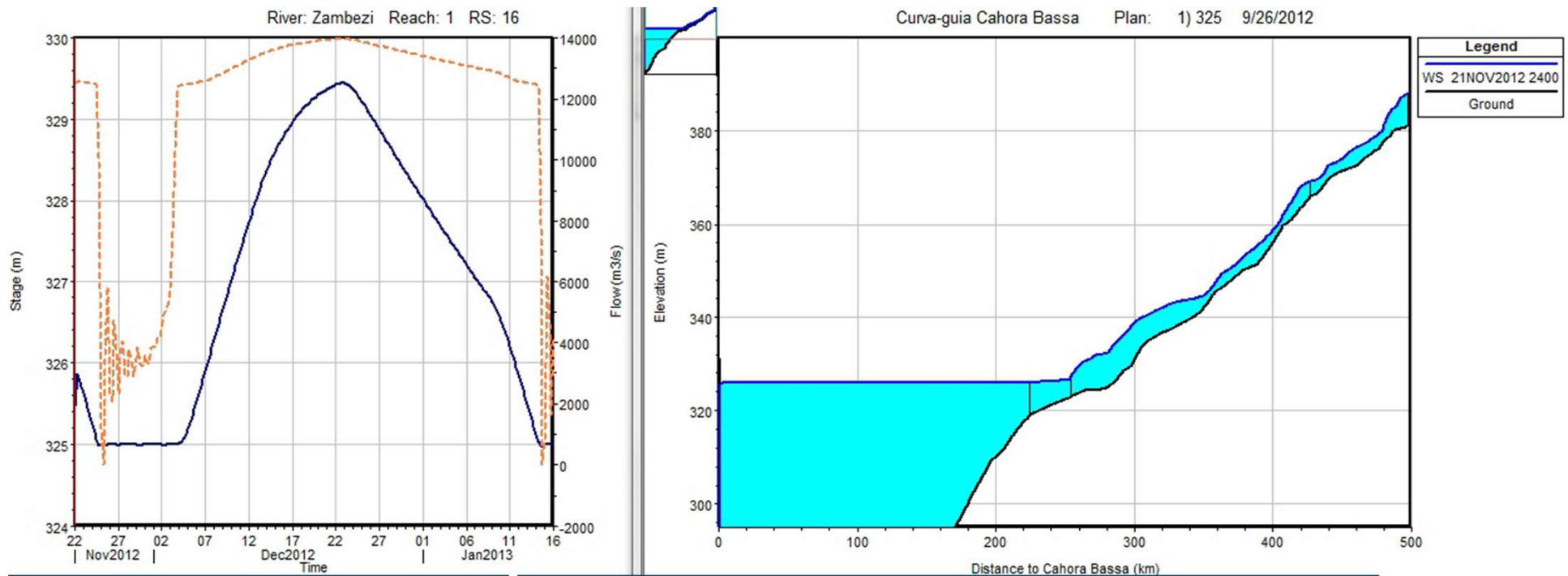
Cota inicial: 325 m

- Hidrograma e cota da albufeira em Cahora Bassa.
- Perfil longitudinal do Zambeze
- Início do período de “aquecimento” do modelo a 1 de Dezembro.



Cota inicial: 325 m (animação)

	Nível máximo [m]	Caudal afluente máximo [m ³ /s]	Nível mínimo [m]
Valor	329.44	21006	325
Instante	22 Dez 18:00	09 Dez 00:00	01 Dez 00:00



Apresentação de resultados com descargas preventivas

DESCARGA PREVENTIVA



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE

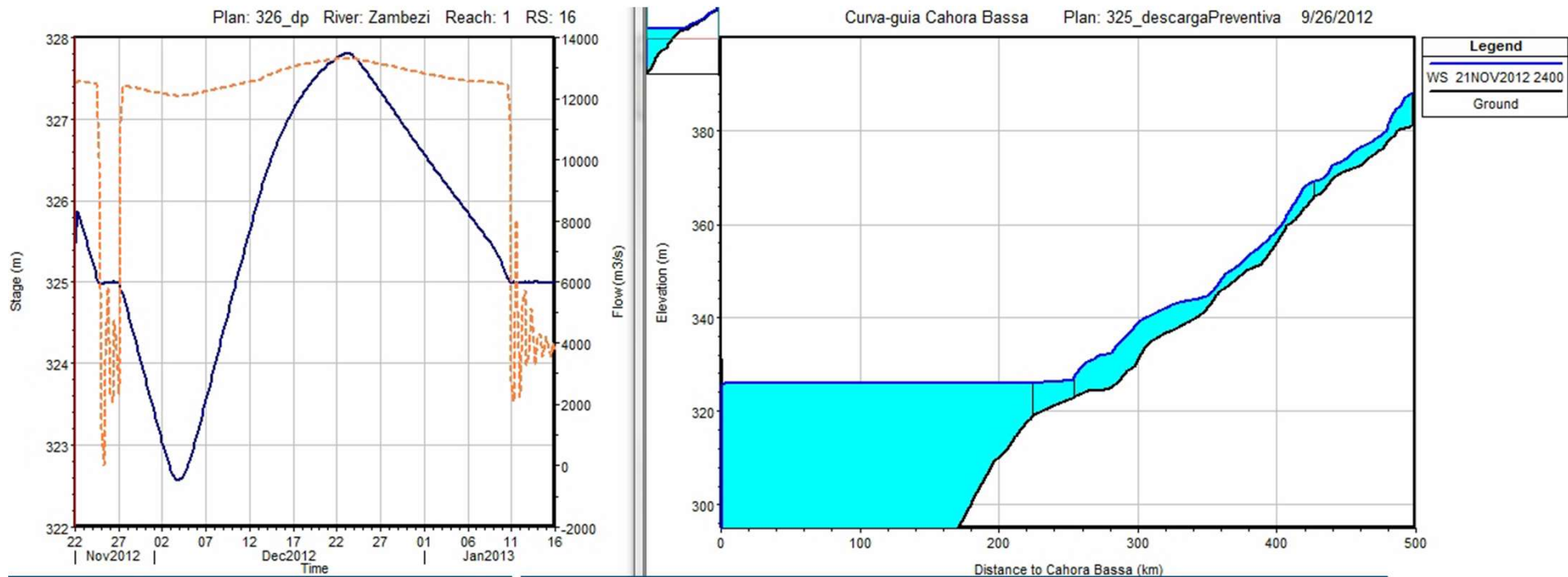


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

10º Encontro Técnico-Científico dos Labor
Construir infraestruturas resilientes e reduzir a v

Cota inicial: 325 m (animação)

	Nível máximo [m]	Caudal afluente máximo [m ³ /s]	Nível mínimo [m]
Valor	327.80	21139	323.00
Instante	23 Dez 00:00	09 Dez 00:00	03 Dez 00:00



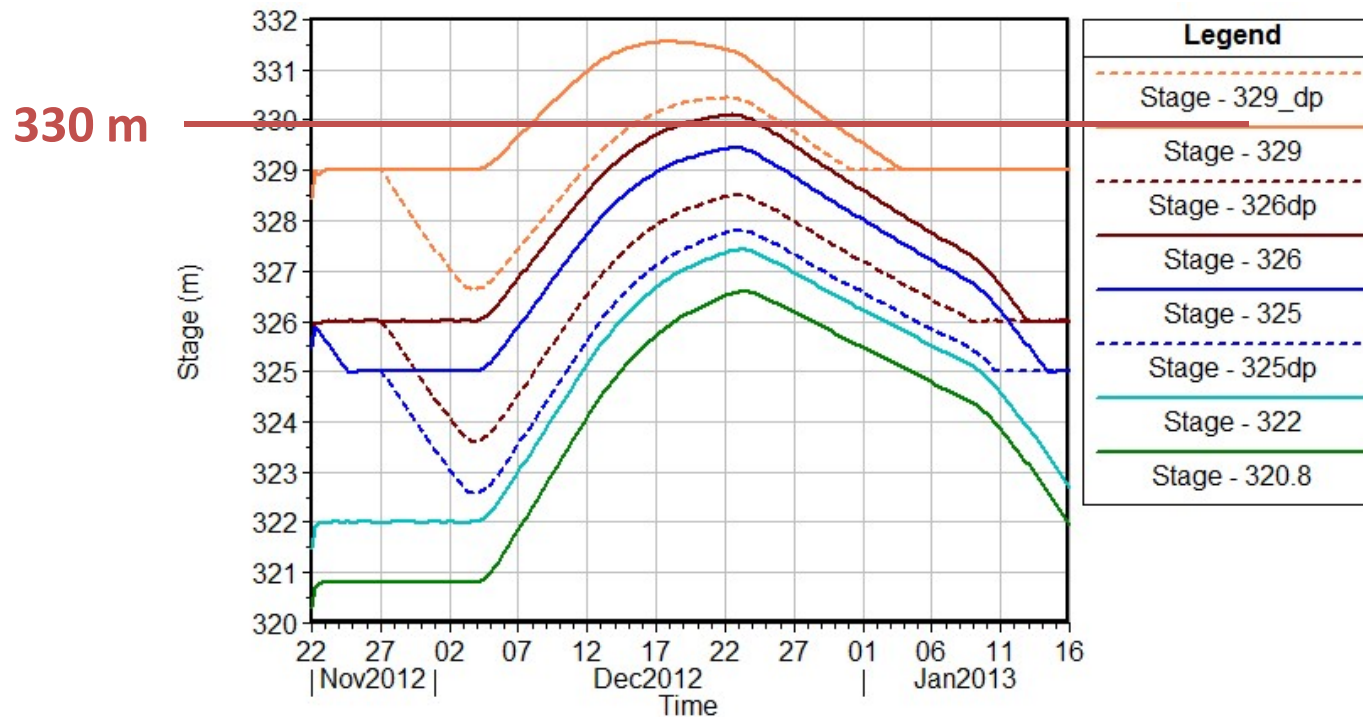
Síntese dos resultados computacionais.

SÍNTESE DE RESULTADOS



Comparação de simulações

- Grande efeito de acções de descarga iniciadas quando a cheia parte de Kariba.



Gestão de secas

- As **secas** são um **desequilíbrio natural** e **temporário** na **disponibilidade de água**, no qual se verifica uma **precipitação abaixo da média**, com frequência, duração e severidade incerta. A **ocorrência** deste fenómeno é **difícil prever** e só se tornam **perceptíveis** quando as suas consequências se tornam **visíveis pela escassez dos recursos hídricos**.
- As barragens poderão permitir uma **mitigação** das consequências das **secas**, pois permitem o **armazenamento dos recursos hídricos** e posterior **utilização destes**. Contudo, estes sistemas têm que contemplar na sua **gestão** situações muito **extremas de falta de recursos**, que não são **fáceis de contabilizar** e, ainda, o efeito da evaporação que poderá originar a grandes perdas de água da albufeira.
- Em tempos de seca dever-se-á:
 - ✓ Explorar de forma cuidada e eficiente as albufeiras, restringindo-se as suas funcionalidades menos prioritárias – **Definir prioridades de utilização** (abastecimento de água, irrigação, caudais ecológicos, entre outros);
 - ✓ Adoptar medidas que minimizem a quantidade de água perdida por evaporação (Exemplo: *Shade Balls*).



SEGURANÇA HIDRÁULICO-OPERACIONAL E DO VALE A JUSANTE



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

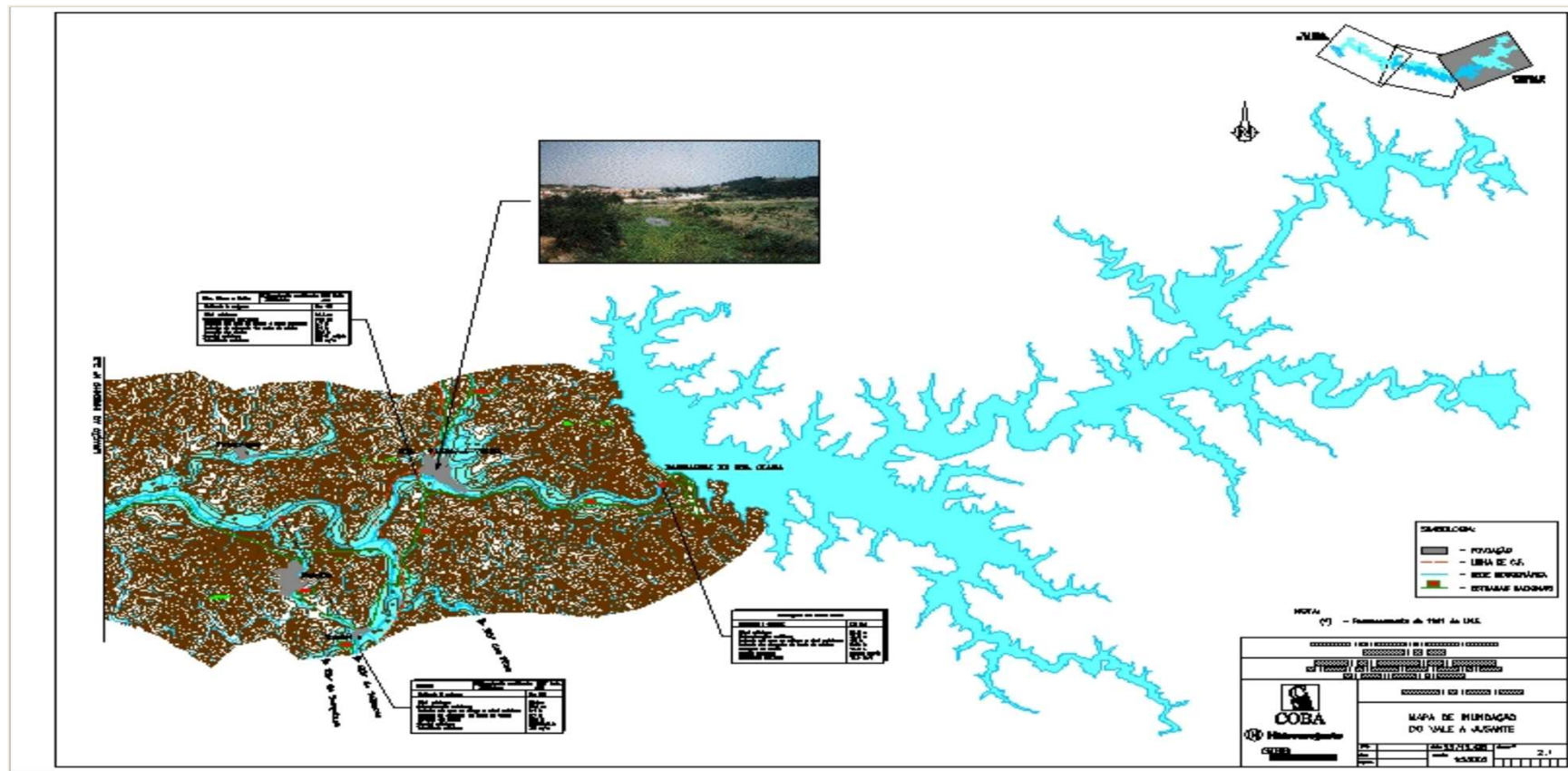
10º Encontro Técnico-Científico dos Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP
Construir infraestruturas resilientes e reduzir a vulnerabilidade face às alterações climáticas

Simulação da cheia provocada pela rotura da barragem

- **Previsão do mecanismo de rotura da barragem.**
- **Estudo da propagação da onda de cheia.**
- **Elaboração dos mapas de inundação e avaliação das populações e infra-estruturas afectadas.**

Simulação do funcionamento dos órgãos hidráulicos.

Mapa de inundação (Esc. 1:25 000)



Características hidráulicas da onda de cheia resultante da rotura da barragem

Localização	$h_{\text{máx}}$ (Z_{fundo})	$t_{\text{máx}}$	t_{cheg}	d_{cheia}	$h_{\text{máx}} - h_{\text{inic}}$	$Q_{\text{máx}}$	$V_{\text{máx}}$
Barragem (km 0,0)	41,2 (49,7)	1,5	0,1	18,6	37,2	68 915	11,4
St ^a . Clara a Velha (km 4,2)	37,6 (42,8)	1,7	0,4	19,6	34,2	64 141	5,3
Saboia (km 8,0)	29,1 (35,9)	2,1	0,7	18,8	25,5	62 553	7,8
Odemira (km 42,6)	31,0 (-0,4)	4,2	2,7	27,4	26,2	35 558	4,6
V.N. Milfontes (km 72,7)	16,6 (-3,0)	6,6	4,6	22,0	12,1	21 462	4,2

O Plano de Emergência (PE) da barragem resultará da conjugação articulada dos seguintes planos parcelares, mas complementares:

- **Plano de Emergência Interno (PEI), da responsabilidade do Dono da Obra, elaborado pelo Consórcio em articulação com o SNPC, centrado essencialmente no desencadeamento do processo na barragem e no eventual aviso às populações a jusante mais próximas;**
- **Plano de Emergência Externo (PEE), elaborado pelo SNPC em articulação com o Consórcio, centrado essencialmente na informação e ajuda às populações a jusante potencialmente afectadas.**

O processo de planeamento de emergência compreende diferentes fases:

- **detecção de anomalias na barragem e/ou albufeira;**
- **tomada de decisão sobre desencadeamento do processo de emergência;**
- **notificação da ocorrência a diversas entidades;**
- **alarme e aviso às populações a jusante;**
- **evacuação das mesmas das áreas potencialmente afectadas.**

GESTÃO DE SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

- **Intervenientes e Responsabilidades**
- **Níveis de Emergência**
- **Sistemas de Aviso e Alerta**

GESTÃO DO PLANO DE EMERGÊNCIA

- **Disposições Legais**
- **Ciclo de Vida do Plano**
- **Divulgação do Plano de Emergência**

FIM.
Muito Obrigado pela vossa atenção



LABORATÓRIO
DE ENGENHARIA
DE MOÇAMBIQUE



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

10º Encontro Técnico-Científico dos Laboratórios de Engenharia Civil da CPLP
Construir infraestruturas resilientes e reduzir a vulnerabilidade face às alterações climáticas