

Vazquez, Jorge

**“Da concepção à construção de barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”**

- Acerca da sustentabilidade
- Acerca da segurança e da qualidade
  - Estudos iniciais (Programa Base e Estudo Prévio)
  - Estudos de pormenorização (Projecto e Projecto de Execução)
  - Fase de construção

recuar

avancar

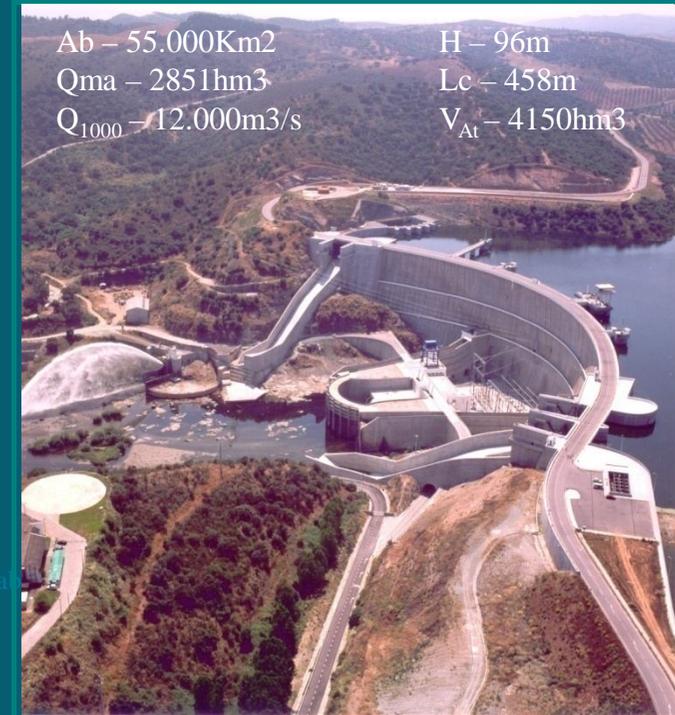
Vazquez, Jorge

## SUSTENTABILIDADE ?

Sustentabilidade é um conceito sistémico, relacionado com a continuidade dos aspectos económicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana.

A sustentabilidade é ....

- suprir as necessidades da geração presente, sem afectar a capacidade de as gerações futuras de suprirem as suas (Brundtland)
- desenvolvimento com perspectivas a longo prazo, integrando os efeitos locais e regionais de mudança local no processo de desenvolvimento e usando o melhor conhecimento científico e tradicional disponível (AGENDA 21)
- desenvolvimento que vem ao encontro das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras suprirem as suas necessidades (C.M. Desenvolvimento e Ambiente)
- o equilíbrio das considerações económicas, sociais, ambientais e tecnológicas, bem como a incorporação de valores éticos (Council of Academis of Engeneering and Technological Sciencies)



$Ab - 55.000\text{Km}^2$

$Q_{ma} - 2851\text{hm}^3$

$Q_{1000} - 12.000\text{m}^3/\text{s}$

$H - 96\text{m}$

$L_c - 458\text{m}$

$V_{At} - 4150\text{hm}^3$

Sustentabilidade → eficiência  
económica, social e ecológica

Central Reversível P – 260MW (x2)

$Q_n - 400\text{m}^3/\text{s}$  (x2)

Área de Rega de cerca de 110.000ha

Abastecimento público

Correcção torrencial

Turismo e Lazer

recuar

avançar

Vazquez, Jorge

### ABORDAGEM SUSTENTÁVEL DE UMA BARRAGEM

- Implica a ponderação abrangente e consistente das questões técnicas, económicas e ambientais, numa lógica de uso racional dos recursos hídricos e de balanço favorável das condicionantes, dos impactos e dos benefícios associados, no âmbito da sua integração em sistemas de maior ou menor complexidade
- Visa a satisfação efectiva de necessidades fundamentais da Sociedade, no presente e no futuro
- Os objectivos dos sistemas ou aproveitamentos em que as barragem se integram são diversos ....
  - regularização e correcção torrencial
  - abastecimento público e industrial
  - benefício hidroagrícola
  - aproveitamento hidroeléctrico
  - lazer, recreio e turismo

cumprindo habitualmente mais do que um destes objectivos



O caso paradigmático do  
Empreendimento de Fins  
Múltiplos de Alqueva

recuar

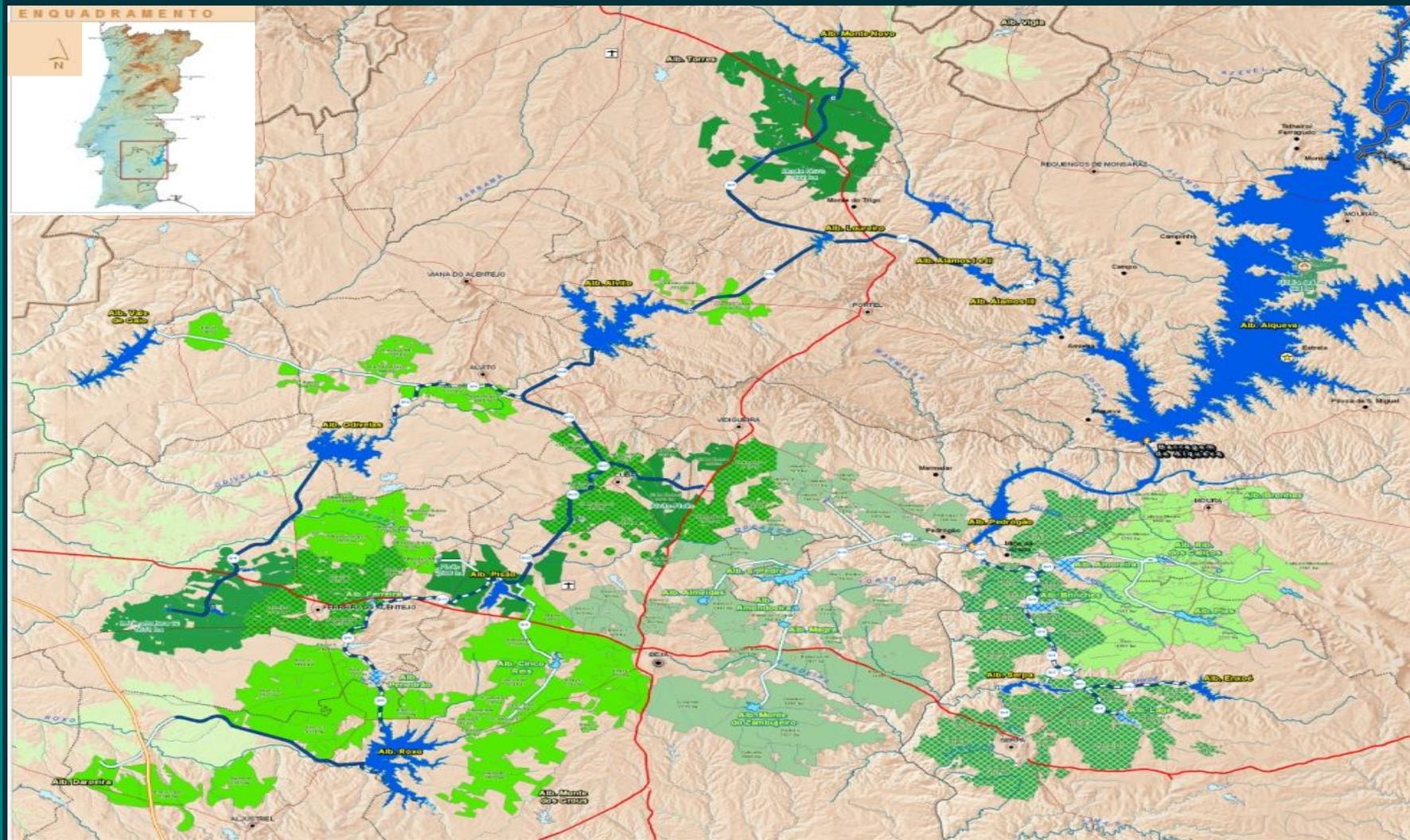
avancar

# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge



recuar

avançar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

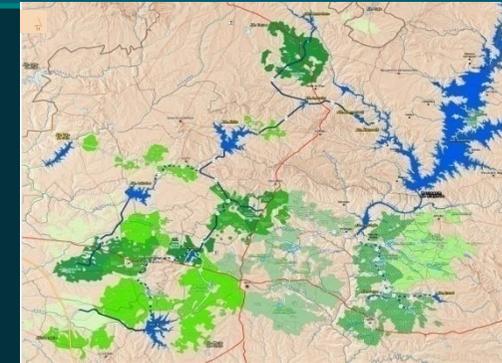
ALGUNS VALORES DOS BLOCOS DE REGA DO EFMA

Sistema Alqueva

Bloco	Área <i>ha.</i>	Cond. <i>Km</i>	Hidr.	Boc.	Pot. EE <i>kw</i>
Monte Novo	7822	99	263	565	4400
Vale de Gaio	3925	62	115	195	600
Loureiro-Alvito	1050	14,4	18	20	1100
Alvito-Pisão	8452	142	372	700	8800
Pisão	2580	56	300	600	4000
Alfundão	4017	46,9	79	151	600
Ferreira, F. e Valbom	5000	86	262	512	1550
Ervidel	8228	86,2	158	467	4480
Aljustrel	1200	21	55	107	-
Cinco Reis-Trindade	4700	46	73	110	-
<b>Total</b>	<b>46924</b>	<b>659,5</b>	<b>1695</b>	<b>3427</b>	<b>25530</b>

Projectos em Fase Inicial:

- Beringel - Beja – 6000 ha
- Roxo-Sado – 4500 ha



Sistema Ardila

Bloco	Área <i>Ha.</i>	Cond. <i>Km</i>	Hidr	Boc.	Pot. EE <i>kw</i>
Orada-Amoreira	2655	42,4	138	295	4095
Brinches	5459	92,3	279	591	4825
Serpa	4625	68,7	206	375	4075
Brinches-Enxoé	4877	53	85	137	6250
Caliços-Machados	4237	37	62	115	900
Pias	4599	61	135	296	2600
Caliços-Moura	3696	68	179	441	1300
<b>Total</b>	<b>30148</b>	<b>422,4</b>	<b>1084</b>	<b>2250</b>	<b>24045</b>

Sistema Pedrógão

Bloco	Área <i>Ha.</i>	Cond. <i>Km</i>	Hidr.	Boc.	Pot. EE <i>kw</i>
Pedrógão-Selmes	5083	44	94	245	4800
S.Matias	5912	53	73	192	3090
S.Pedro-Baleizão	5900	63	76	117	-
<b>Total</b>	<b>16895</b>	<b>160</b>	<b>243</b>	<b>554</b>	<b>7890</b>

Projectos em Fase Inicial:

- Baleizão-Quintos – 8500 ha

recuar

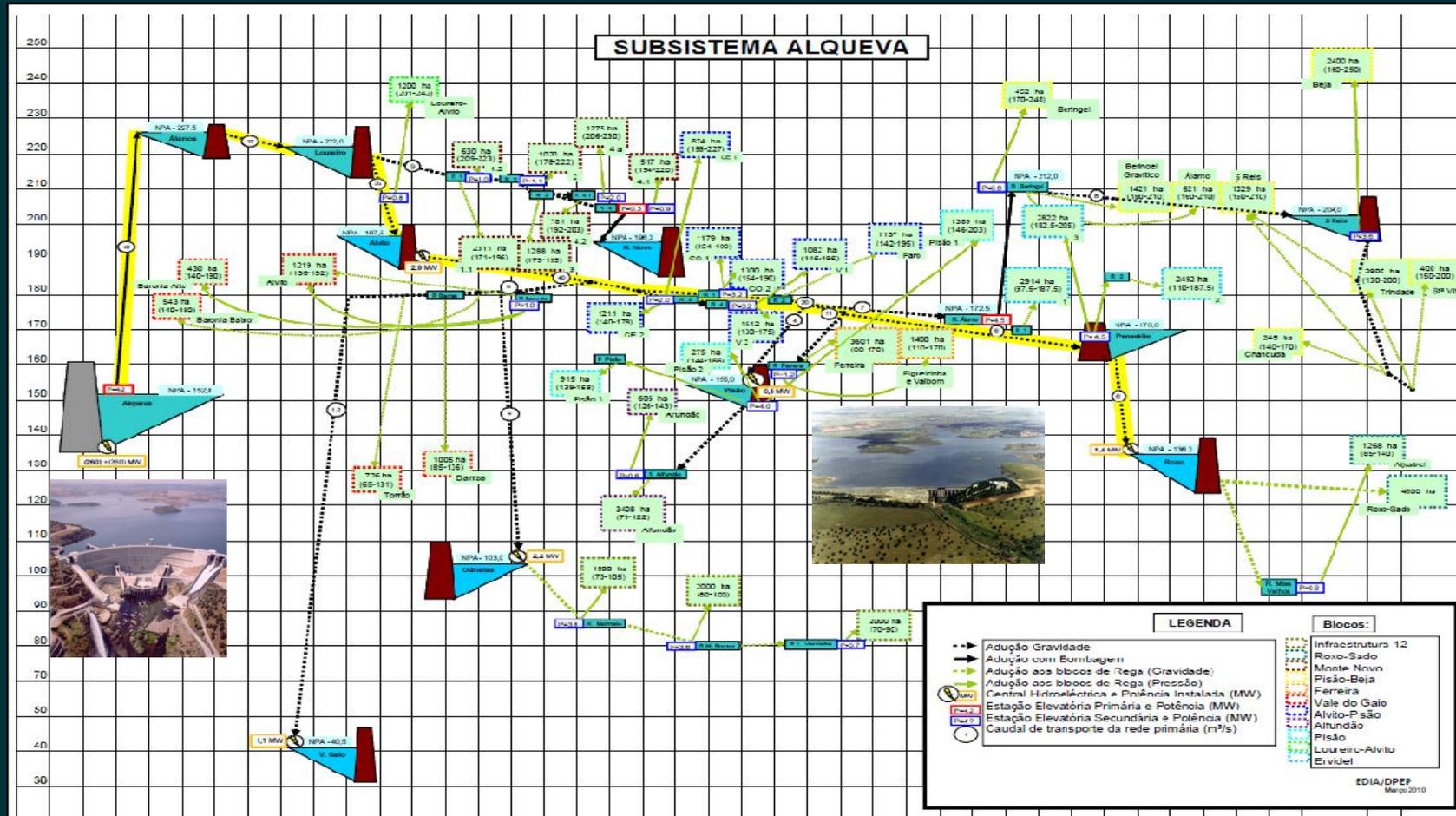
avançar

# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge



Distância da adução Alqueva - Roxo cerca 85 km

recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## A SUSTENTABILIDADE NO EFMA

### Acerca da solidariedade e do ordenamento do território

- pequena e grande propriedade
- alta e baixa pressão

### Acerca do ambiente e do património

### Acerca do desenvolvimento e da inovação

### Acerca da viabilidade técnico-económica

- custo de investimento inicial
- custo de manutenção e exploração
  - custos explícitos
- custos do m<sup>3</sup> de água

### Acerca do rigor e fiabilidade do projecto

### Acerca da qualidade e segurança das obras



recuar

avancar

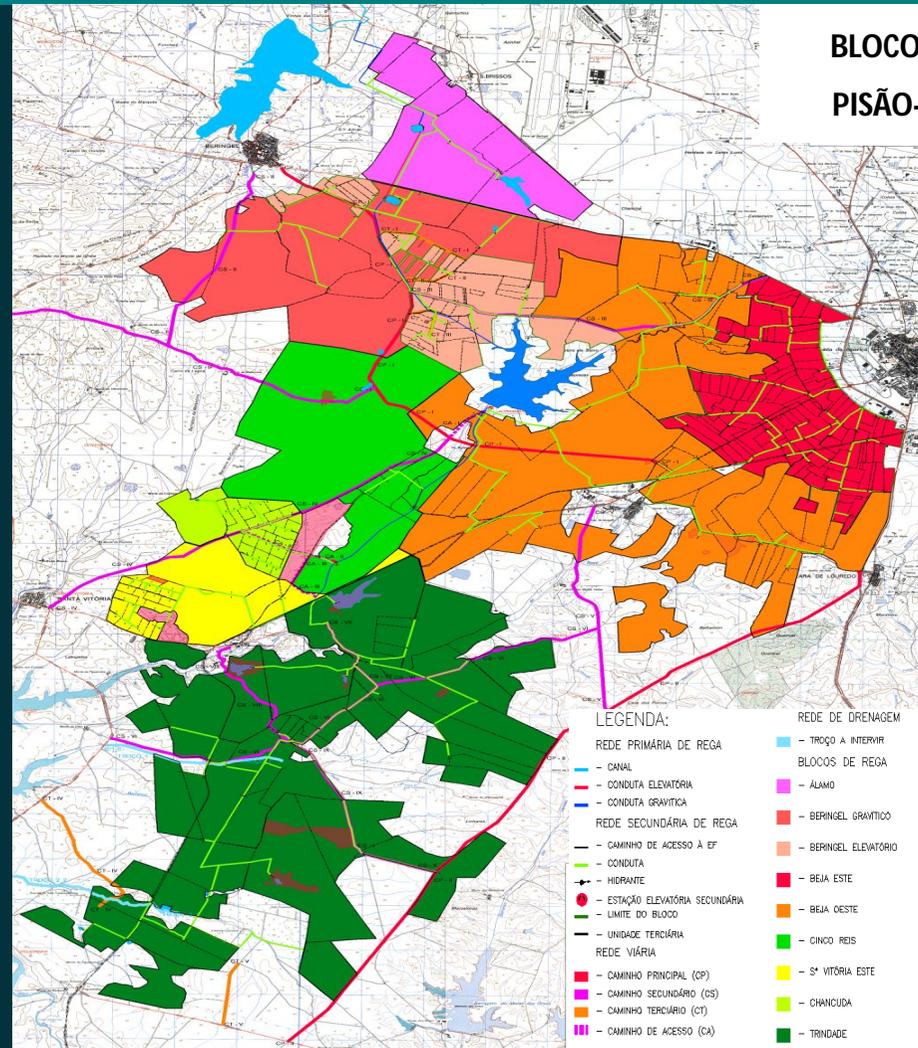
# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

## BLOCOS DE REGA DA LIGAÇÃO PISÃO-BEJA (ESTUDO PRÉVIO)



recuar

avançar

# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

Algumas definições fundamentais (RSB, 2007):

- i) Barragem - o conjunto formado pela estrutura de retenção, sua fundação, zona vizinha a jusante, órgãos de segurança e exploração e albufeira, com excepção dos diques fluviais e costeiros e ensecadeiras que não permaneçam para além do período de construção.
- ii) Albufeira - o volume de água retido pela barragem (conteúdo) ou terreno que circunda o mesmo volume (continente), ou ambos, devendo o sentido, em cada caso, ser deduzido do contexto.
- iii) Construção - a fase da vida da obra em que se executam os trabalhos projectados de acordo com normas visando a sua qualidade e, nomeadamente, as suas condições de segurança e bom desempenho;
- iv) Risco de acidente ou incidente - o produto dos danos potenciais pela probabilidade de ocorrência do acidente ou do incidente com eles relacionado;



recuar

avancar

# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010

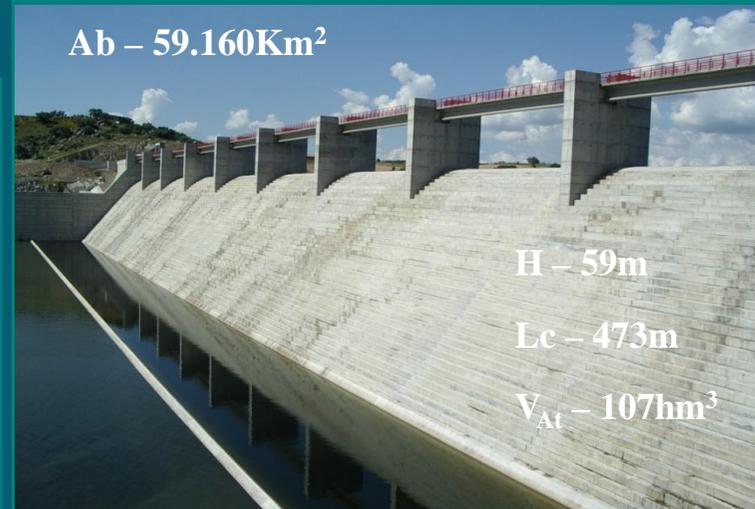


“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

Algumas definições fundamentais (RSB, 2007):

- v. Segurança (de uma barragem) – a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento relativas a aspectos estruturais, hidráulico -operacionais e ambientais, de modo a evitar a ocorrência de acidentes e incidentes ou minorar as suas consequências ao longo da vida da obra;
- vi. Segurança ambiental - a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento relativas à limitação de incidências prejudiciais sobre o ambiente, no que respeita designadamente à qualidade das águas, ao assoreamento da albufeira, evolução do leito a jusante e alteração dos níveis freáticos, e a aspectos ecológicos, climáticos, Paisagísticos, histórico - culturais e arqueológicos;
- vii. Segurança estrutural - a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento estrutural perante as acções e outras influências, associadas à construção e exploração e a ocorrências excepcionais;
- viii. Segurança hidráulico-operacional - a capacidade da barragem para satisfazer as exigências de comportamento hidráulico operacional dos órgãos de segurança e exploração, incluindo os respectivos equipamentos;



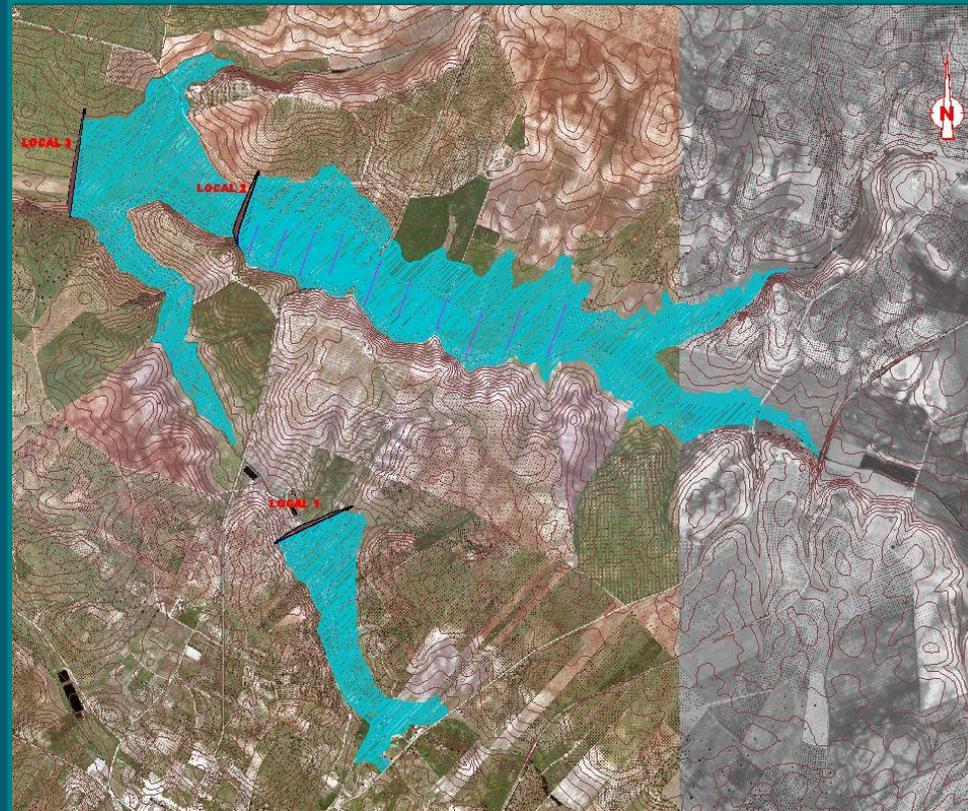
recuar

avancar

Vazquez, Jorge

### ESTUDOS INICIAIS (Programa Base e Estudo Prévio):

- A importância da escolha do local e da solução de barragem e ainda do seu “layout”.
- Os argumentos de base do problema: condições topográficas, geológico-geotécnicas hidrológicas, ambientais e patrimoniais;
- A integração da barragem no Aproveitamento.

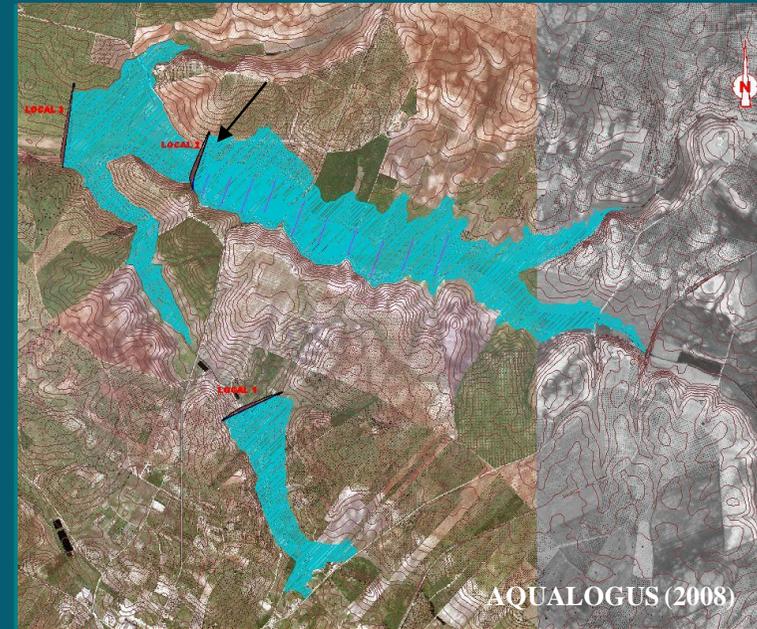
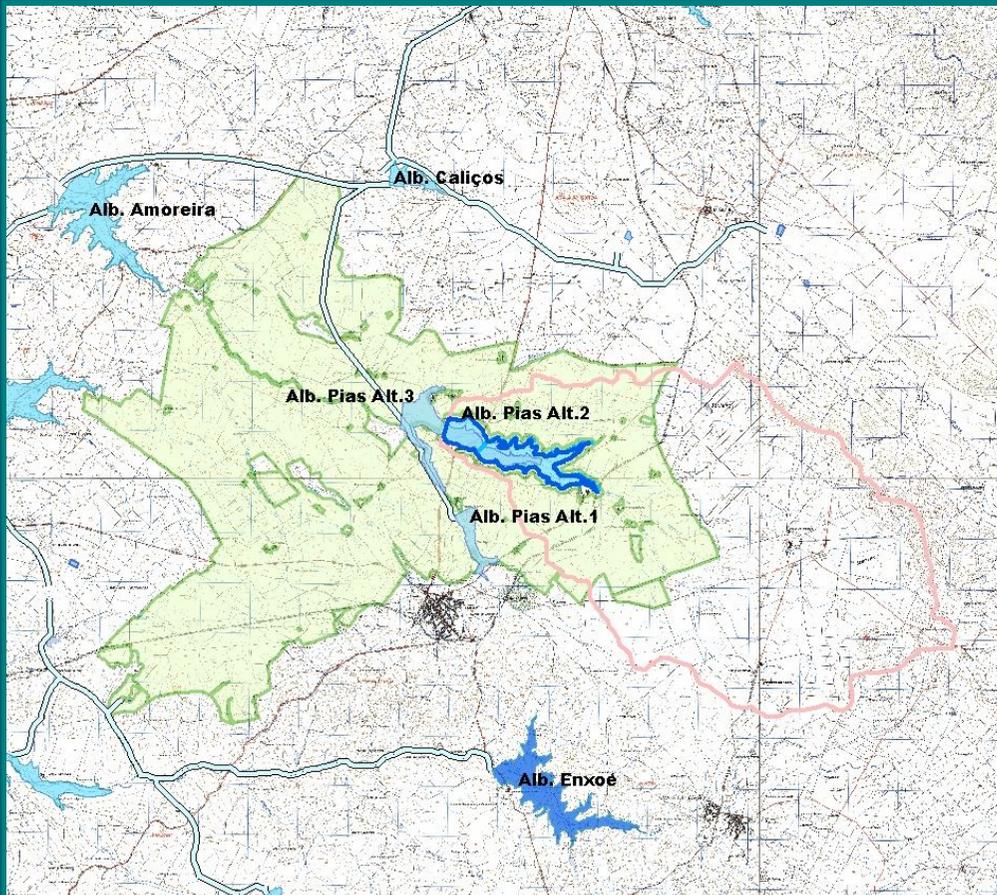


recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DO LOCAL DE BARRAGEM DE PIAS



No caso da Barragem de Pias, o local de barragem escolhido teve em conta sobretudo a integração no sistema, a maximização dos recursos hídricos e a minimização de problemas geotécnicos.

recuar

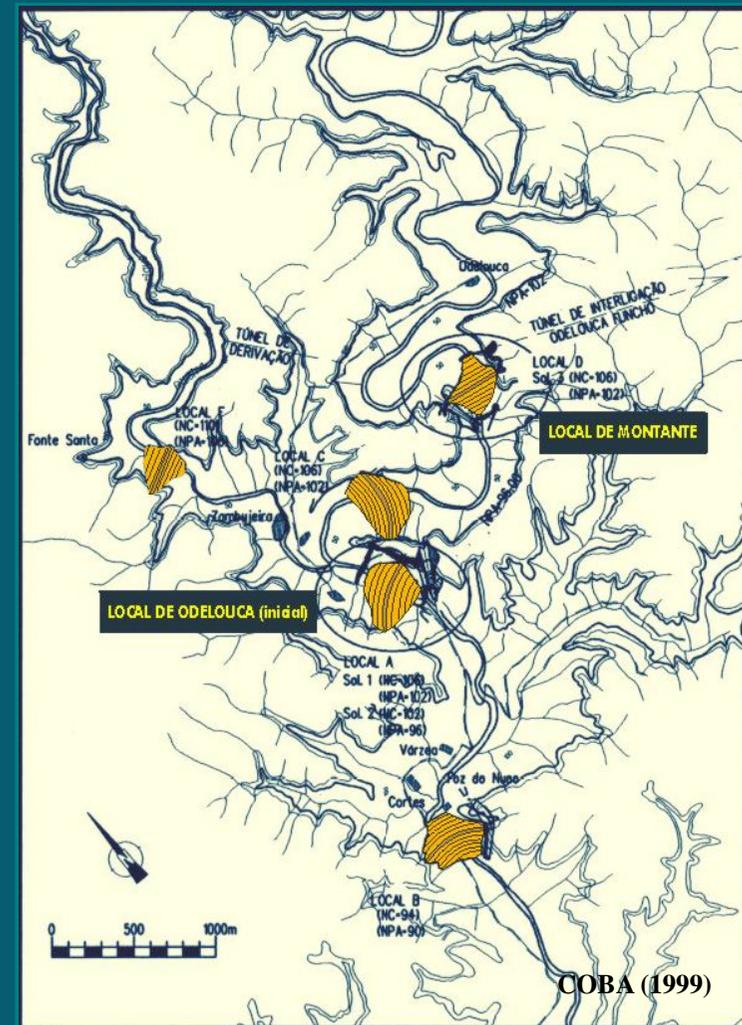
avancar

Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DO LOCAL DE BARRAGEM DE ODELOUCA



No caso da Barragem de Odelouca a solução escolhida foi a do eixo mais a montante, cerca de 1,5 Km a montante com a ribeira de Monchique que tem o grande interesse ambiental de não submergir o vale desta ribeira, preservando assim os habitats naturais respectivos – ainda que implicando perda de recursos hídricos e de volume armazenado relativamente ao eixo inicial - correspondendo a um local, à partida, com alguma incerteza no que se refere às condicionantes geotécnicas.



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM

### AS CONDICIONANTES:

- Geotécnicas
- Topográficas
- Hidrológicas e hidráulicas
- Ambientais

### A EXPERIÊNCIA E CONFIANÇA NUMA SOLUÇÃO

- Soluções “tradicionais”
- Solução em betão compactado

### O CASO DAS BARRAGENS DE:

- Funcho
- S. Domingos
- Sabugal
- Pinhosão
- Ribeiradio
- Figueiredo

recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM



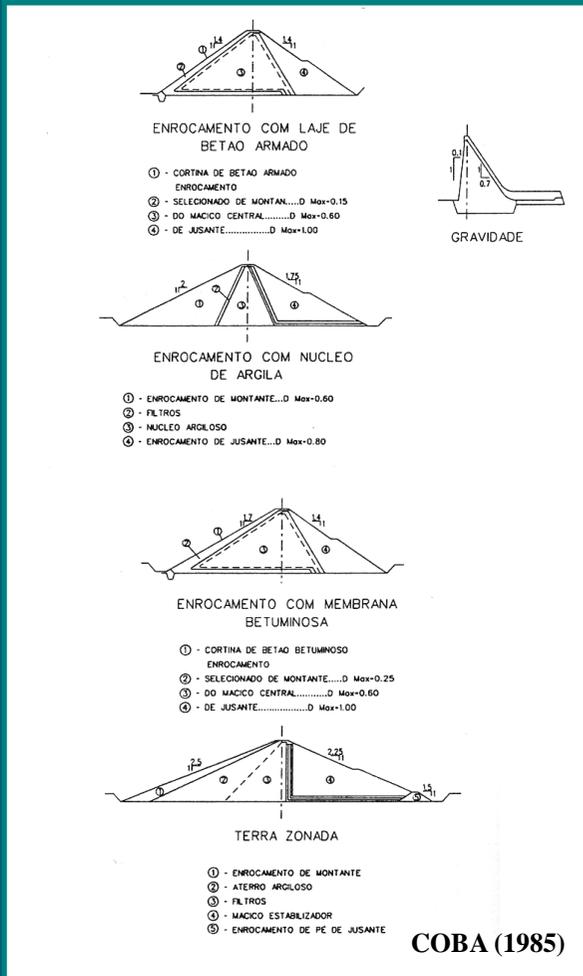
BARRAGEM DO  
FUNCHO (COBA)

recuar

avançar

Vazquez, Jorge

A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM



BARRAGEM DE S. DOMINGOS

recuar

avancar



Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM



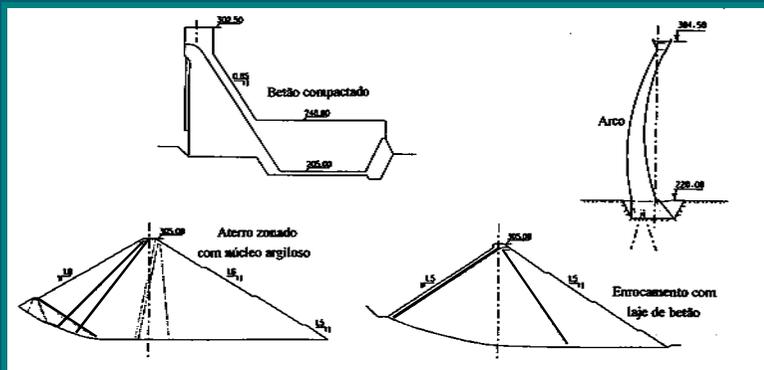
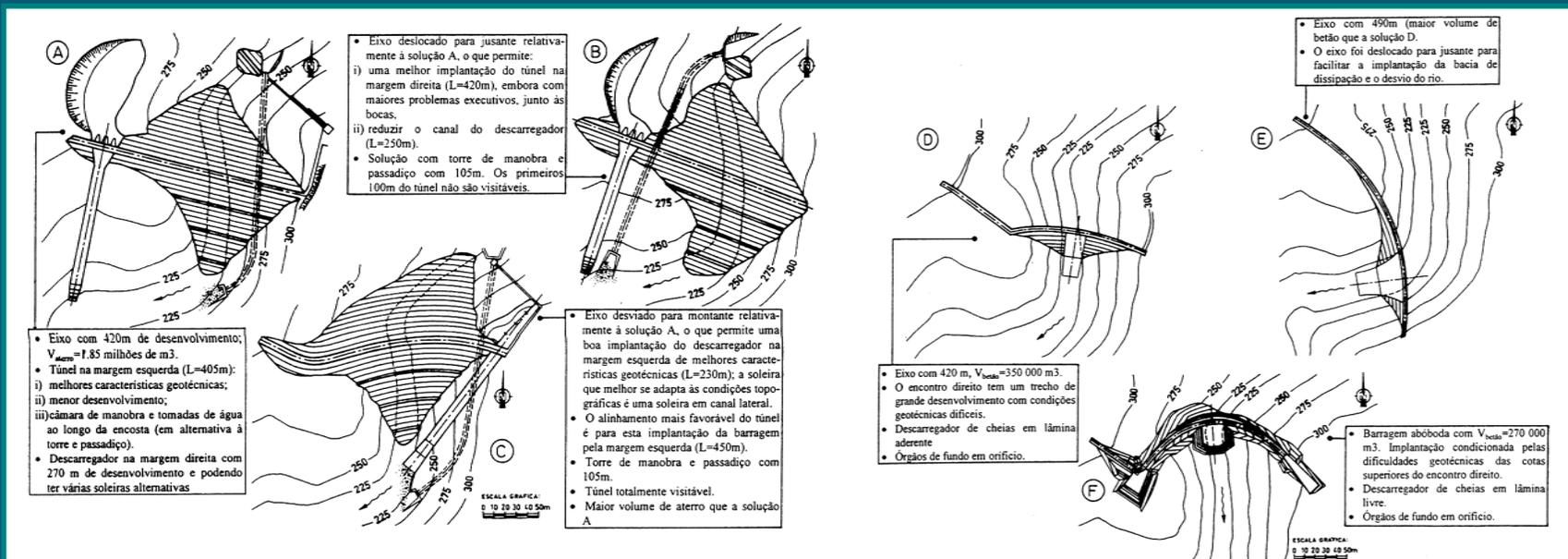
BARRAGEM DO  
SABUGAL (COBA)

recuar

avançar

Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM



COBA (1994)

BARRAGEM DO PINHOSÃO

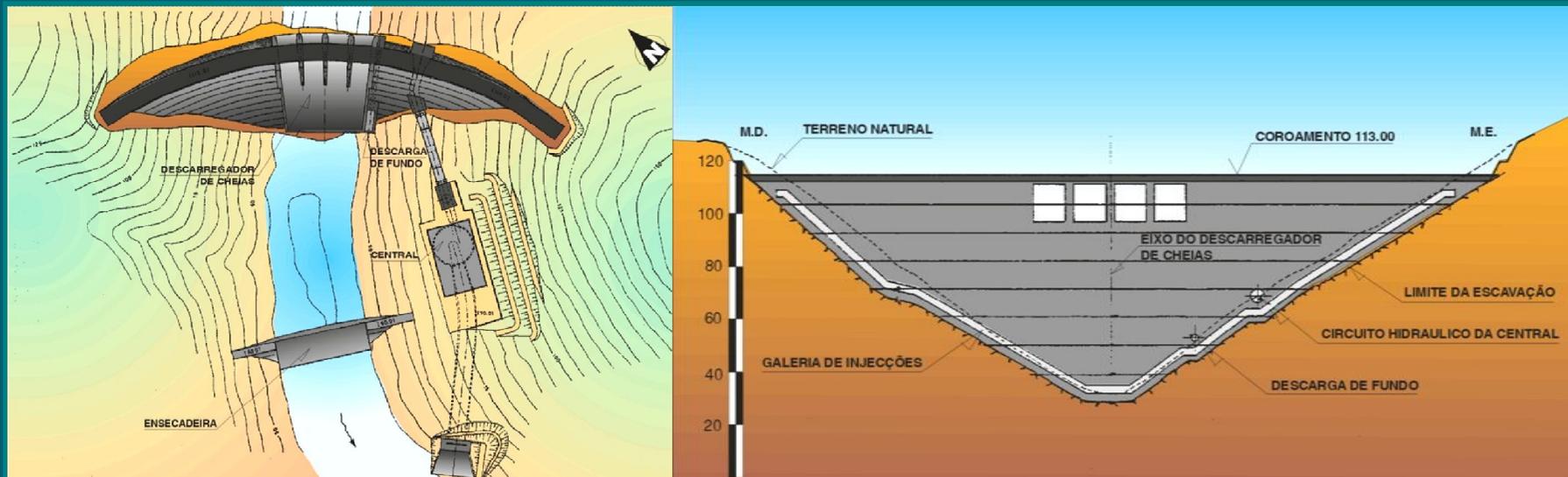
recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM

BARRAGEM DE  
RIBEIRADIO



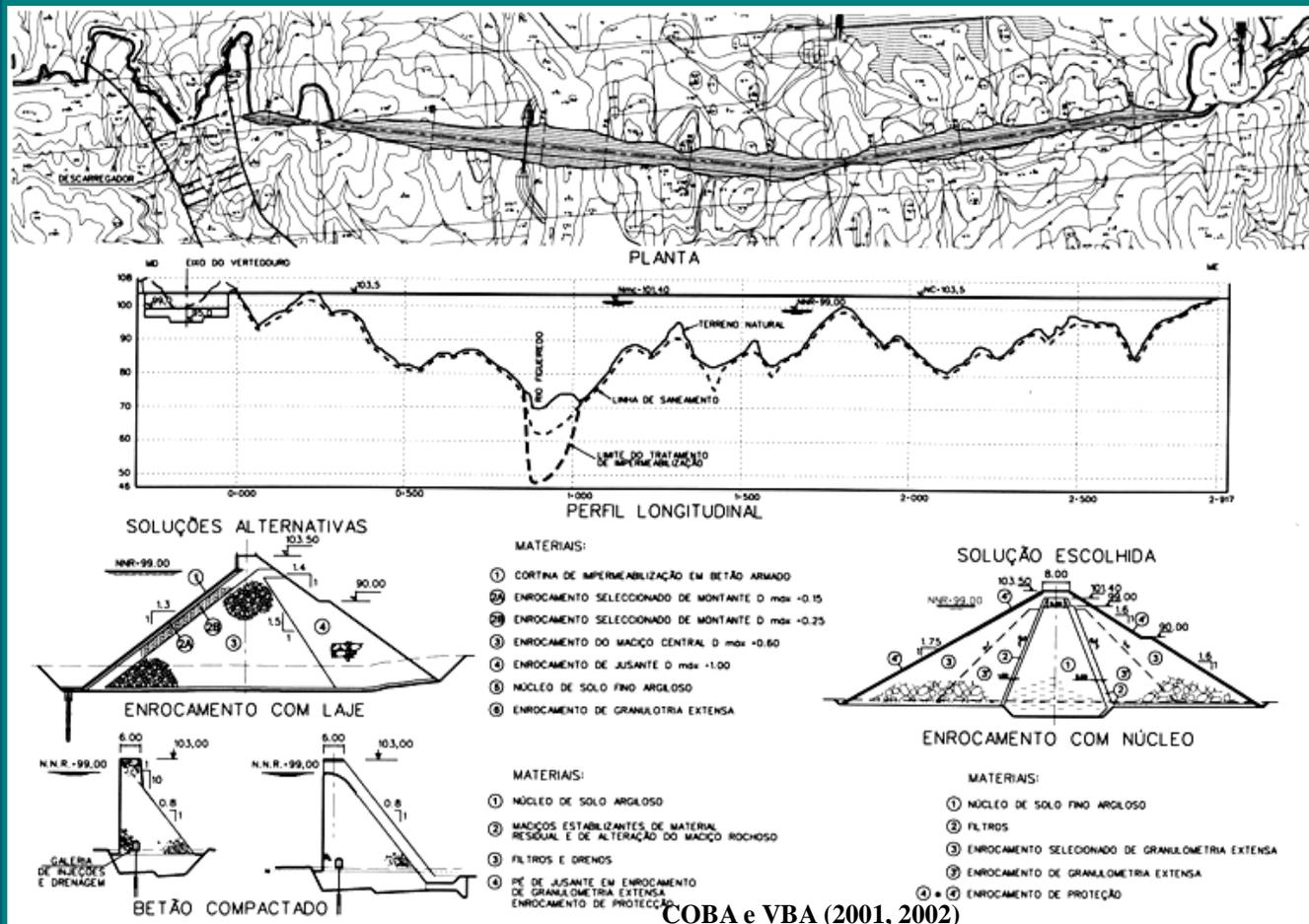
COBA (1995)

recuar

avancar

Vazquez, Jorge

A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM



BARRAGEM FIGUEIREDO

recuar

avancar

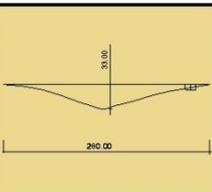
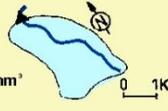
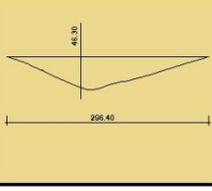
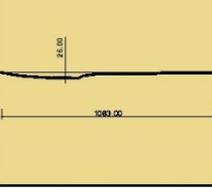
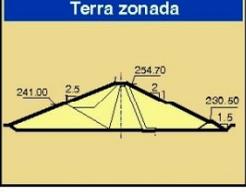
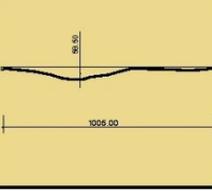
# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM

BARRAGEM E CONDICIONANTES HIDROLÓGICAS	VALE	CONDIÇÕES DE FUNDAÇÃO	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	DERIVAÇÃO	DESCARREGADOR DE CHEIAS	PERFIL TIPO ESCOLHIDO
<b>S. Domingos</b> (rib <sup>a</sup> de São Domingos) $V_a=7.85 \text{ hm}^3$ $P=556 \text{ mm}$ $V=3.9 \text{ hm}^3$ $A=40 \text{ km}^2$ 		Grés médio a grosseiro com intercalações de margas. Absorções elevadas até 10-30 m e também nalgumas zonas inferiores. W3-4 até 10 a 20 m.	Depósitos de terraço ( $d_{máx}=1 \text{ km}$ ) no núcleo e enrocamento calcário nos maciços ( $d_{máx}=4$ a 7 km).	$Q(50)=145.3 \text{ m}^3/\text{s}$ Galeria: construída a céu aberto; secção em ferradura $\phi$ 3.1 m, adaptada a t.a. e d.f.	$Q_a1000=224.4 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_e1000=114.4 \text{ m}^3/\text{s}$ Em superfície livre c/ soleira em labirinto, canal e bacia de dissipação por ressalto.	Enrocamento com núcleo argiloso 
<b>Apartadura</b> (rib <sup>a</sup> das reveladas) $V_a=7.47 \text{ hm}^3$ $P=838 \text{ mm}$ $V=2.8 \text{ hm}^3$ $A=8.8 \text{ km}^2$ 		Xistos argilosos, grafi-tosos e sericíticos, recortados por filões de quartzo e com zonas de esmagamento. Absorções elevadas até 10-30 m. W4-5 até 3 a 12 m.	Enrocamento calcário ( $d_{máx}=2 \text{ km}$ ). Não ocorriam materiais finos em zonas próximas	$Q(20)=36 \text{ m}^3/\text{s}$ Galeria: construída a céu aberto; secção em ferradura $\phi$ 3.0 m, adaptada a t.a. e d.f. Ensecadeira exterior à barragem	$Q_a1000=80 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_e1000=45 \text{ m}^3/\text{s}$ Em superfície livre c/ soleira em bico de pato, canal e bacia de dissipação por ressalto	Enrocamento com cortina betuminosa a montante 
<b>Abrilongo</b> (rib <sup>a</sup> do Abrilongo) $V_a=19.9 \text{ hm}^3$ $P=720 \text{ mm}$ $V=28 \text{ hm}^3$ $A=124 \text{ km}^2$ 		Xistos com gnaisses intercalados; absorções elevadas até 15 a 25 m. W4-5 até 5 a 10 m.	Solo residual dos xistos no núcleo e xisto ripável no maciço de montante ( $d_{máx}=2 \text{ km}$ ), depósitos de terraço na ensecadeira e maciço de jusante ( $d_{máx}=2 \text{ km}$ ).	$Q(20)=300 \text{ m}^3/\text{s}$ Galeria: construída a céu aberto; secção em ferradura $\phi$ 3.2 m, adaptada a t.a. e d.f. Ensecadeira: H=12.5 m	$Q_a1000=610 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_e1000=421.6 \text{ m}^3/\text{s}$ Em superfície livre c/ soleira em bico de pato, canal e bacia de dissipação por ressalto	Terra zonada 
<b>Sabugal</b> (rio Cóa) $V_a=114.3 \text{ hm}^3$ $P=1248 \text{ mm}$ $V=78 \text{ hm}^3$ 		Filádios com intercalações de metagrés e metagrauvaques. Absorções elevadas até 20 a 40 m e zonas conturbadas subverticais também de elevadas absorções.	Solo residual dos xistos no núcleo, xistos ripáveis nos maciços ( $d_{máx}=1.5 \text{ km}$ ) e enrocamento granítico na zona exterior do maciço de mont. ( $d_{máx}=2 \text{ km}$ ).	$Q(20)=377 \text{ m}^3/\text{s}$ Galeria: construída a céu aberto; secção em ferradura $\phi$ 4.0 m, adaptada a t.a. e d.f. Ensecadeira: H=24 m	$Q_a1000=569 \text{ m}^3/\text{s}$ $Q_e1000=182 \text{ m}^3/\text{s}$ Em superfície livre c/ soleira lateral, canal e bacia de dissipação por ressalto.	Terra zonada 

Vazquez e Pimenta (1997)

recuar

avancar



Vazquez, Jorge

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM

### FACTORES DE DECISÃO PELA NEGATIVA

- as limitações de uma solução em betão convencional ou em BCC quando a fundação é precária;
- as dificuldades de viabilização de uma solução em aterro num local em que os caudais de derivação e de cheia de projecto são muito elevados;
- a fragilidade das soluções em enrocamento com laje em betão ou em betuminoso no paramento de montante aos comportamentos diferenciais da fundação;

recuar

avançar

## A ESCOLHA DA SOLUÇÃO DE BARRAGEM

### FACTORES DE DECISÃO PELA POSITIVA

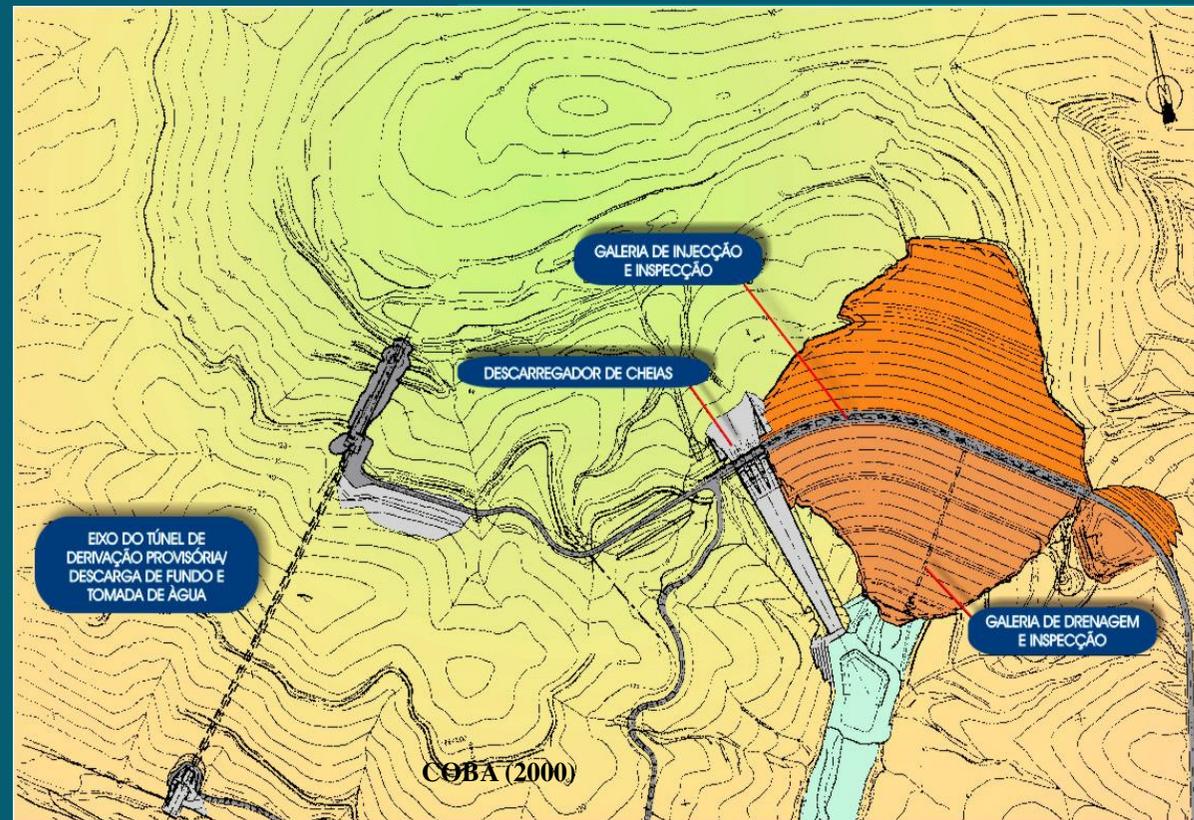
- a adequabilidade de uma solução em betão para minimizar os problemas de locais de barragem com caudais de cheia muito importantes e para a sua implantação em vales estreitos e de boas condições geotécnicas;
- a adequabilidade de uma solução de aterro para situações correntes em que as fundações são vulgares ou inferiores mas em que existem materiais finos disponíveis na albufeira ou nas proximidades, não sendo os caudais de dimensionamento exageradamente grandes;
- não existindo materiais finos a distâncias viáveis, constata-se a boa prestação de soluções em enrocamento de granulometria extensa com cortina no paramento de montante, nos casos em que há pedreiras perto, de qualidade aceitável, e as condições de fundação do plinto são adequadas, possibilitando ainda esta solução ritmos de construção elevados e contínuos;
- nas condições anteriores e em caso de condições hidrológicas e meteorológicas muito adversas, com prazos de obra muito exigentes, uma solução em betão compactado está particularmente bem vocacionada para o problema.

Vazquez, Jorge

### Definição do Layout

Ponderação das particularidades topográficas, geológico geotécnicas e hidrológicas do local na integração do corpo da barragem com as suas estruturas hidráulicas anexas.

No caso da Barragem de Odelouca, a meandrização do rio condicionou o arranjo geral das infra-estruturas, assim como o vale relativamente fechado e os caudais elevados em presença.



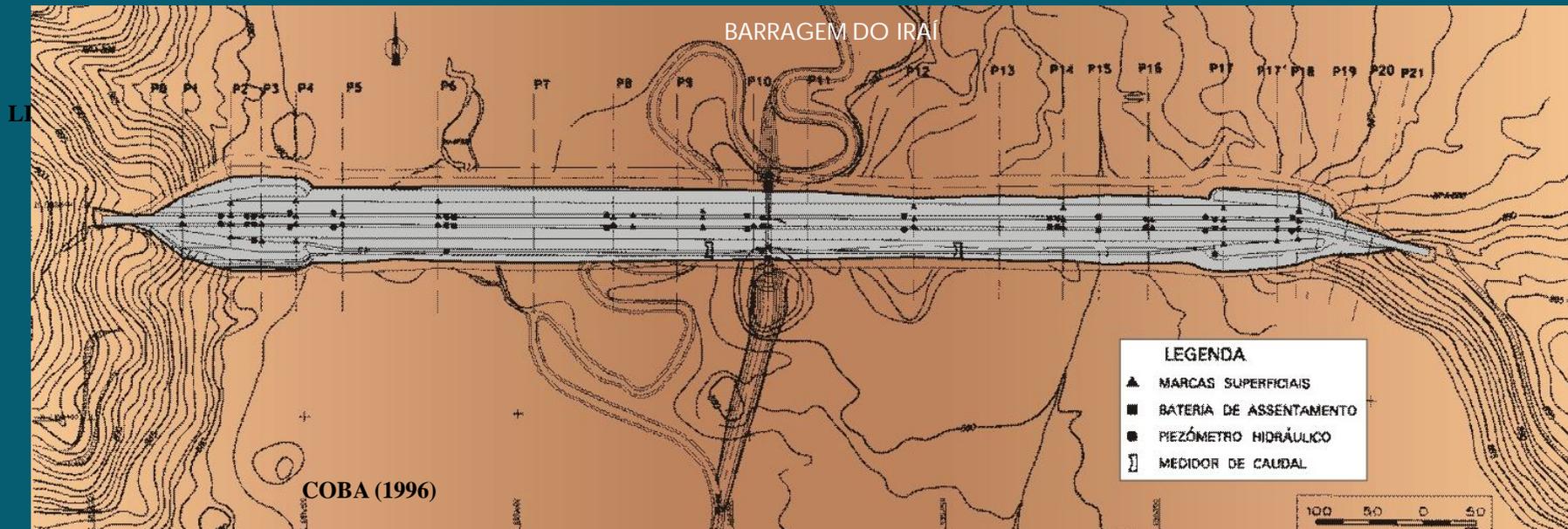
recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## Definição do Layout

O programa de reconhecimento complementar permitiu uma optimização de: i) manchas de empréstimo e modo de colocação dos materiais; ii) implantação da barragem e das suas obras hidráulicas anexas; iii) modo de derivação do rio; iv) saneamento e tratamento da fundação.



recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DO IRAÍ (COBA, 1996)



recuar

avançar

### **ESTUDOS DE PORMENORIZAÇÃO (Projecto, Projecto de Execução)**

- **Normas de Projecto de Barragens (93), Regulamento de Segurança de Barragens (2007), Normas de Observação e Inspeção de Barragens (93), Normas de Construção de Barragens (98), Documentação da CIGB.**
- **Breve reflexão sobre registos históricos de roturas e acidentes.**
- **O desenvolvimento e pormenorização dos estudos. O acto criativo, a sua definição em Desenho, a sua descrição e justificação em Memória (o caso da barragem de Brinches) e a sua especificação técnica e construtiva em Caderno de Encargos.**
- **Peças Escritas e Desenhadas de um Projecto de Execução (O exemplo da Barragem de Serpa).**
- **A equipa de Projecto. O papel do Dono de Obra. A validação e revisão do Projecto.**

Vazquez, Jorge

A passagem a suporte informático do registo mundial de barragens da CIGB fundamentou a análise estatística dos casos de rotura<sup>[1]</sup> registados, trabalho que viria a ser publicado no boletim 99, “Dam Failure Estatistical Analysis” (CIGB, 1995a).

#### Principais conclusões deste trabalho

1. A percentagem de roturas de grandes barragens tem vindo a decrescer, registando-se 2,2% de roturas em barragens construídas até 1950 e menos de 0,5% em barragens construídas posteriormente.
2. A percentagem de roturas por classes de altura não varia significativamente.
3. 70% das roturas ocorreram em barragens com idades até 10 anos.
4. Os estados limite últimos mais frequentes do corpo de barragens de aterro são, por ordem de importância, a erosão externa por galgamento, a erosão interna e a perda de integridade por materialização de um estado limite na fundação.
  1. A erosão externa por galgamento tem como causa mais comum a insuficiente capacidade de evacuação do descarregador de cheias.
  2. Após ocorrência de rotura, a medida mais frequentemente tomada foi o abandono da estrutura (em 36% dos casos).

[1] O boletim 99 (CIGB, 1995a) classifica como rotura as ocorrências conformes com a seguinte definição: colapso ou movimento de parte da barragem ou da sua fundação impossibilitando a obra de reter água; duma maneira geral, a rotura resulta na libertação de grandes quantidades de água armazenada com subsequentes consequências, para pessoas e bens, no vale a jusante.

recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

**Frequência anual média de rotura (Baecher et al., 1980, citados em Viseu, 2006).**

LOCALIZAÇÃO	TOTAL DE ROTURAS	TOTAL DE BARRAGENS	PERÍODO (anos)	FREQUÊNCIA ANUAL DE ROTURA
Estados Unidos <sup>(1)</sup>	33	1764	40	$4,7 \times 10^{-4}$
	12	3100	14	$2,8 \times 10^{-4}$
	74	4914	23	$6,5 \times 10^{-4}$
	125	7500	40	$4,2 \times 10^{-4}$
Espanha	150	1620	145	$6,4 \times 10^{-4}$
Resto do mundo	9	7833	5	$2,3 \times 10^{-4}$

Frequência anual média de rotura por tipo de barragem (Hirschbberg et al., 1996, citados em Viseu, 2006).

(1) – Vários autores

TIPO DE BARRAGEM	FREQUÊNCIA ANUAL DE ROTURA
Terra	$1,9 \times 10^{-4}$
Enrocamento	$1,8 \times 10^{-4}$
Contrafortes	$1,2 \times 10^{-4}$
Betão gravidade	$1,6 \times 10^{-5}$
Abóbada	$4,5 \times 10^{-5}$

recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

Dados estatísticos sobre as barragens de aterro construídas até 1983, excluindo as barragens da China e as barragens do Japão anteriores a 1930 (Foster et al., 2000).

ESTADO LIMITE ÚLTIMO	Nº DE ROTURAS		% DE ROTURAS		FREQUÊNCIA MÉDIA DE ROTURA (X10 <sup>-3</sup> )	
	Totalidade das roturas	Roturas na fase de exploração	Totalidade das roturas	Roturas na fase de exploração	Totalidade das roturas	Roturas na fase de exploração
<b>Erosão externa por galgamento e rotura do descarregador de cheias</b>						
Erosão externa por galgamento	46	40	35,90	34,20	4,10	3,60
Rotura de descarregadores de cheias controlados	16	15	12,50	12,80	1,40	1,30
<i>Subtotal</i>	62	55	48,40	47,00	5,50	4,90
<b>Erosão interna</b>						
Através do aterro	39	38	30,50	32,50	3,50	3,40
Através da fundação	19	18	14,80	15,40	1,70	1,60
Do aterro para a fundação	2	2	1,60	1,70	0,18	0,18
<i>Subtotal</i>	59	57	46,10	48,70	5,30	5,10
<b>Perda de estabilidade global</b>						
Talude de jusante	6	4	4,70	3,40	0,54	0,36
Talude de montante	1	1	0,80	0,90	0,09	0,09
<i>Subtotal</i>	7	5	5,50	4,30	0,63	0,45
<b>Liquefacção (sísmica)</b>	2	2	1,60	1,70	0,18	0,18
<b>Desconhecido</b>	8	7				
<b>Total</b>	136	124			12,15	11,13
<b>Total, excluindo os estados limites desconhecidos</b>	128	117			11,44	10,50
<b>N. de barragens de aterro</b>	11192	11146				

Algumas roturas foram classificadas com mais do que um estado limite, pelo que os totais e subtotais podem não corresponder exactamente à soma das parcelas

recuar

avancar

## **INDICE DA MEMÓRIA GERAL DE UM PROJECTO (BARRAGEM DE BRINCHES; COBA, 2004)**

### **1 – INTRODUÇÃO**

### **2 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA OBRA**

### **3 -ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

### **4 - CONSIDERAÇÕES GEOLÓGICAS-GEOTÉCNICAS**

### **5 - ESTUDOS SISMOLÓGICOS**

**6 – BARRAGEM —IMPLANTAÇÃO; PERFIL-TIPO; FOLGA E LARGURA DO COROAMENTO; SANEAMENTO; ESTABILIDADE MECÂNICA DA BARRAGEM; PERCOLAÇÃO DA BARRAGEM; ESTUDOS DE TENSÕES-DEFORMAÇÕES.**

**7 -ÓRGÃOS HIDRÁULICOS - DERIVAÇÃO PROVISÓRIA; TOMADA DE ÁGUA E DESCARGA DE FUNDO; DESCARREGADOR DE CHEIAS E CANAL DE RESTITUIÇÃO**

Vazquez, Jorge

**INDICE DA MEMÓRIA GERAL DE UM PROJECTO (BARRAGEM DE BRINCHES; COBA, 2004)**

**8 – ESTUDOS ESTRUTURAIS - DESCRIÇÃO E DIMENSIONAMENTO; MATERIAIS E CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO**

**9 - EQUIPAMENTO HIDROMECAÂNICO - TOMADA DE ÁGUA; DESCARGA DE FUNDO; CIRCUITO COMUM; EQUIPAMENTO AUXILIAR**

**10 -INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS E SISTEMA DE COMANDO E SINALIZAÇÃO - P.T.; QUADRO GERAL DA BARRAGEM; ILUMINAÇÃO E TOMADAS DO EDIFÍCIO DE COMANDO; GRUPO DIESEL DE EMERGÊNCIA; ILUMINAÇÃO DO COROAMENTO E DO PARAMENTO DE JUSANTE; INSTALAÇÃO ELÉCTRICA DA T.M. E DA C.M. DE JUSANTE; REDE DE TERRAS; PROTECÇÕES; COMANDO E SINALIZAÇÃO À DISTÂNCIA**

**11- NORMAS GERAIS DE EXPLORAÇÃO E DE UTILIZAÇÃO DOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA**

**12 - REVESTIMENTO VEGETAL**

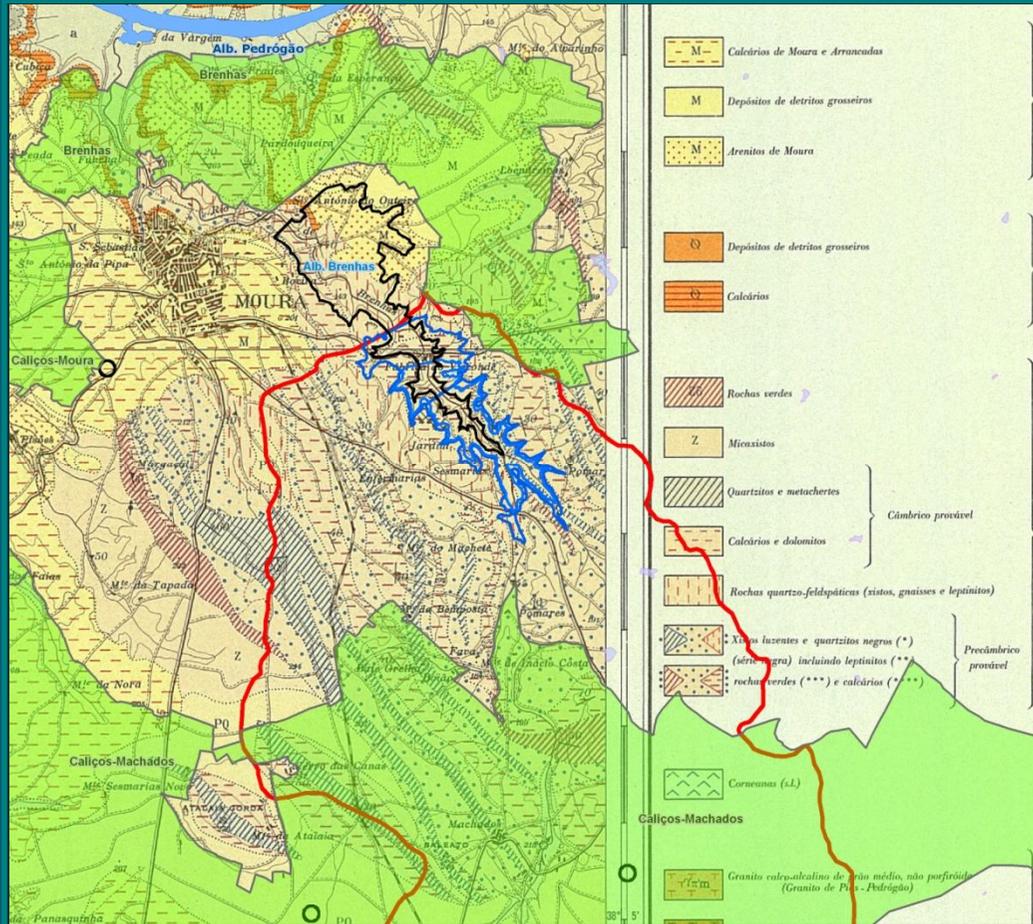
**13 – MEDIÇÕES**

**14 -PROGRAMA DE TRABALHOS - DESVIO DO RIO; DEFINIÇÃO DO PROGRAMA DE TRABALHOS; CONCLUSÕES (DATAS-CHAVE); LISTAGEM E ORDENAMENTO DAS PRINCIPAIS TAREFAS**

recuar

avancar

Vazquez, Jorge



O caso da Barragem de Brenhas é paradigmático da influencia das condicionantes hidrogeológicas na abordagem dos recursos hídricos de uma bacia e na discussão e pormenorização do local e da solução de barragem, sendo que os estudos hidrológicos ( e naturalmente os geotécnicos) terão que ponderar devidamente estes aspectos, que no caso em equação são claramente decisivos na resposta às questões:

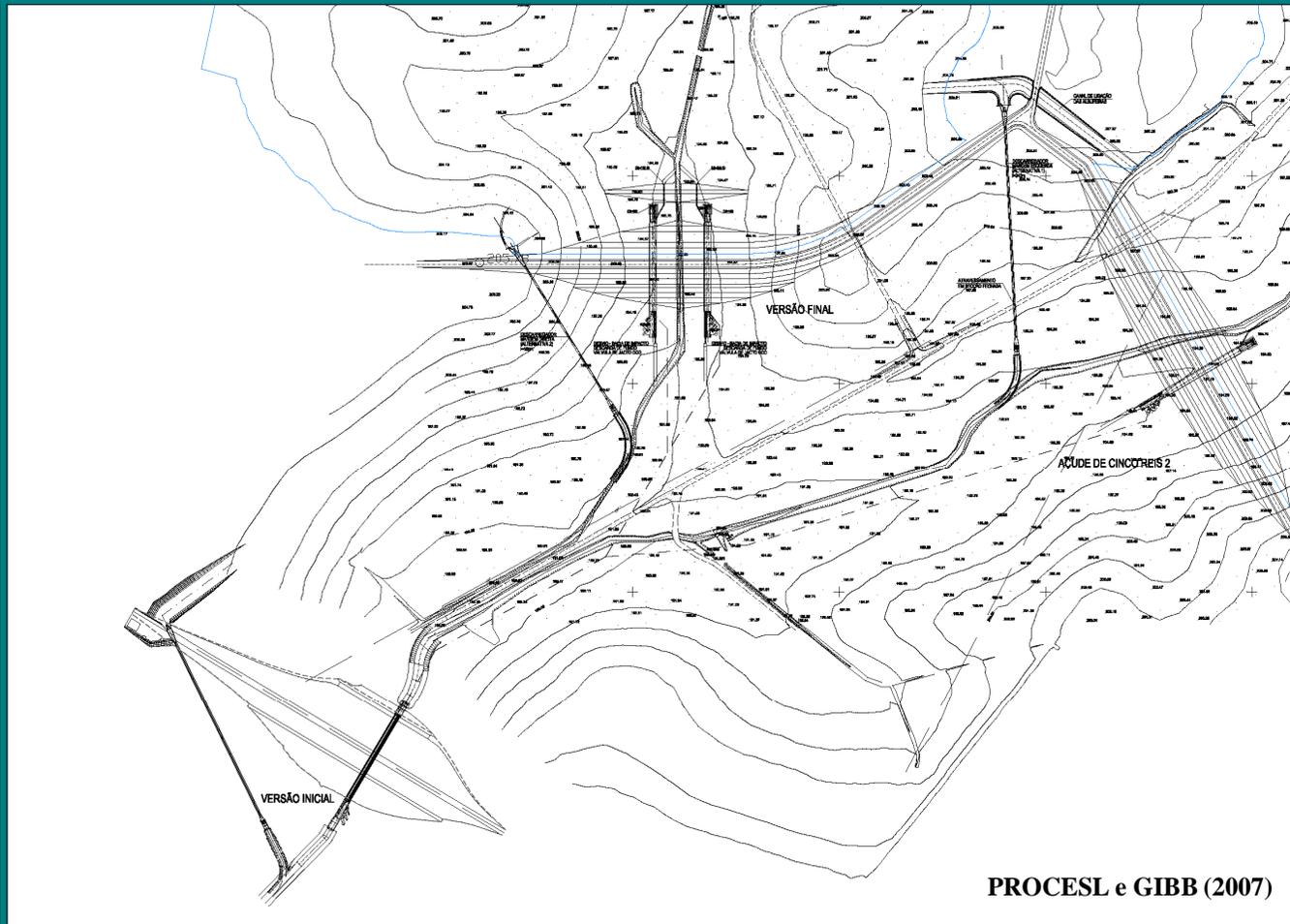
- Quais os recursos hídricos de superfície da bacia ?
- a albufeiras têm condições de estanquidade mínimas ?
- As perdas na secção da barragem são aceitáveis ?
- As afectações ambientais e designadamente do aquifero são aceitáveis e/ou controláveis ?
- A implementação da barragem é viável?

recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE CINCO REIS



No caso da barragem de Cinco Reis, a informação obtida do programa de reconhecimento inicial levantou sérias dúvidas que levaram à realização de trabalhos complementares e, posteriormente, à procura do novo local de barragem que fosse ainda compatível com a sua integração no aproveitamento (Circuito hidráulico Pisão-Beja).

recuar

avancar

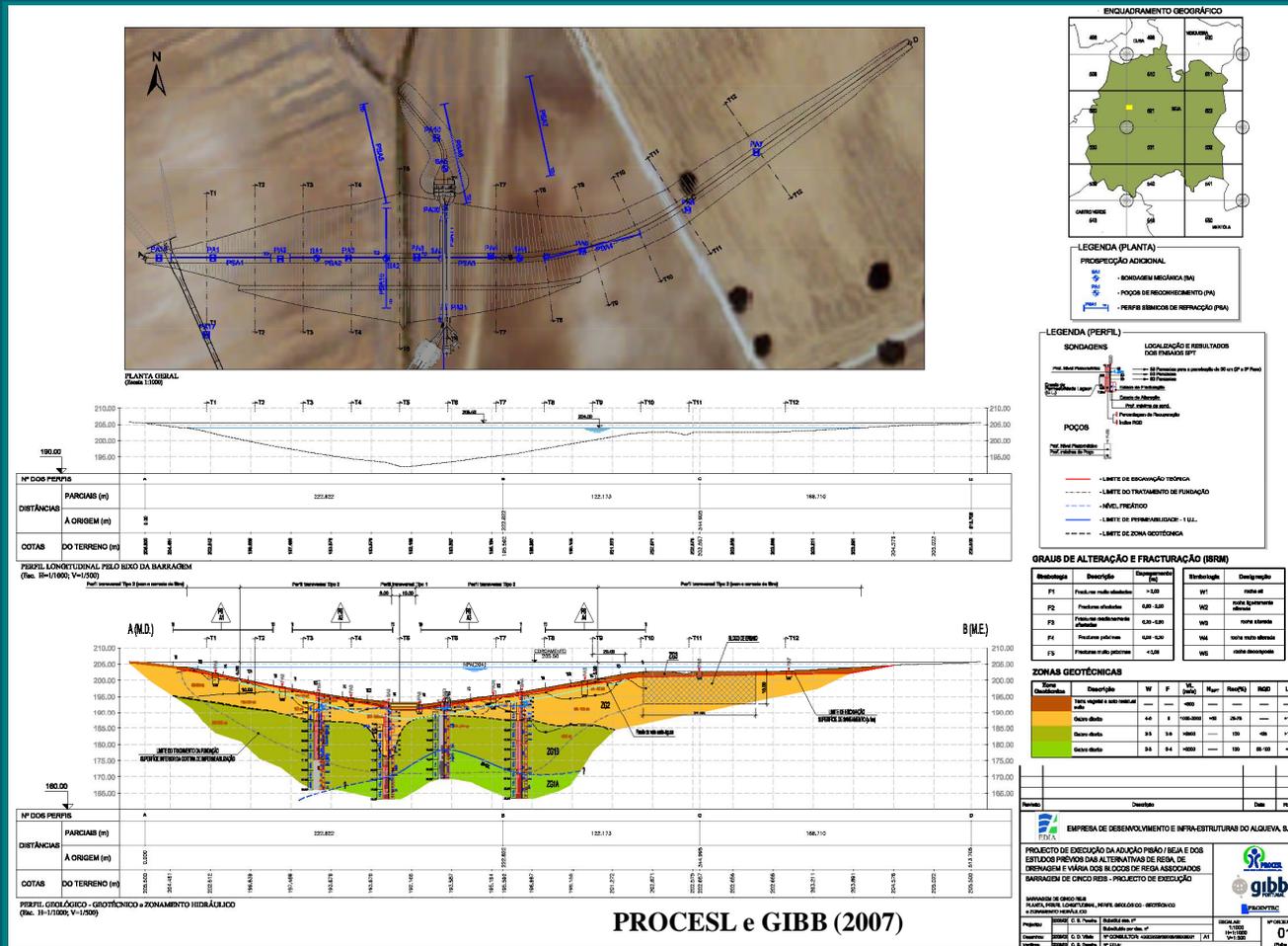
# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE CINCO REIS - local escolhido



Este local, situado num afluente (Barranco do Curral) da linha de água principal, embora com bem menor área de bacia é claramente mais favorável do ponto de vista geotécnico e bem menos impactante em termos ambientais e patrimoniais, mantendo-se a sua fácil integração no aproveitamento.

recuar

avancar

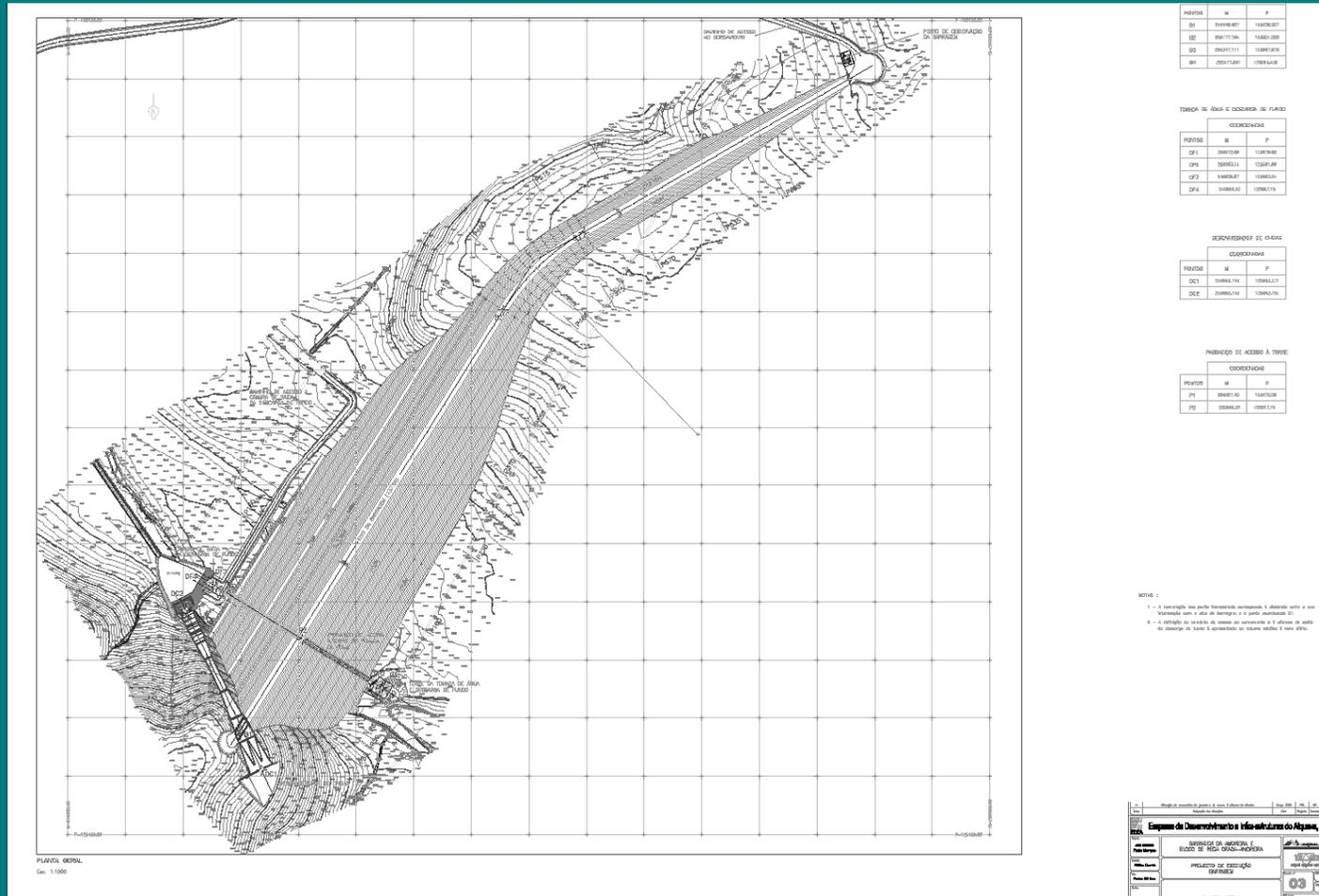
# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DA AMOREIRA (AQUALOGUS e TETRAPLANO (2005)



recuar

avancar

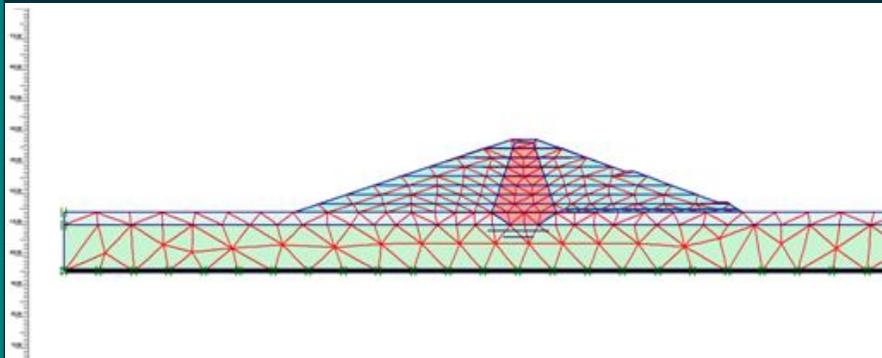


Vazquez, Jorge

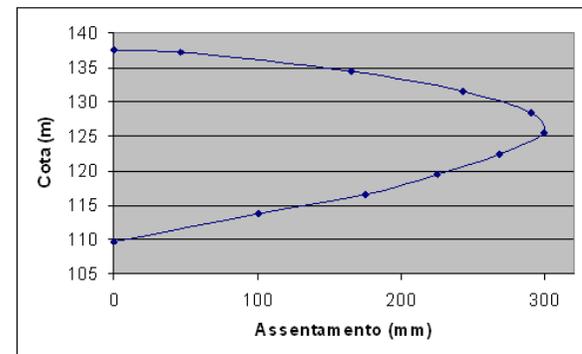
**BARRAGEM DA AMOREIRA (AQUALOGUS e TETRAPLANO, 2005)**

**Parâmetros utilizados para os cálculos**

Material	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (kPa)	E (MPa)	$\nu$ (-)	$k_x$ (m/s)	$k_y$ (m/s)
Fundação até 5 m de profundidade (aluvionares)	19	20	25	20	15	0,3	$10^{-5}$	$10^{-5}$
Fundação a partir de 5 m de profundidade (substrato resistente)	23	24	40	40	100	0,3	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Núcleo e vala corta-águas	19	20	10	20	10	0,35	$5 \cdot 10^{-8}$	$10^{-8}$
Maçiços estabilizadores	20	21	0	3	16	0,28	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-7}$



Malha de elementos finitos utilizada nos cálculos de consolidação.



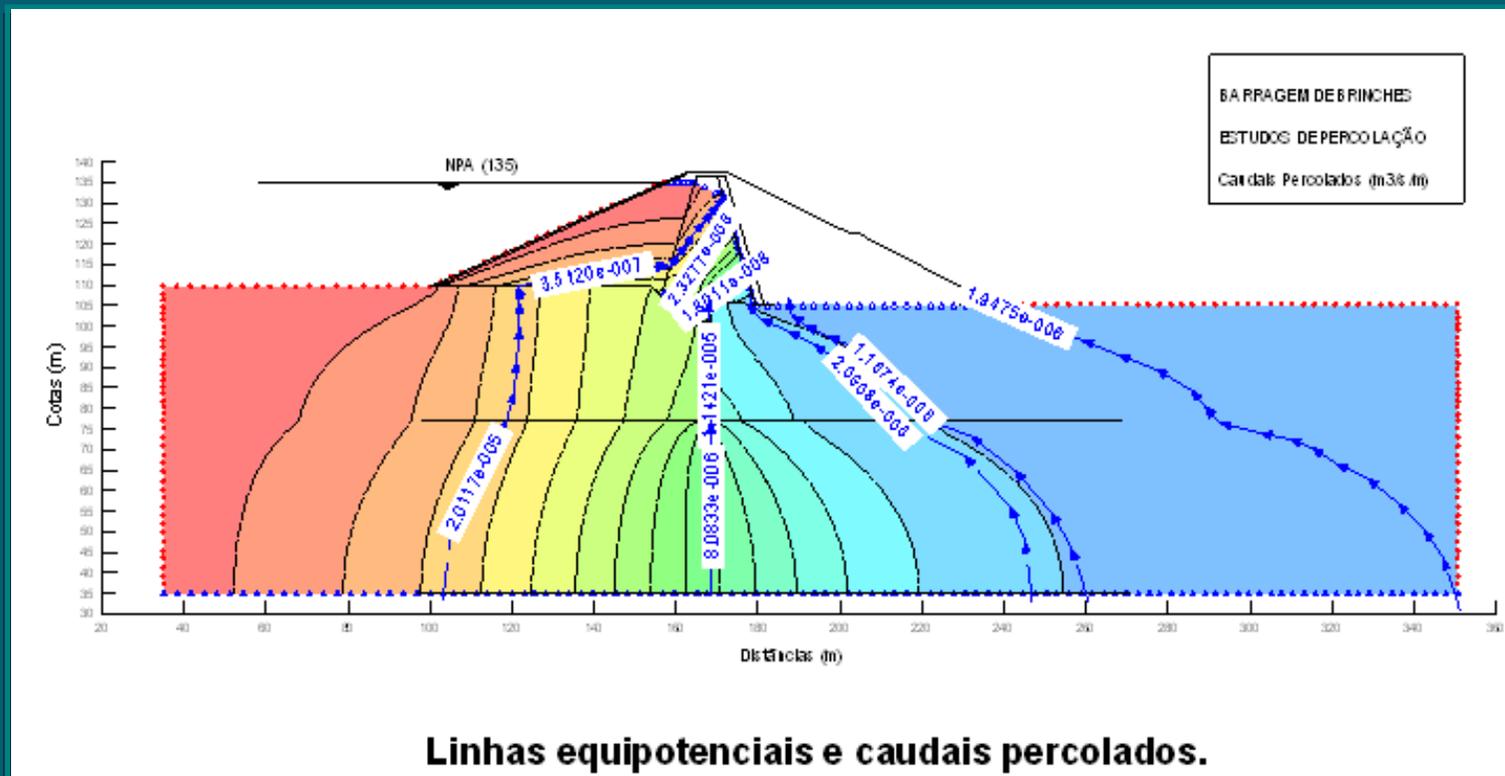
Deslocamento previsto ao longo do corpo da barragem e da fundação.

recuar

avancar

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DE BRINCHES (COBA, 2004)

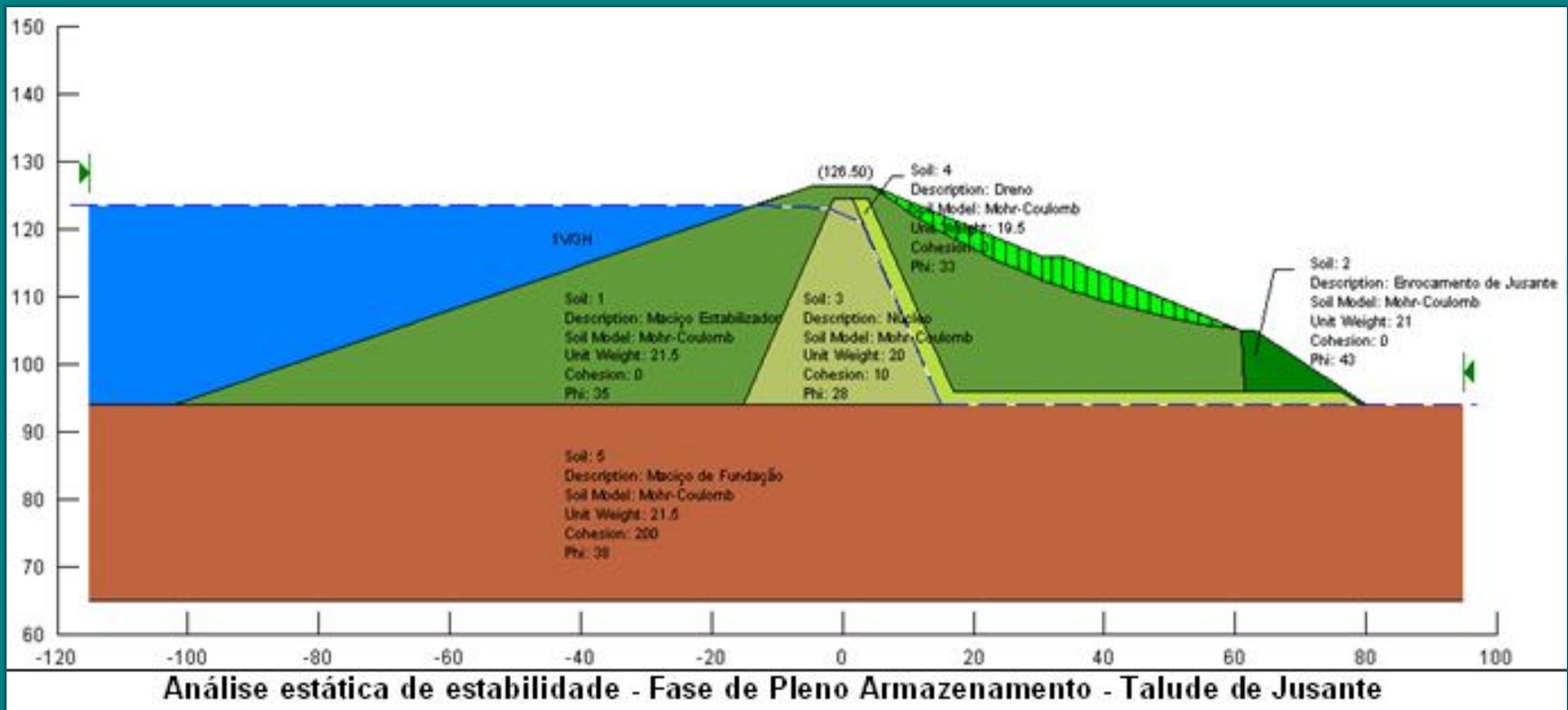


recuar

avancar

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DE SERPA (PROSISTEMAS, 2005)

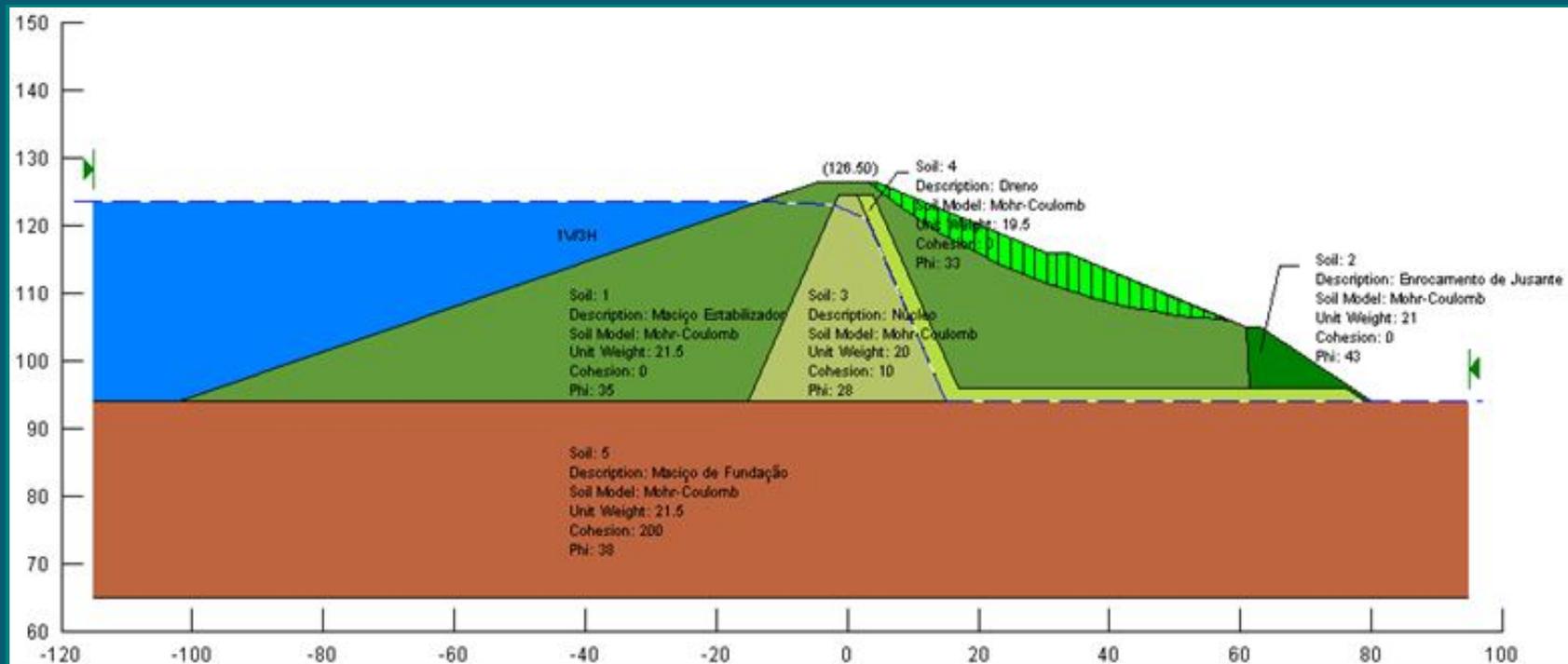


recuar

avanzar

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DE SERPA (PROSISTEMAS, 2005)



Análise pseudo - estática de estabilidade - Fase de Pleno Armazenamento - Talude de Jusante

recuar

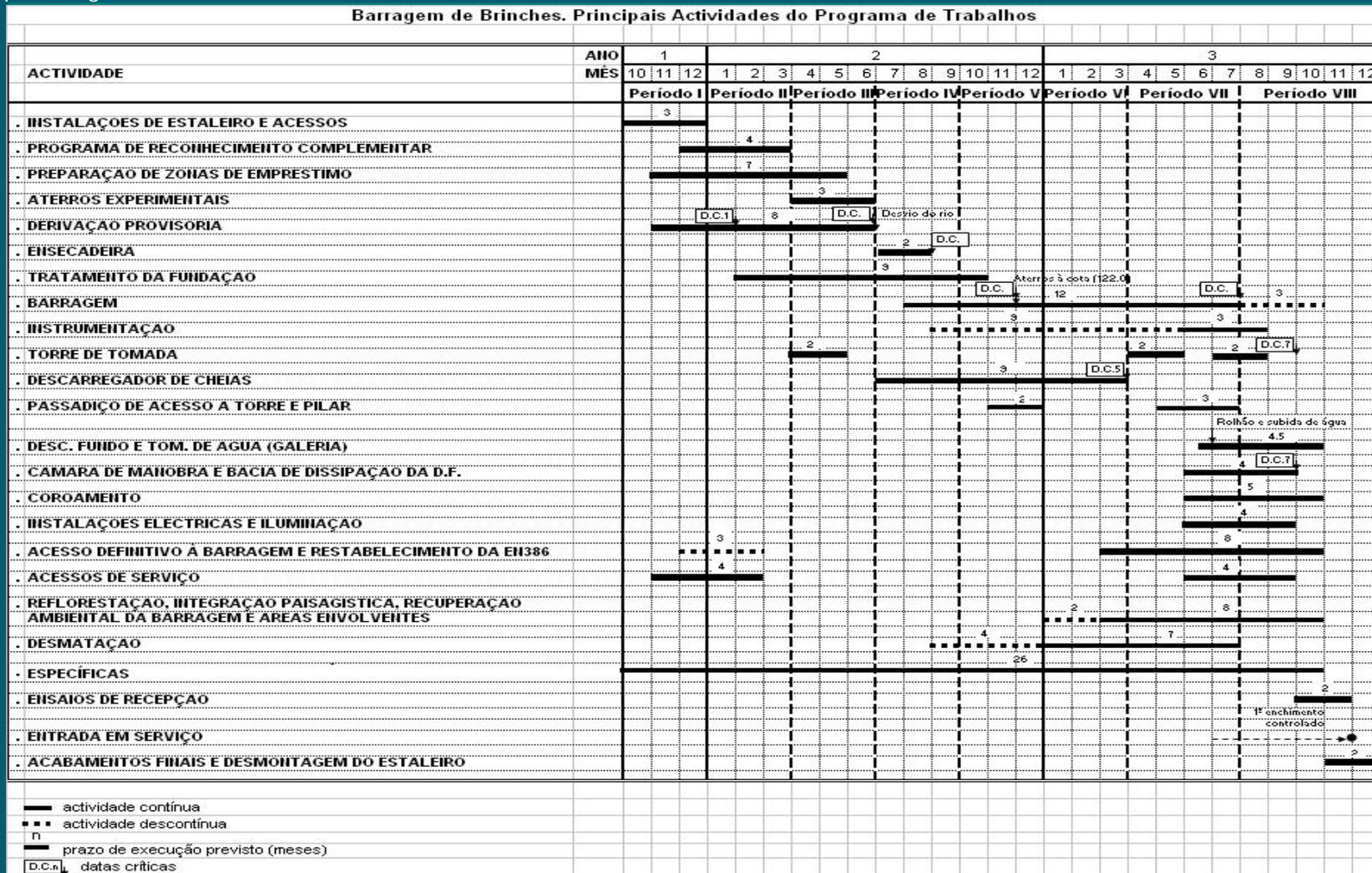
avanzar

# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge



COBA (2004)

recuar

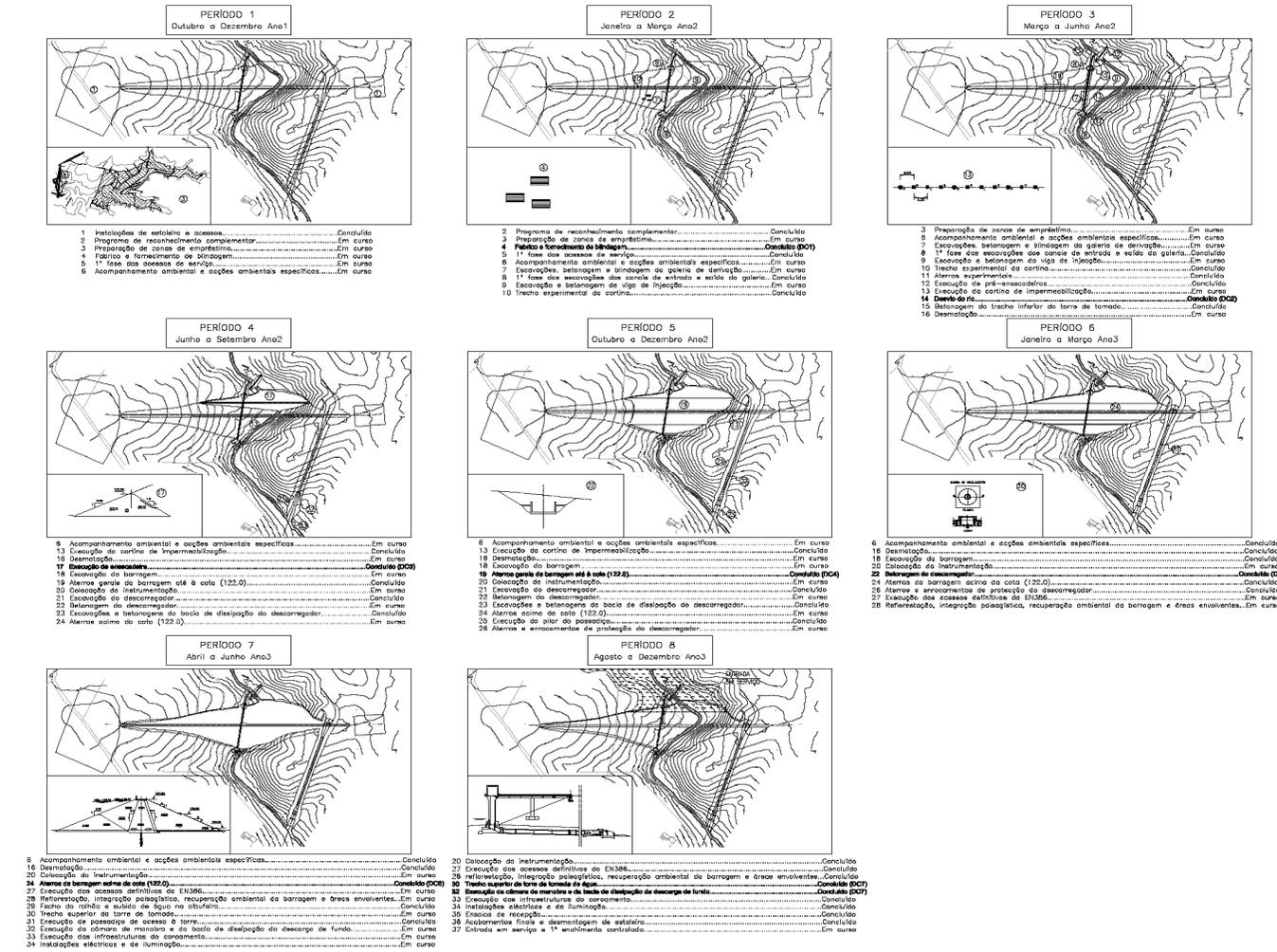
avancar

# VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL. UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge



VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

**BARRAGEM DE SERPA (PROSISTEMAS)**

PROJECTO DE EXECUÇÃO (ÍNDICE DE VOLUMES)	R0	R1	R2	R3
VOLUME 1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA E MEDIÇÕES				
. TOMO 1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA	Out.04	Mar.06		
. TOMO 1.2 – ESTUDOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS E SISMOLÓGICOS	Out.04			
. TOMO 1.3 – ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS	Out.04			
. TOMO 1.4 – ESTUDO DA ROTURA	Out.04			
. TOMO 1.5 – PLANO DE EMERGÊNCIA INTERNO	Out.04			
. TOMO 1.6 – MEDIÇÕES	Out.04	Mar.06	Jul.06	
. TOMO 1.7 – ADITAMENTO AOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS	Set.05			
. TOMO 1.8 – ELEMENTOS PARA O PROCESSO DE EXPROPRIAÇÕES	Mar.06			
VOLUME 2 – PLANO DE SAÚDE E SEGURANÇA	Out.04			
VOLUME 3 – PROCESSO DE CONCURSO				
. <b>TOMO 3.1</b> – CLÁUSULAS GERAIS	Out.04			
. <b>TOMO 3.2</b> – CLÁUSULAS COMPLEMENTARES	Out.04			
. <b>TOMO 3.3</b> – CLÁUSULAS TÉCNICAS	Out.04	Mar.06	(*)	
VOLUME 4 – ORÇAMENTO	Out.04	Mar.06	Jul.06	
VOLUME 5 –REDE DE APOIO TOPOGRÁFICO	Out.04			
<b>DESENHOS</b>	Abr.4/Set 4	Set 4/Nov 4	Nov 4/Var	

recuar

avançar

Vazquez, Jorge

## A FASE DE CONSTRUÇÃO

A importância da Assistência Técnica.

- A aferição do Projecto em Obra.
- A Fiscalização e cumprimento das Especificações Administrativas, Técnicas e Construtivas.
- A validação e sistematização de Procedimentos e Rotinas Construtivas.
- O Acompanhamento Ambiental.
- A rentabilização da informação da fase construtiva para a fase de exploração.
- Alguns casos recentes (Álamos, Loureiro, Pisão, Brinches, Serpa e Amoreira).



“NOVOS/VELHOS” DESAFIOS – a beneficiação a, reabilitação e o alteamento

recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DO PISÃO

O descarregador e a restituição.



recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DO PISÃO

O tratamento da fundação. A vala corta-águas.



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DO PISÃO

A especificidade construtiva dos diversos materiais de aterro. A integração da ensecadeira.



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DO PISÃO



recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DO PISÃO



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DOS ÁLAMOS I

**A subida dos aterros. O filtro de chaminé.**



recuar

avançar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DOS ÁLAMOS II

O acabamento do coroamento.



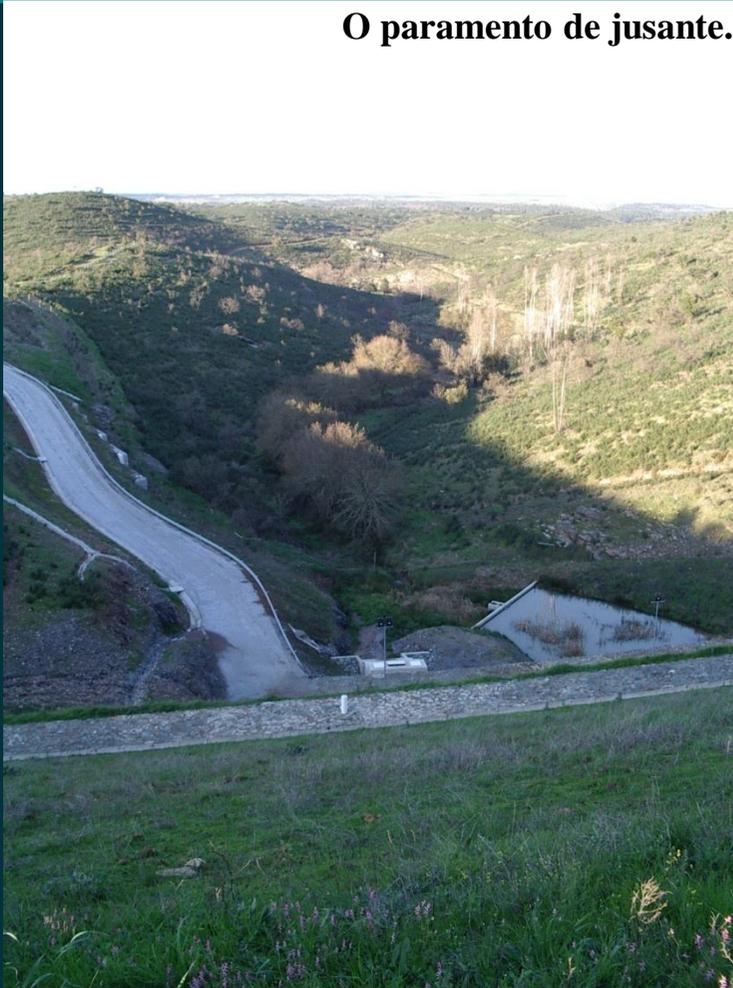
recuar

avancar

Vazquez, Jorge

### BARRAGEM DOS ÁLAMOS III

**O paramento de jusante.**



**O coroamento e o paramento de montante.**



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DA AMOREIRA



recuar

avançar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

**BARRAGEM DA AMOREIRA**

**A galeria de derivação.**



**Construção da torre de manobra.**



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DA AMOREIRA

Os acabamentos dos betões dos órgãos hidráulicos.



recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM DE SERPA



A ensecadeira.

recuar

avançar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE SERPA



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE SERPA

**O primeiro enchimento e a torre de manobra.**



**O paramento de jusante e a E. Elevatória.**



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE BRINCHES

A ensecadeira, o descarregador e a preparação de fundação.



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE BRINCHES

**A ensecadeira, a galeria de derivação e os aterros de interface.**



recuar

avancar

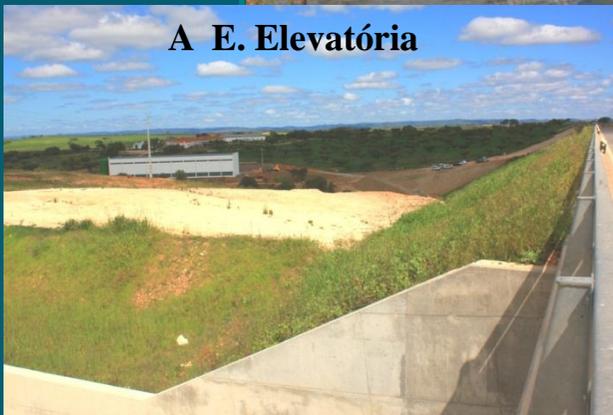
Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE BRINCHES

**O primeiro enchimento.**



**A E. Elevatória**



recuar

avancar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM LOUREIRO

A compatibilização das frentes de trabalho.



recuar

avançar

VI ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA CIVIL.  
UNIVERSIDADE DE ÉVORA – ABRIL 2010



“Da concepção à Construção de Barragens. Algumas questões de sustentabilidade, segurança e qualidade”

Vazquez, Jorge

BARRAGEM LOUREIRO



A obra em serviço.

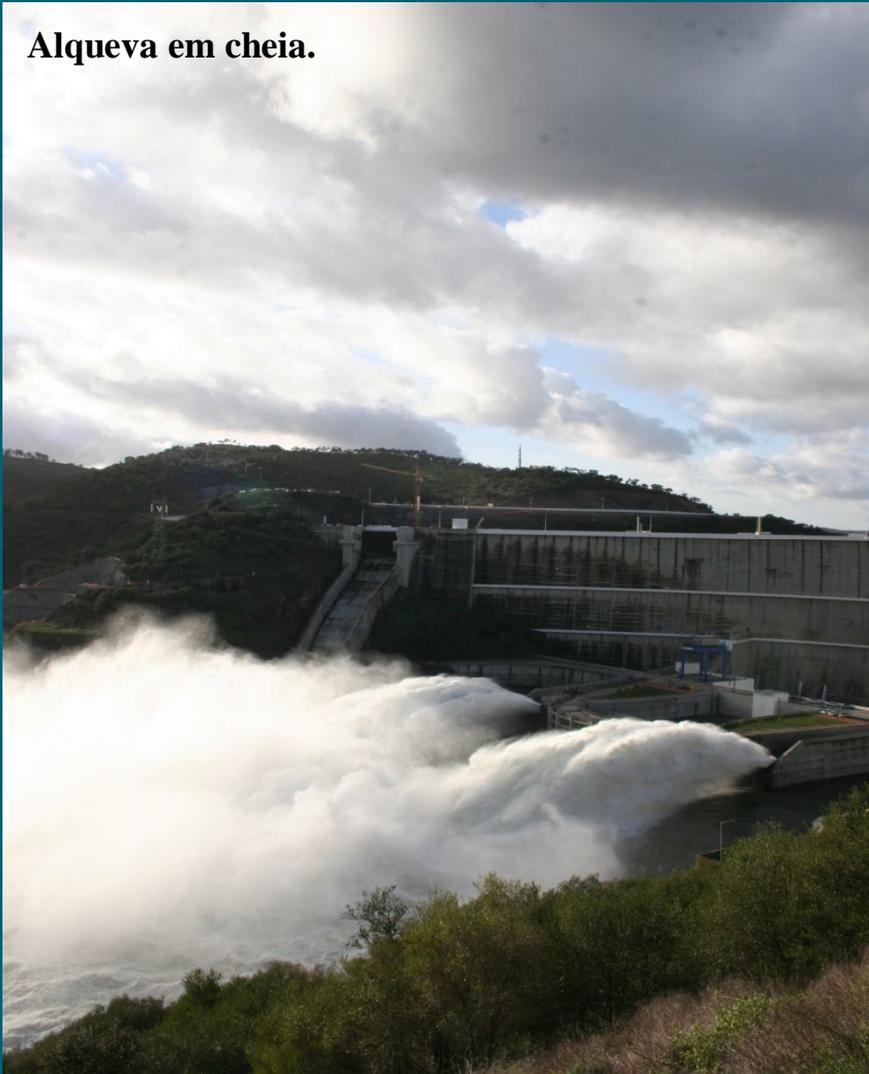
recuar

avancar

Vazquez, Jorge

## BARRAGEM DE ALQUEVA

**Alqueva em cheia.**



## BARRAGEM DE PEDROGÃO

**Pedrogão em cheia.**



recuar

avancar

Vazquez, Jorge

### FONTES BIBLIOGRÁFICAS FUNDAMENTAIS

- Elementos de Projecto de Obras da EDIA – Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas de Alqueva – integrando Projectos da Hidrorumo, Coba, Aqualogus, Tetraplano, ProceSl, Gibb e Prosistemas e Hidroprojecto.
- Jorge Vazquez – A Geotecnia em Aproveitamentos Hidráulicos – Alguns casos práticos. Conferência Especial – XI Congresso de Geotecnia, 2002 – integrando elementos de estudos e Projectos da Coba.
- Donos de Obra – INAG, DGADR, CM Peniche, SANEPAR, SRH – Ceará.

recuar

avançar