



COBA, S.A.
COBA, LTDA.



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE BARRAGENS

16 DE JULHO, 2013



COBA, S.A.
COBA, LTDA.



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

> **ÍNDICE**

> *Objetivos*

> *Análise Crítica e Contributos*

> *Características Técnicas*

Objetivos do Sistema de Classificação

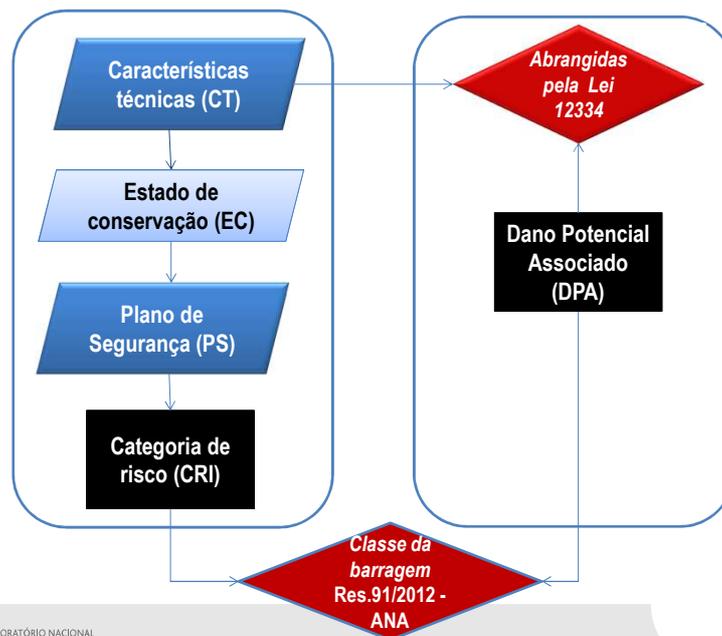


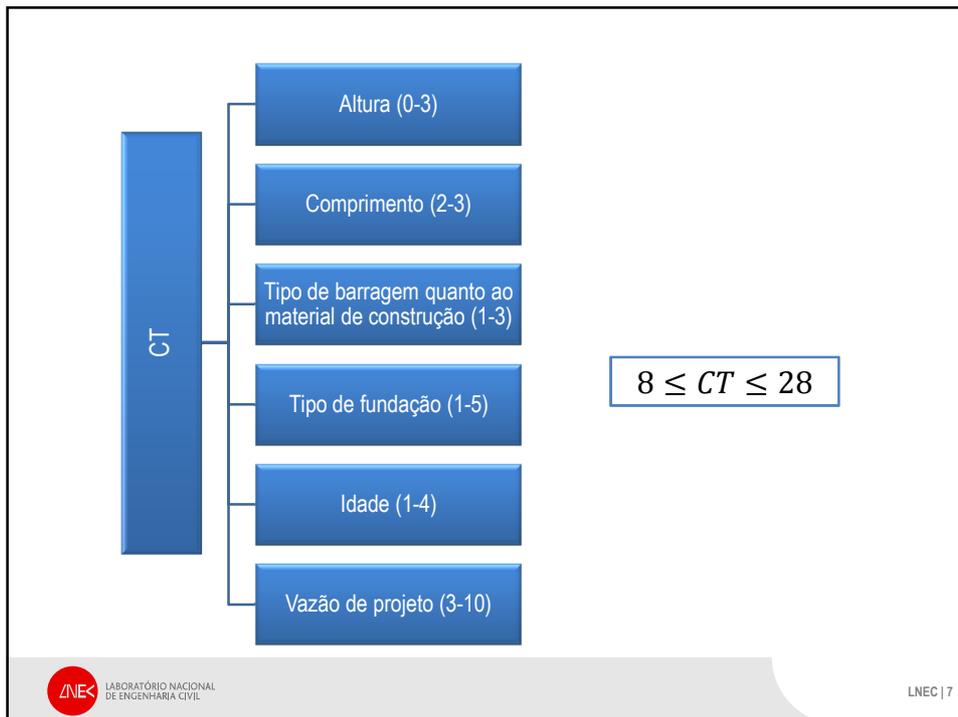
Lei nº. 12.334 de 20 de setembro de 2010

- *Universo de barragens* abrangidas pela Lei (artº. 1);
- *Plano de Segurança de Barragem* (artº. 8)
 - Periodicidade de atualização
 - Qualificações do responsável técnico
 - Conteúdo mínimo e do nível de detalhamento
- *Inspeções de segurança regular e especial* (artº. 9)
 - Periodicidade
 - Qualificações da equipe responsável
 - Conteúdo mínimo e do nível de detalhamento
- *Revisão periódica de segurança* (artº. 10);
 - Periodicidade
 - Qualificações da equipe responsável, do
 - Conteúdo mínimo e do nível de detalhamento
- *Plano de Ações de Emergência* – barragens dano potencial associado alto (artº. 11).



Análise crítica e contributos para o Sistema de Classificação





Altura da barragem

Altura ≤ 15m (0)
15m < Altura < 30m (1)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)
Altura > 60m (3)
-

- A altura relaciona-se com
 - As *pressões da água* e *intersticiais*
 - A *energia potencial* libertada em caso de rotura
- A existência de uma *barragem* acarreta *algum risco*, independente da altura, pelo que a *pontuação deverá ser >0*
- As *barragens muito altas* têm riscos acrescidos – introdução de uma *classe mais severa para H > 100 m*

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL LNEC | 8

Comprimento da barragem

Comprimento $\leq 200\text{m}$
(2)

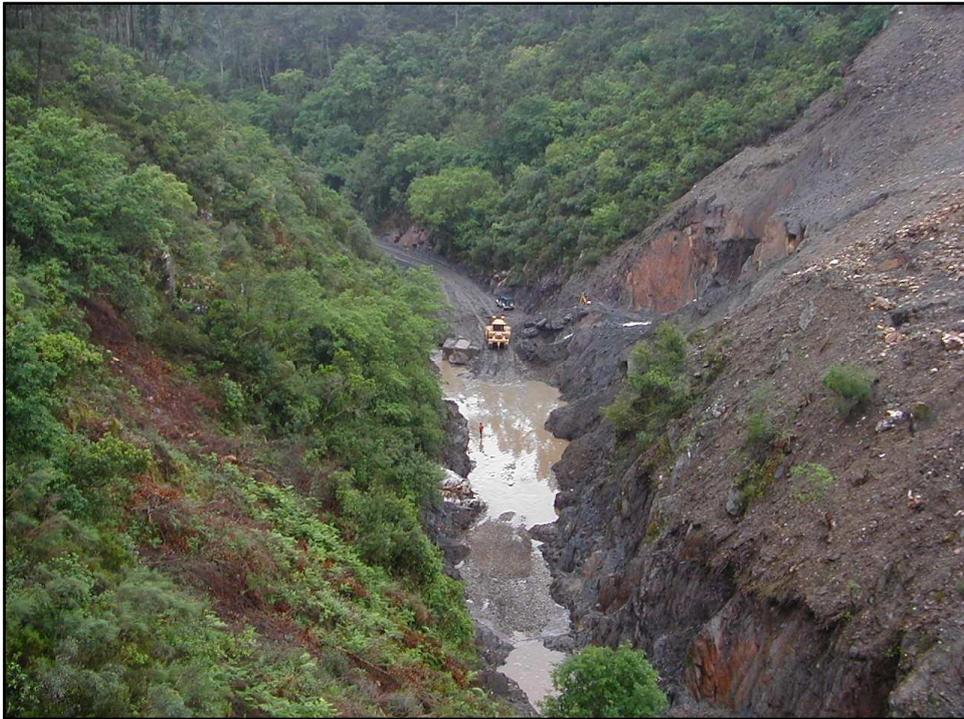
Comprimento $> 200\text{m}$
(3)

- O comprimento relaciona-se com
 - *Efeito de escala* – quanto maior o comprimento maior será a probabilidade de ocorrência de defeitos construtivos ou condições geológico-geotécnicas desfavoráveis
- A consideração de apenas *duas classes* parece ser *escassa*
- Consideração da *forma do vale*
 - $L/H \leq 3$ – vales em garganta
 - $3 < L/H \leq 6$ – vales estreitos
 - $L/H > 6$ – vales largos

Forma do vale

- *Dificuldades construtivas* – falta de espaço para a manobra de equipamentos
- Condicionamento na solução de *desvio provisório*
- Grande *transferência de tensões*
- Barragens de concreto
 - Vales em garganta ou estreitos – *arco*
 - Restantes - *gravidade*





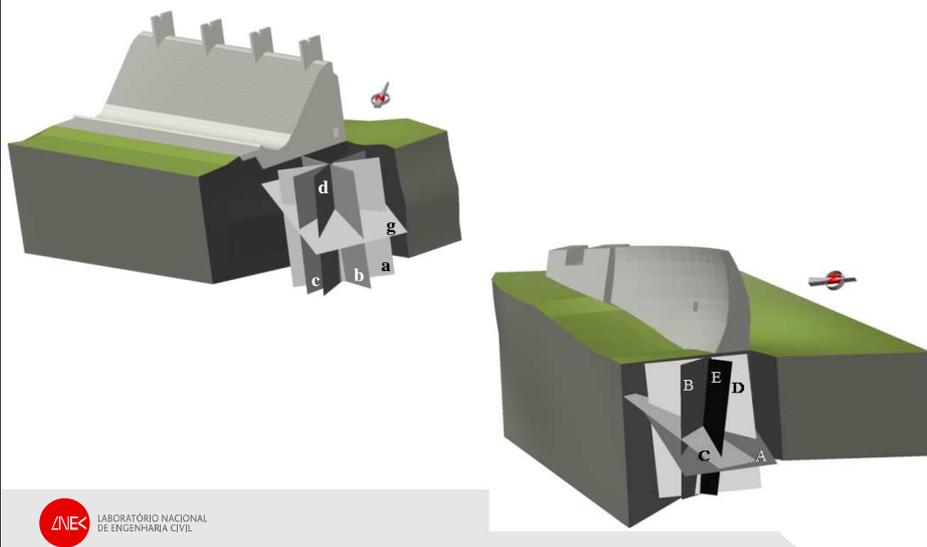


Tipo de material de construção

Concreto convencional (1)
Alvenaria de pedra / concreto ciclópico / concreto rolado - CCR (2)
Terra homogênea /enrocamento / terra enrocamento (3)
-
-

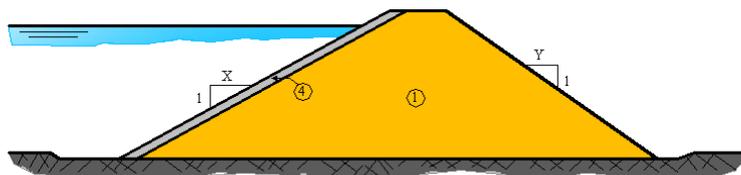
- Falta de *distinção* entre os diversos tipos de barragens de concreto e de aterro
- *Barragens de aterro*
 - Influência de
 - *Anisotropia* da permeabilidade
 - *Meios* com diferentes permeabilidades
 - Modos de *controle da percolação*
 - Atualização da *concepção do projeto*
 - Presença de *tubulação* em contacto com o aterro
- *Concepção - importância fundamental*

Barragens gravidade e em arco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Barragem de perfil homogêneo



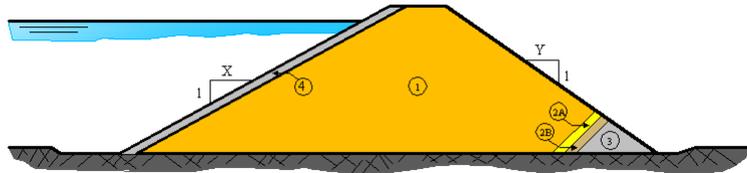
- Solos argilosos
- *Controlo da percolação* através de todo o corpo
- *Transmissão das cargas* através de todo o corpo
- Grande suscetibilidade à *erosão interna* e a *fluxos* no paramento de jusante
- *Pequenas barragens* com altura inferior a 5 m, em locais de *baixo risco*

16



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Barragem de perfil homogêneo com dreno no pé de jusante



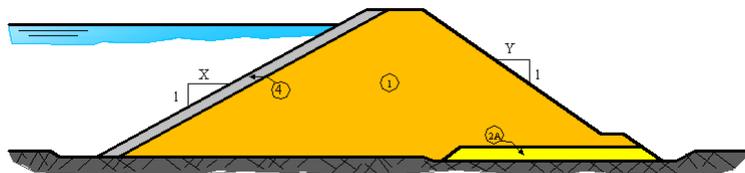
- Corpo da barragem de solos argilosos, *pé de jusante* em enrocamento ou cascalho e *filtro* entre o corpo e o dreno
- $k_H/k_V > 1$ *controle da percolação pouco eficiente*
- *Pequenas barragens* com altura inferior a 10 m, em locais de *baixo risco*

17



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Barragem de perfil homogêneo com tapete drenante

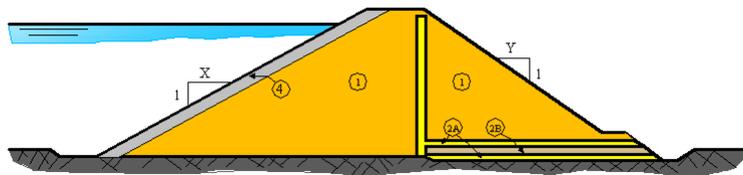


- *Tapete drenante* no contacto do aterro com a fundação
- Corpo da barragem de solos argilosos e *dreno horizontal* de areias e/ou cascalho
- $k_H/k_V > 1$ *controle da percolação pouco eficiente*
- *Pequenas barragens* com altura inferior a 10 m, em locais de médio a baixo risco



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Barragem de homogênea com dreno vertical e tapete drenante



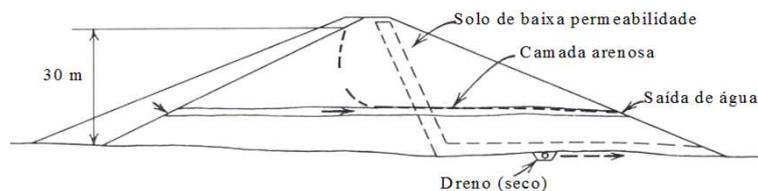
- Corpo da barragem de solos argilosos, *dreno vertical e tapete drenante* de areias e/ou cascalho altamente permeáveis *dimensionados como filtros* (aterro e fundação), dreno de pé de jusante e *maciço a jusante do dreno não saturado*
- *Controle eficiente da percolação* do corpo da barragem e da fundação
- *Barragens de 30-50 m* de altura, em locais de *risco elevado*

19



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Drenos verticais / chaminé



- Controle da percolação quando o *maciço de jusante tem permeabilidade algumas vezes superior ao núcleo*
- Controle da percolação em *maciços terrosos altamente estratificados*
- Interseção de *percolações preferenciais* devidas a camadas acidentalmente mais permeáveis ou a fissurações transversais
- Adequada *capacidade drenante*

20



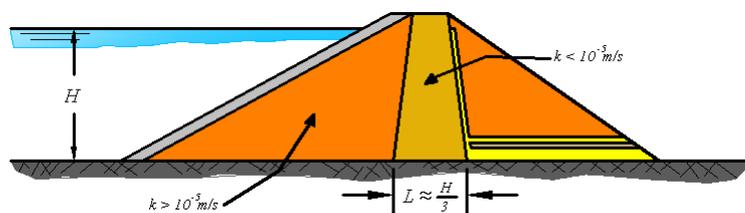
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Zonamento dos aterros

- Percolação através de *trajetos considerados seguros*
- Núcleo impermeável *estanque*
- Filtros como *proteção do núcleo*

21

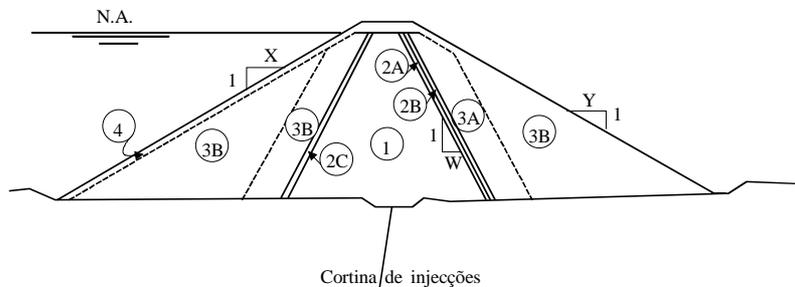
Barragem de terra de perfil zonado



- *Indisponibilidade* de solos homogêneos
- Materiais com características adequadas (*resistência e permeabilidade*) no maciço de montante e/ou núcleo
- *Zonamento das características de compactação*
- Zonas de impermeabilização - maior adensamento e teor em água

22

Barragem de terra e enrocamento com núcleo central



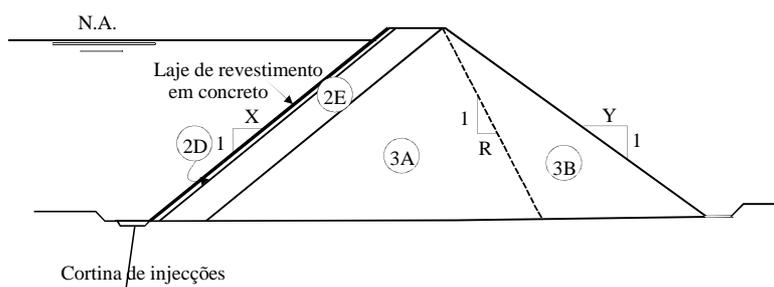
- *Filtros* entre o núcleo e os maciços
- Zona superior do maciço de jusante *não saturada*
- Estabilidade do núcleo *não condicionada por u*
- *Barragens de grande altura*
- Barragem $h < 20$ m - *dificuldades de construção*

23



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Barragem de enrocamento com face de concreto a montante



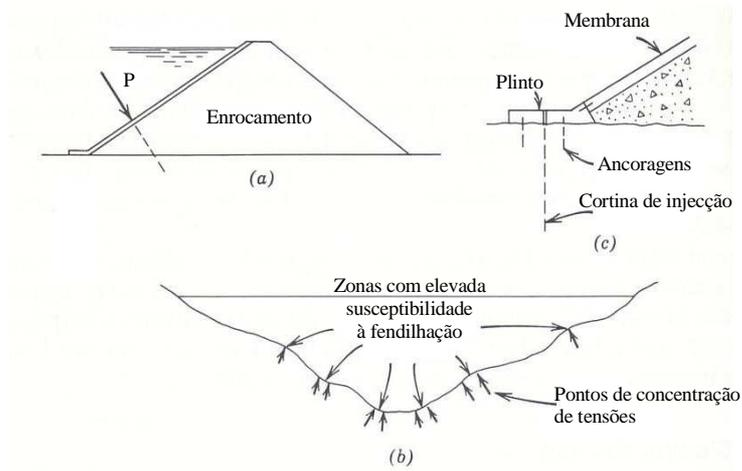
- *Enrocamento* drenante, camada amortecedora (enrocamento processado, filtro), *laje de concreto armado* com juntas (retração, variações térmicas, pressão hidrostática)
- *Taludes* de montante e de jusante inclinados de ϕ'
- Facilidade de acesso e *maior estabilidade*

24



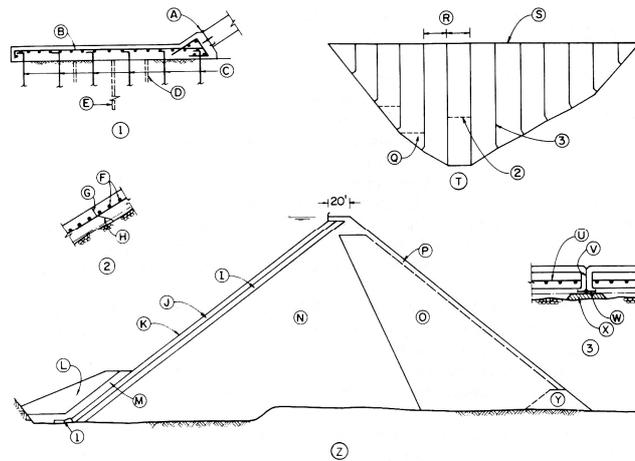
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Cortinas sobre o paramento de montante



25

Barragens de enrocamento com face de concreto a montante



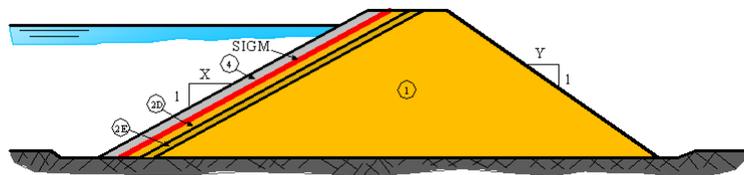
26

Barragens de enrocamento com cortina

- *Cortina de betuminoso*
 - Revestimento tipo *sandwich* (2 camadas impermeáveis de betuminoso, 1 camada drenante de betuminoso mais poroso, compactados)
 - Controlo de execução, equipamento e mão-de-obra *especializados*
 - *Colocação no interior* - sismicidade, assentamentos e temperaturas elevadas
- *Geomembrana (PVC)*
 - Membrana a *montante* ou *central*
 - Aterros de areias, cascalho ou enrocamento
 - Apoio da membrana em *camada de areia*
 - *Recobrimento* da membrana por areia, enrocamento ou lajes pré-fabricadas (exposição solar, mareta e detritos flutuantes)

27

Barragem de enrocamento com geomembrana



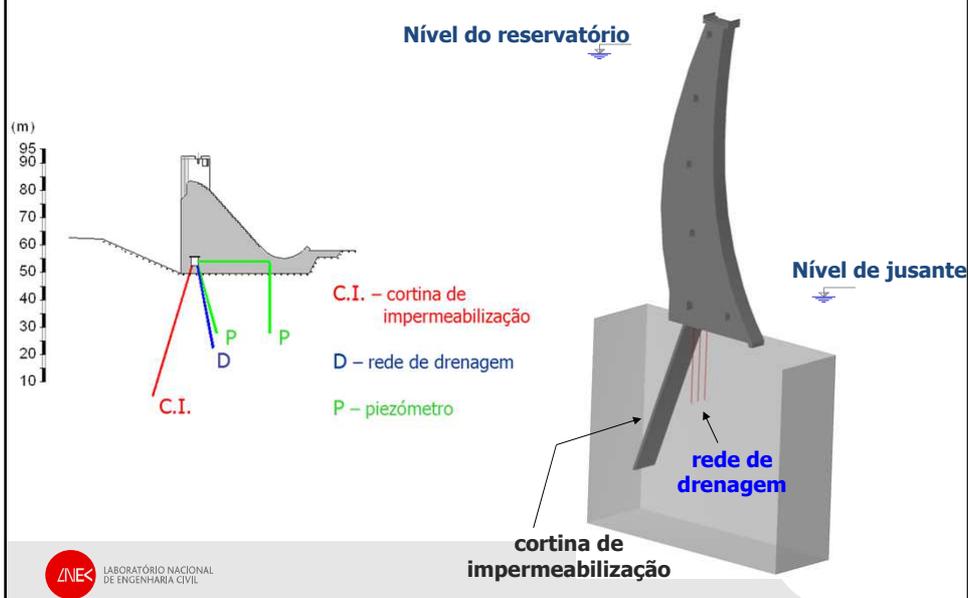
28

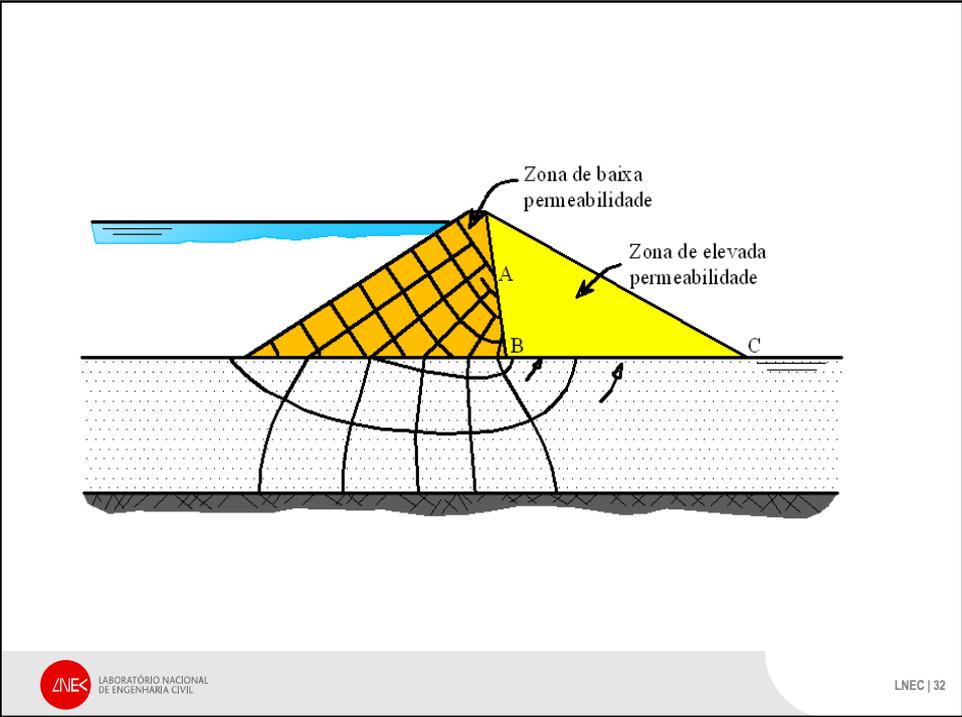
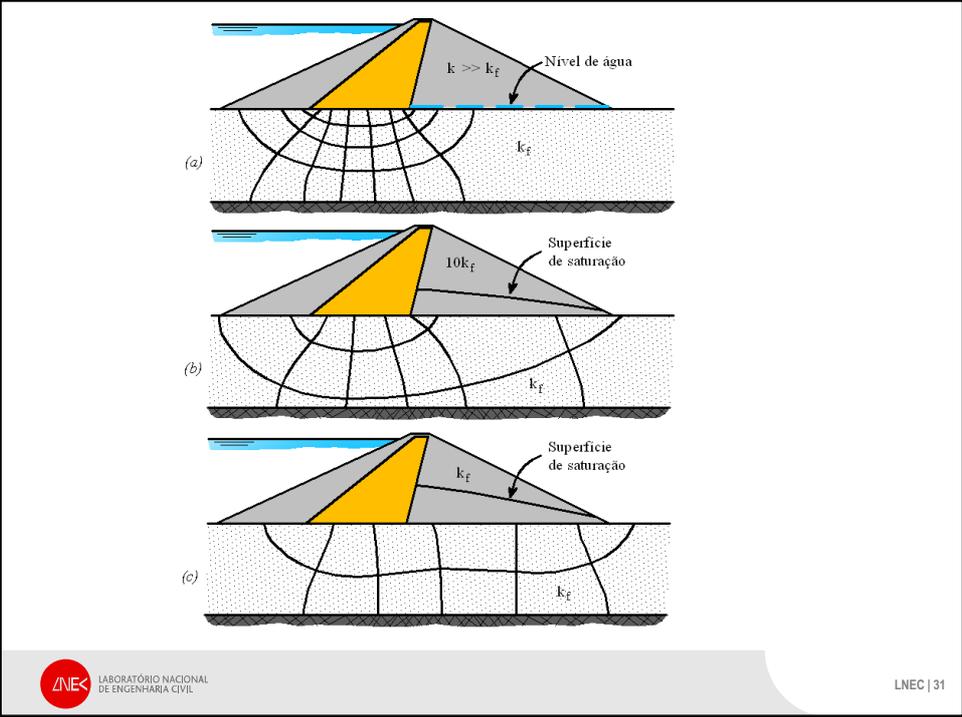
Tipo de fundação

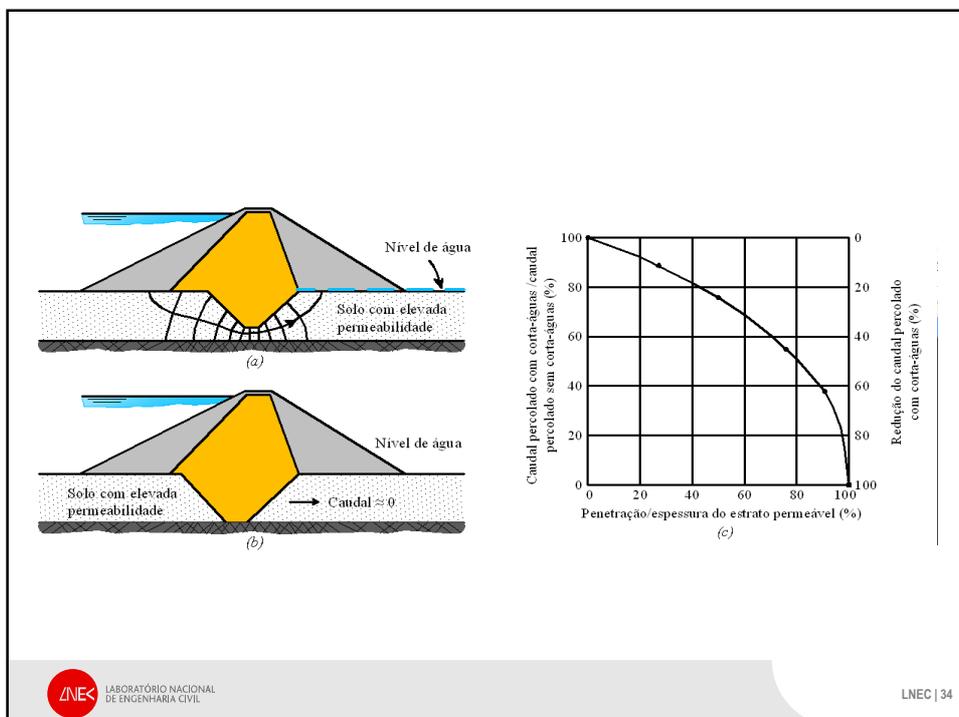
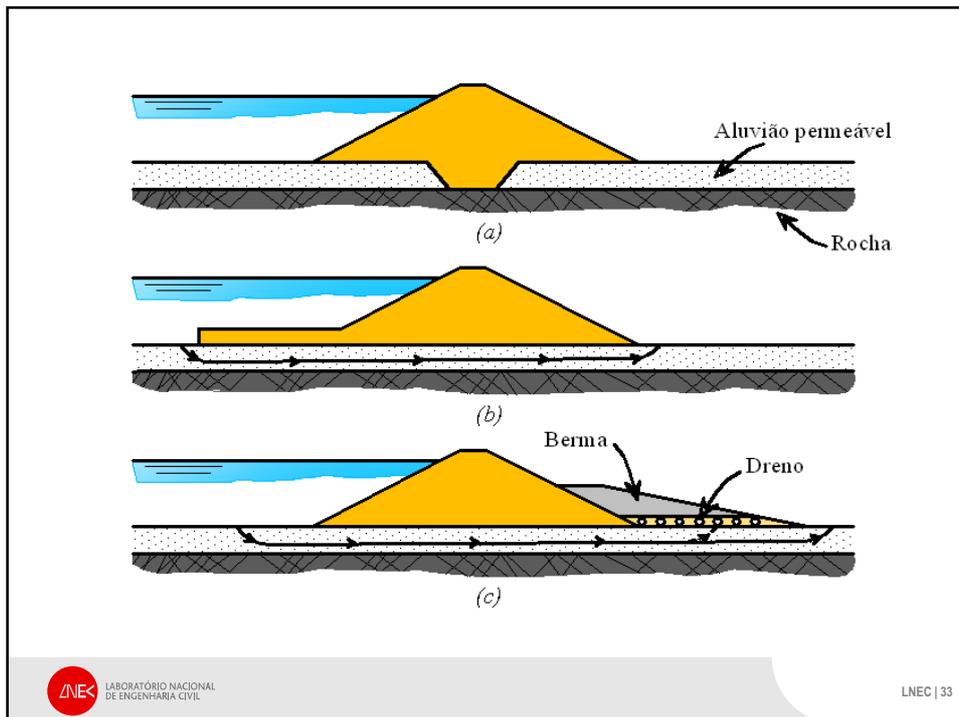
Rocha sã (1)
Rocha alterada dura com tratamento (2)
Rocha alterada -sem tratamento / rocha alterada fraturada com tratamento (3)
Rocha alterada mole / saprolito / solo compacto (4)
Solo residual / aluvião (5)

- **Exigências de fundação** variáveis com
 - **Tipo de barragem**
 - *Gradientes hidráulicos*
 - *Sistema de proteção da fundação*
 - **Características mecânicas e tratamento**
 - *Redução da deformabilidade*
 - *Resistência mecânica*
 - *Liquefação*
 - **Características hidráulicas e tratamento**
 - *Ruptura* - erosão interna e tubular, levantamento global e hidráulico, dissolução de materiais
 - *Funcionalidade* - caudais
 - **Solos ou rochas problemáticos**
- **Importância fundamental** comparável com modos de ruptura hidráulica

Barragens gravidade e em arco







Idade da barragem

Entre 30 e 50 anos
(1)

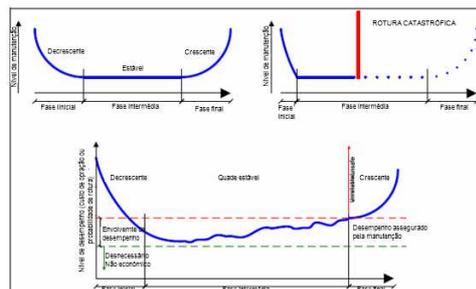
Entre 10 e 30 anos
(2)

Entre 5 e 10 anos
(3)

< 5 anos ou > 50 anos
ou sem informação
(4)

-

- *Período crítico*
 - Fase de *primeiro enchimento*
 - *Primeiro período de exploração* (5 anos após o primeiro enchimento)
 - *Próximo do período final da vida útil* (reações alcali-agregado. colmatação)
- Rupturas associadas a *erosão interna* – necessidade de *grandes períodos de tempo*



Vazão de projeto

CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar
(3)

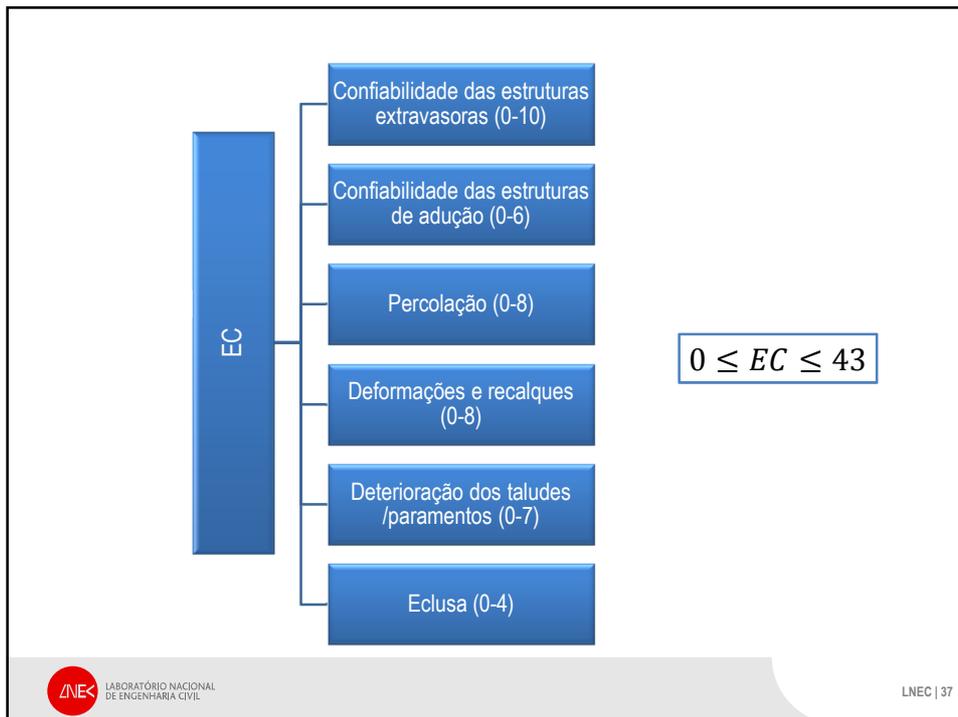
Milenar
(5)

TR = 500 anos
(8)

TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável
(10)

-

- As exigências de dimensionamento com base na *CMP* ou *decamilenar* são *correntes* na regulamentação internacional
 - Ponderação de (3) parece ser *excessiva*
- Interesse em ter *classes intermédias* entre 1000 e 10000 anos
 - Reavaliação da cheia de projeto à luz de *novos estudos hidrológicos*



Confiabilidade das estruturas extravasoras

<p>Estruturas civis e hidroeletromecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturas extravasoras <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vertedouros ▪ <i>Descargas de fundo</i> • <i>Vertedouros em tulipa</i> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Funcionamento</i> associado à cheia de projeto – desafogado, parcialmente afogado e afogado
<p>Estruturas civis e hidroeletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente. (4)</p>	
<p>Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente. (7)</p>	
<p>Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)</p>	

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL LNEC | 38

Confiabilidade das estruturas de adução

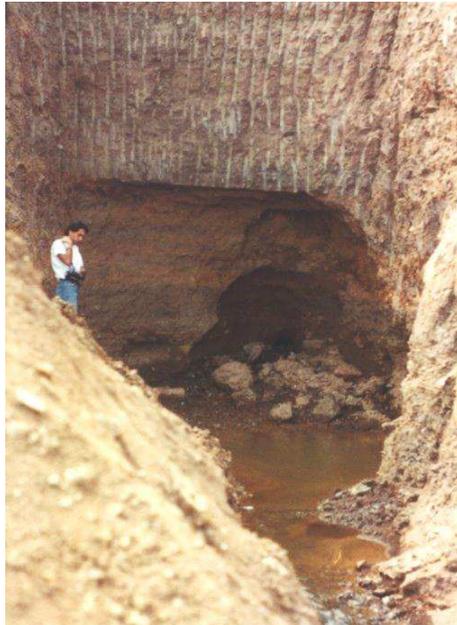
Estruturas civis e dispositivos hidroeletrómecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento
(0)

Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrómecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implementação
(4)

Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrómecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas
(6)

-

- Estruturas de adução
 - *Segurança da barragem* em geral *independente* da *funcionalidade* da estrutura
 - Pontuações mais reduzidas
- *Integridade estrutural* em barragens de aterro – *importância fundamental*
 - *Fendilhação*
 - *Abertura de juntas*
 - Erosão e carreamento de material
 - Instalação de pressões excessivas no aterro



Percolação

Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)
Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)
Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)
Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)

- Muito equilibrado
- Julgamento de engenharia
 - Tipo de *barragem*
 - Tipo de *sistema de drenagem interna*
- *Dificuldades logo após detecção* sob eventual evolução

Deformações e recalques

Inexistente (0)
Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)
Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)
Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)

- Referência a
 - Trincas
 - Abatimentos (*skinholes*)
 - Escorregamentos
- Sem referência a
 - *Recalques* e a sua relação com a *borda livre*
 - *Depressões*
- Sugestões
 - Definição do *tipo de trincas*
 - *Escorregamentos* apenas no descritor sobre deterioração
 - Inclusão de *recalques* e *depressões* neste descritor
 - Abatimentos – ponderação mínima de 5
 - *Campo de aplicação* do descritor a toda a parte visível da barragem

Deteriorações dos taludes/ paramentos

Inexistente (0)
Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)
Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)
Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)

- Referência a
 - Falhas na proteção
 - Vegetação
 - Erosões superficiais (sulcos)
 - Depressões acentuadas
 - Escorregamentos
- Sem referência a
 - *Buracos de animais*
- Sugestões
 - Descritor com *importância relativo crescente* em barragens de pequena dimensão
 - *Depressões* no descritor deformações e recalques
 - Inclusão de *buracos de animais*
 - *Campo de aplicação* do descritor a toda a parte visível da barragem
 - Pontuação **7** passar a **8**

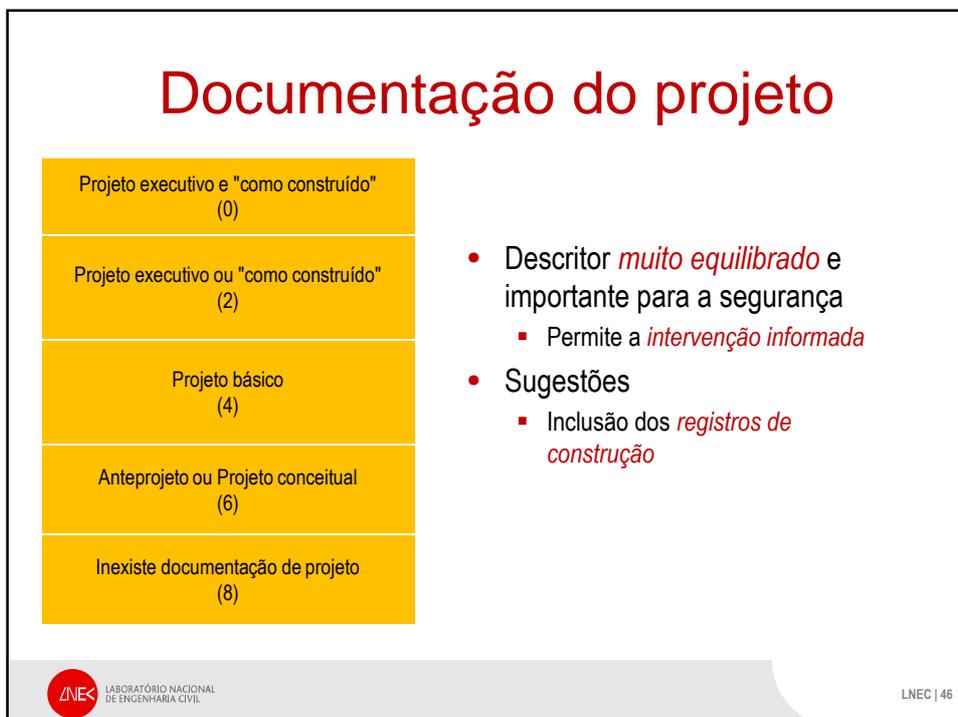
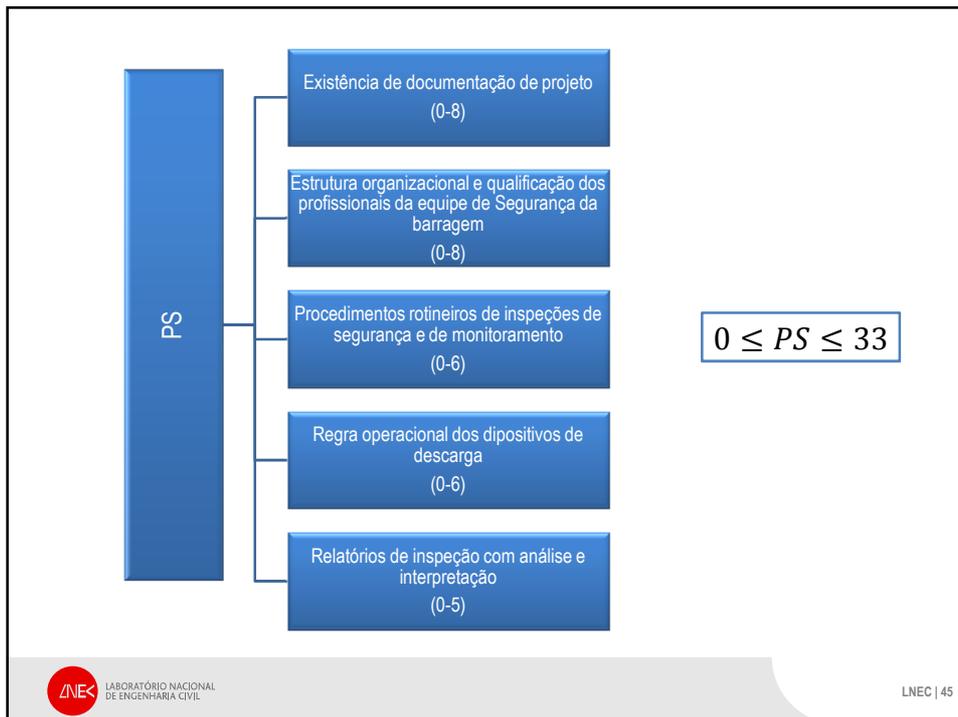


Eclusa

Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrônicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas (4)

- Descritor com *campo de aplicação escasso*
- Em geral com *reduzidos reflexos* em termos de segurança
- Semelhante ao das *estruturas de adução*
- Com *comprometimento da segurança* estrutural – *pontuação máxima baixa*





Estrutura organizacional

Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)
Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)
Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)
-
-

- Descritor *muito equilibrado*
 - Garantia do acompanhamento *do desempenho* da barragem
- Sugestões
 - Definição da *estrutura organizacional mínima*

Procedimentos de inspeção e monitoramento

Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)
Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)
Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)
Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)
-

- Descritor *muito equilibrado*
 - Garantia do acompanhamento *do desempenho* da barragem
- Sugestões
 - Conformidade com a *regulamentação* em vigor
 - Conformidade com os *elementos definidos* para a barragem
 - *Plano de monitoramento*

Regra operacional dos dispositivos de descarga

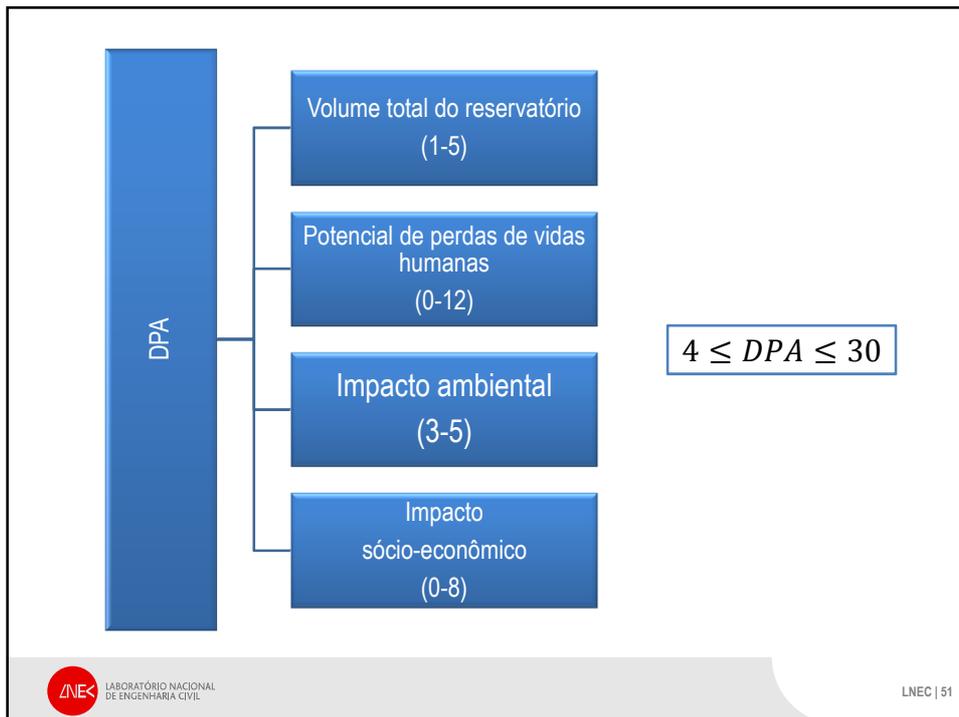
Sim ou vertedouro tipo soleira livre (0)
Não (6)
-
-
-

- Descritor importante para a segurança
 - Garantia da *funcionalidade* dos equipamentos hidroelctromecânicos
 - Evitar *erros humanos*
- Sugestões
 - *Procedimentos de teste* dos equipamentos hidroelctromecânicos
 - Explicação na descrição das classes da efetiva *aplicação das regras*

Relatórios de segurança

Emite regularmente os relatórios (0)
Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Não emite os relatórios (5)
-
-

- Descritor importante para a segurança
 - Comunicação dos *riscos*
 - *Intervenção da Sociedade*
- Sugestões
 - Conformidade com a *regulamentação* em vigor
 - Esclarecimento da *ambiguidade* associada ao termo *sem periodicidade* (definição de um prazo, por exemplo)



Potencial de perdas de vidas humanas

- Sugestões
 - Considerar um nível diferente em função do *número de pessoas afetadas*

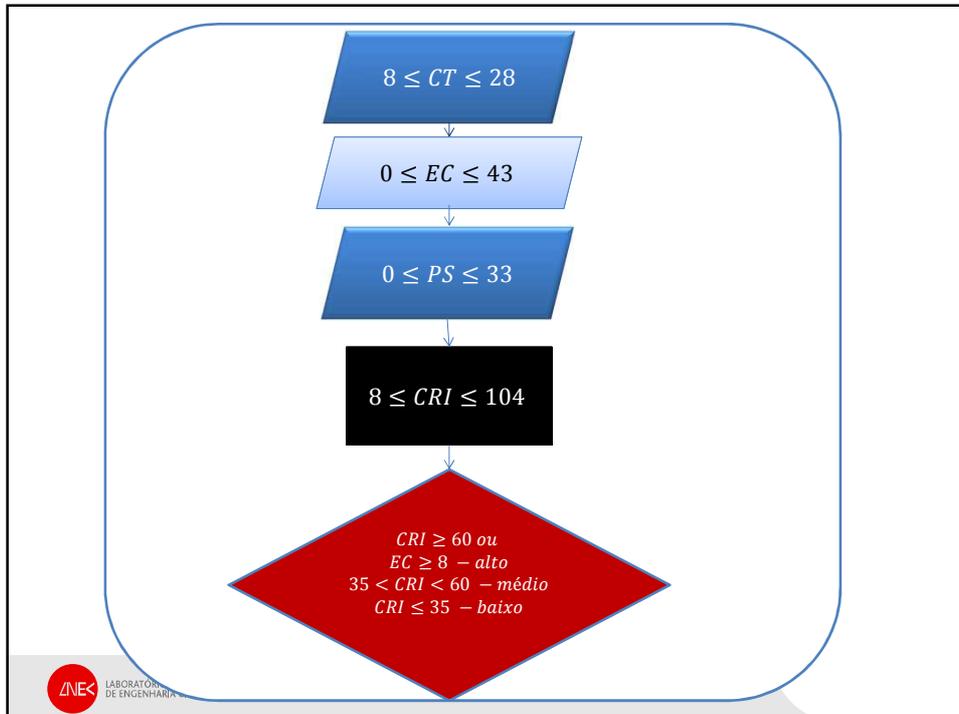
INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/residentes ou temporárias/transitando na área afetada a jusante da barragem) (0)
POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)
FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal, estadual, federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (8)
EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)

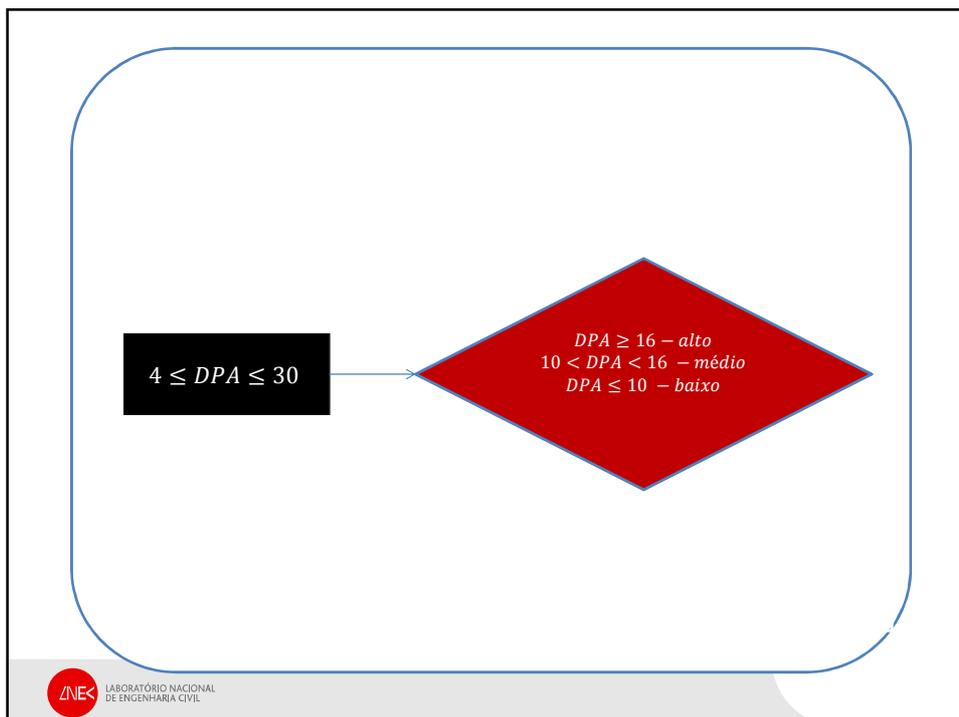
Impacto ambiental

SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem não representa área de interesse ambiental, áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)
MUITO SIGNIFICATIVO (área afetada da barragem apresenta interesse ambiental relevante ou protegida em legislação específica) (5)
-
-

Impacto sócio-econômico

INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (4)
ALTO (existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo na área afetada da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
-





Resolução 91/2012-ANA

Classe da barragem		Classe de dano potencial associado		
		Alto	Médio	Baixo
Classe de risco	Alto	A	B	C
	Médio	A	C	D
	Baixo	A	C	E

Características Técnicas

