

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE BACIA DE DISSIPAÇÃO

DISSIPATION BASIN HYDRAULIC SIZING

Lais Nara Rodrigues Muniz¹
Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro²

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo abordar de forma geral e ampla os métodos de dimensionamento hidráulico de uma bacia de dissipação, cuja finalidade desse dispositivo é promover a redução da velocidade de escoamento, compondo sistemas extravasores de barragens ou sistemas de drenagens urbanas, evitando uma erosão. Esse tipo de estrutura possibilita o projetista transformar um escoamento supercrítico em subcrítico, mediante a formação de ressalto hidráulico (CETESB, 1986).

Palavras-chave: Dimensionamento. Escoamento. Drenagem. Ressalto Hidráulico.

ABSTRACT: The objective of this work is to approach in general the methods of hydraulic sizing of the dissipation basin, whose purpose of this device is to promote the reduction of flow velocity, overflow systems in general and urban drainage drainage systems, a solution with this barrier. This type of structure allows the project to transform a type of supercritical formation into a subcritical one, through a hydraulic jump (CETESB, 1986).

Keywords: Sizing. Flow. Drainage. Hydraulic Jump.

INTRODUÇÃO

A bacia de dissipação é utilizada à saída de passagens hidráulicas e a sua aplicação é condicionada pelo número de Froude à saída. Este fator está relacionado com a formação do ressalto hidráulico, que pode ser classificado em função do número de Froude na seção de escoamento torrencial, denominado como F_{r1} . De acordo com Chow, tem-se a seguinte classificação:

- Se $1 < F_{r1} < 1,7$: ressalto hidráulico ondulado. Neste caso não se tem o ressalto propriamente dito, mas sim a formação de ondas que se propagam para jusante. A dissipação de energia é muito pequena, de modo que o ressalto não é empregado como dissipador;
- Se $1,7 < F_{r1} < 2,5$: ressalto hidráulico fraco. Pouca energia é dissipada. Uma série de pequenos vórtices é formada sob a superfície livre na região do ressalto e a região a jusante do ressalto permanece aproximadamente uniforme e lisa;
- Se $2,5 < F_{r1} < 4,5$: ressalto oscilante. Para este intervalo de F_{r1} , o ressalto apresenta uma superfície livre com ondulações e ocorre a formação de ondas que podem se propagar para jusante sobre longas distâncias. Este fenômeno pode causar erosões em alguns tipos de canais;

¹Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Brasil – Campus Fernandópolis-SP.

²Orientador do curso de Engenharia Civil pela Universidade Brasil– Campus Fernandópolis- SP.

- Se $4,5 < Fr_1 < 9,0$: ressalto estável. Este tipo de ressalto é empregado como dissipador de energia em bacias de dissipação. Aproximadamente 45 a 70% da energia total a montante do ressalto é dissipada ao longo de sua extensão;
- Se $Fr_1 > 9,0$: ressalto forte. Este tipo de ressalto não é empregado como dissipador de energia porque há o risco de ocorrência de erosões significativas em função da elevada turbulência.

Com a utilização da bacia de dissipação, não é aconselhável que se desenvolvam ressaltos hidráulicos fortes, pois as ondulações fortes provocadas pela turbulência do ressalto poderão danificar este tipo de estrutura.

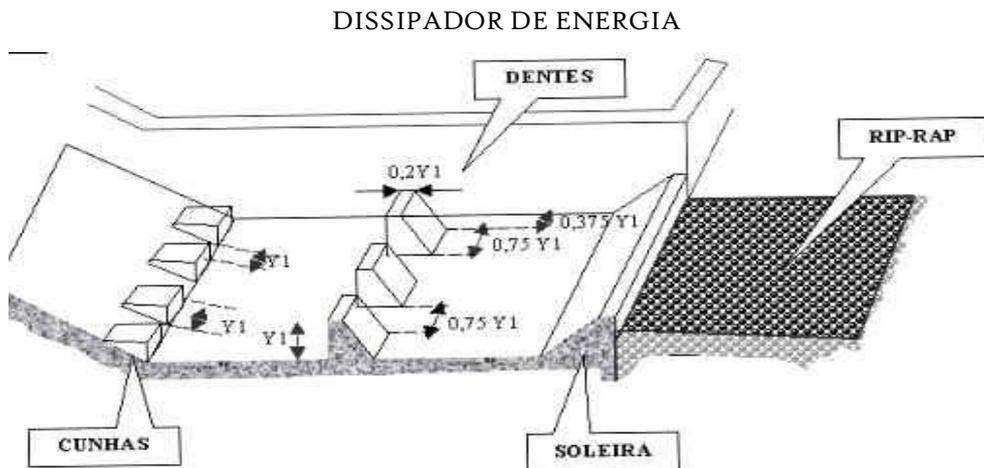
Em conformidade com Avezedo Netto, o salto ou ressalto hidráulico é uma sobrelevação brusca da superfície líquida. Corresponde à mudança de regime de uma profundidade menor que a crítica para outra maior que esta, em consequência do retardamento do escoamento em regime inferior (rápido). É um interessante fenômeno, o que, comporta e nas vizinhanças de obstáculos submersos.

Os dissipadores de energia são estruturas que reduzem a velocidade de escoamento, impedindo que o mesmo não danifique as próprias estruturas de drenagem e o ponto de lançamento do escoamento, locais que não preveem o uso de dissipadores na saída de condutos, tendem a possuir grandes áreas de erosão proveniente da excessiva velocidade de escoamento (CETESB, 1986). Como são estruturas pontuais, possuem diversas dimensões e formas, variando em função do canal ou conduto de chegada, vazão do projeto, velocidade de escoamento e ponto de lançamento.

As estruturas internas de dissipação podem exigir manutenção regular, devido ao material que o escoamento pode transportar e que pode ficar retido nos elementos de dissipação. Só devem ser utilizadas em passagens hidráulicas retangulares de modo a permitir a entrada de pessoal de manutenção.

As bacias de dissipação definidas a partir de estudos pela U.S. Bureau of Reclamation são:

- Bacias do Tipo I: livre e sem blocos.
- Bacias do Tipo II: com blocos de queda e soleira de saída dentada.
- Bacia do Tipo III: com blocos de queda, de amortecimento e soleira de saída.
- Bacia do Tipo IV: com blocos de queda e soleira de saída.



Fonte: LPENG.BR.TRIPOD.COM

Mesmo com uma velocidade de saída baixa, é previsto um enrocamento de proteção na saída da bacia. Esse enrocamento é feito utilizando pedras de mão (gabião, etc) e tem a finalidade de proteger a estrutura da bacia, evitando possíveis arrastos de terra ou erosões e solapamentos no final do dissipador, causando buracos embaixo do concreto, o que pode deixar a estrutura exposta e danificando-a. À saída de passagens hidráulicas, a proteção com enrocamento é frequentemente utilizada quando a velocidade do escoamento à saída é inferior a 4,5 m/s e o diâmetro do aqueduto é inferior ou igual a 1,5 m, pois nestas situações esta solução é mais econômica do que a construção de outras estruturas de dissipação de energia.

1037

BACIA DE DISSIPAÇÃO COM ENROCAMENTO



Fonte: ATHOS ENGENHARIA

DIMENSIONAMENTO DA ALA DE TRANSIÇÃO

1.1. Valores de entrada da ala de transição:

1.1.1. Vazão de entrada no dissipador (Q)

A vazão de entrada no dissipador é gerada no dimensionamento da galeria, dependendo do período de retorno, coeficiente de escoamento superficial (RunOff), intensidade de chuva crítica,

área de drenagem e vazão máxima, adotados no projeto. No caso desse projeto, foi calculada uma vazão de entrada de $8,41 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.1.2. Diâmetro de entrada no dissipador (\emptyset)

O diâmetro da ala de transição baseia-se na razão de aspecto que foi considerada a máxima de 0,80 metros. Segundo Azevedo Netto, a maior vazão que se pode conseguir, em determinado conduto, não é a que se obtém com o conduto completamente cheio, mas sim com 95% preenchido. Caso ultrapasse essa porcentagem, o escoamento livre se torna escoamento forçado. Porém, alguns órgãos e prefeituras adotam 80% como a vazão máxima admissível. Conforme a vazão se aproxima de 80% da vazão admitida no diâmetro da tubulação, é preciso aumentar o diâmetro do tubo e, assim, a vazão admitida será maior. A razão de aspecto calculada no projeto foi de 0,77 metros, tendo o diâmetro adotado de 1,50 metros.

1.1.3. Velocidade de entrada na escada hidráulica (V_a)

A velocidade de entrada na escada hidráulica é encontrada a partir da razão entre a vazão e a área molhada do projeto. O valor máximo para a velocidade das águas, num conduto circular, ocorre quando o conduto está parcialmente cheio e $y = 0,81.D$, onde y é a altura da lâmina líquida (AZEVEDO NETTO, 1998). Nesse projeto, a velocidade de entrada foi adotada conforme recomendação da instrução técnica DPO n.º 11 de 30/05/2017 do DAEE, tabela o6, que recomenda para elementos de concreto a velocidade máxima de 4,00 metros por segundo. A velocidade de entrada foi de $2,88 \text{ m/s}$, onde a vazão da galeria é de $4,205 \text{ m}^3/\text{s}$ e a área molhada de $1,460 \text{ m}^2$.

1.1.4. Largura da testa da ala (LA)

A largura da testa da ala de transição dá-se pelo diâmetro do tubo mais a espessura da parede e da bolsa. Nesse caso, foi projetado com dois tubos, sendo a largura calculada da seguinte forma:

$$LA = D. 2 + 8.0,12 + 0,5 + 0,5$$

Onde:

D (diâmetro) = 1,50

2 = 2 tubos

8 = 2 paredes e 2 bolsas por tubo = 4 paredes e 4 bolsas

$0,12$ = espessura das paredes e das bolsas

$0,5$ = houve necessidade de construir 2 pilares na ala com seção de 0,50 m

LA = 5,00 m

2. DIMENSIONAMENTO DA ALA DE TRANSIÇÃO

Diante dos dados obtidos através do projeto da galeria, é iniciado o segundo dimensionamento da ala de transição.

2.1. Vazão Específica de Entrada no Canal

O primeiro passo é calcular a **vazão específica de entrada no canal**, pela seguinte função:

$$qa = \frac{Q}{LA}$$

Onde:

Q (vazão de entrada) = 8,41 m³/s

LA (largura da testa da ala) = 5,00 m

qa = 1,68 m³/s

2.2. Lâmina de Entrada no Canal

Após isso, é calculada a **lâmina de entrada no canal**, que determina-se pela função:

$$ya = \frac{qa}{Va}$$

Onde:

qa (vazão específica) = 1,68 m³/s

Va (velocidade de entrada) = 2,88 m/s

ya = 0,58 m

1039

2.3. Número de Froude de Entrada

Posteriormente, calcula-se o **número de Froude de entrada**. O número de Froude é obtido através da função:

$$Fra = \frac{Va}{\sqrt{g \cdot ya}}$$

Onde:

g (aceleração da gravidade) = 9,81 m/s²

Va (velocidade de entrada) = 2,88 m/s

ya (lâmina de entrada) = 0,58 m

Fra = 1,20

2.4. Determinação do Ângulo de Abertura Máximo da Ala (α)

O próximo passo é a **determinação do ângulo de abertura máximo da ala**, que é fornecido utilizando a fórmula:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{3 \cdot Fra}\right)$$

Onde:

Fra (número de Froude) = 1,20

$\alpha = 15,48$ graus

2.5 Largura do Dissipador

Depois, é calculada a largura do dissipador, tendo como fórmula:

$$B \geq 4,00 \cdot \emptyset$$

Onde:

Largura mínima da bacia = 6,00 m

Largura do canal adotado = 6,00 m

2.6 Dimensionamento do Comprimento da Ala

Finalmente, obtêm-se o **comprimento da ala**, pela fórmula abaixo:

$$L_{mín} = \arctan(\alpha) \cdot \left(\frac{B - LA}{2} \right)$$

Onde:

La (comprimento da ala adotado) = 3,00 m $\left(\frac{B-LA}{2} \cdot 4 + 1 \right)$

α (ângulo de abertura) = 9,46 graus $\left(\frac{B-LA}{2} / La \right)$

$L_{mín}$ (comprimento mínimo da ala) = 1,89 m

3. DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO

3.1. Valores de entrada da bacia de dissipação:

Os valores de entrada da bacia são:

Vazão de Entrada na Bacia (Q) = 8,41 m³/s

Largura da Bacia (B) = 6,00 m

Desnível Geométrico Entre a Ala e a Bacia (d) = 0,60 (obtêm-se através do projeto)

Comprimento do Canal Entre a Ala e a Bacia (l) = 1,20 m (desnível x 2)

Velocidade de Entrada na Bacia (V₁) = 10,18 m/s (utilizando a tabela “Escoamento em regime permanente uniforme” de Azevedo Netto, 1998)

3.2. DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO

3.2.1. Vazão Específica do Canal

$$q_1 = \frac{Q}{B}$$

Onde:

Q (vazão de entrada na bacia) = 8,41 m³/s

B (largura da bacia) = 6,00 m

$q_1 = 1,40$ m³/s

3.2.2. Lâmina de Entrada do Canal

$$y_1 = \frac{q_1}{v_1}$$

Onde:

q_1 (vazão específica do canal) = 1,40 m³/s

v_1 (velocidade de entrada na bacia) = 10,18 m/s

$y_1 = 0,138$ m

3.2.3. Altura Crítica

$$H_c = \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

Onde:

v_1 (velocidade de entrada na bacia) = 10,18 m/s

g (aceleração da gravidade) = 9,81 m/s

$H_c = 5,28$ m

3.2.4. Número de Froude

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot y_1}}$$

1041

$Fr = 1$ – Regime Crítico

$Fr < 1$ – Regime Subcrítico ou Fluvial

$Fr > 1$ – Regime Supercrítico ou Torrencial

Onde:

v_1 (velocidade de entrada na bacia) = 10,18 m/s

g (aceleração da gravidade) = 9,81 m/s

y_1 (lâmina de entrada do canal) = 0,138 m

$Fr = 8,76$ – REGIME DE ESCOAMENTO SUPERCRÍTICO

Conforme U.S. Bureau of Reclamation, as bacias de dissipação são definidas conforme o número de Froude e a velocidade média de escoamento:

Tipo I..... $1,7 < Fr < 2,5$
Tipo II..... $Fr > 4,50$ e $V > 15$ m/s
Tipo III..... $Fr > 4,50$ e $V < 15$ m/s
Tipo IV..... $2,5 < Fr < 4,5$

Bacia de Dissipação Recomendada: TIPO III

3.2.5. Lâmina de Saída

$$y_2 = \frac{1}{2} \cdot y_1 \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot Fr \cdot 1^2} - 1)$$

Onde:

y_1 (lâmina de entrada do canal) = 0,138 m

Fr (número de Froude) = 8,76

$y_2 = 1,64$ m

3.2.6. Velocidade de Saída

$$V_2 = \frac{q_1}{y_2}$$

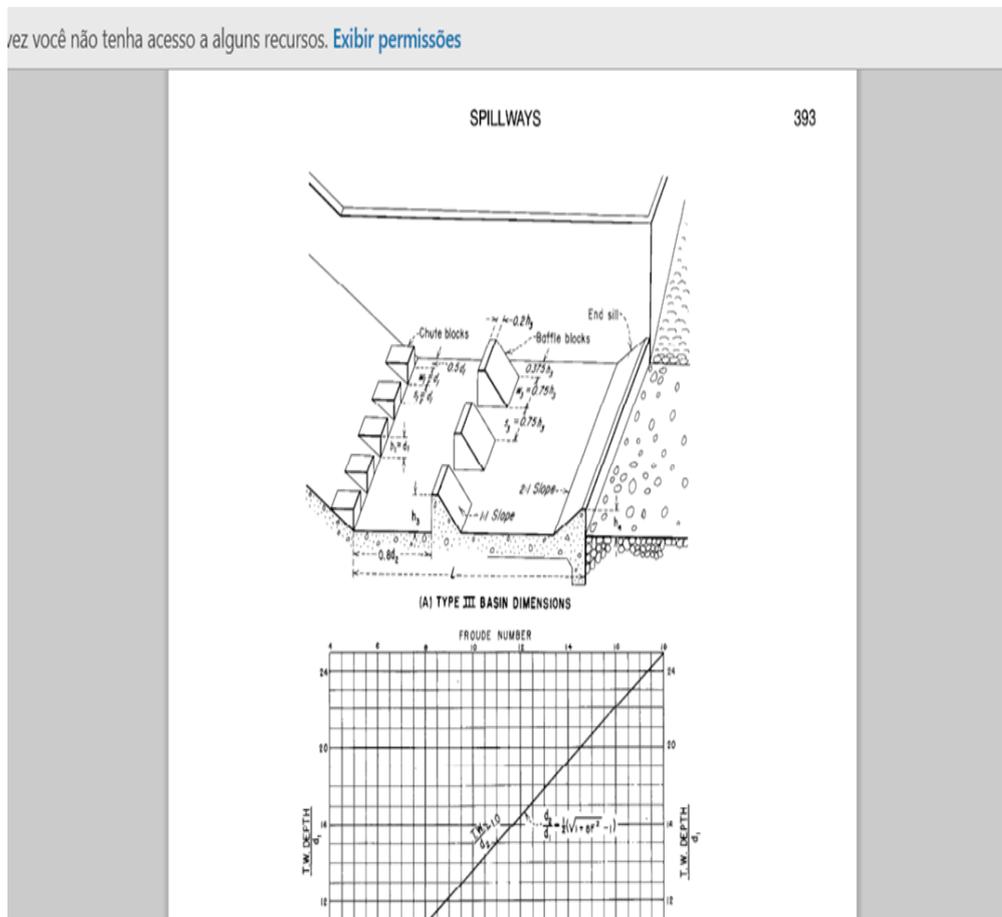
Onde:

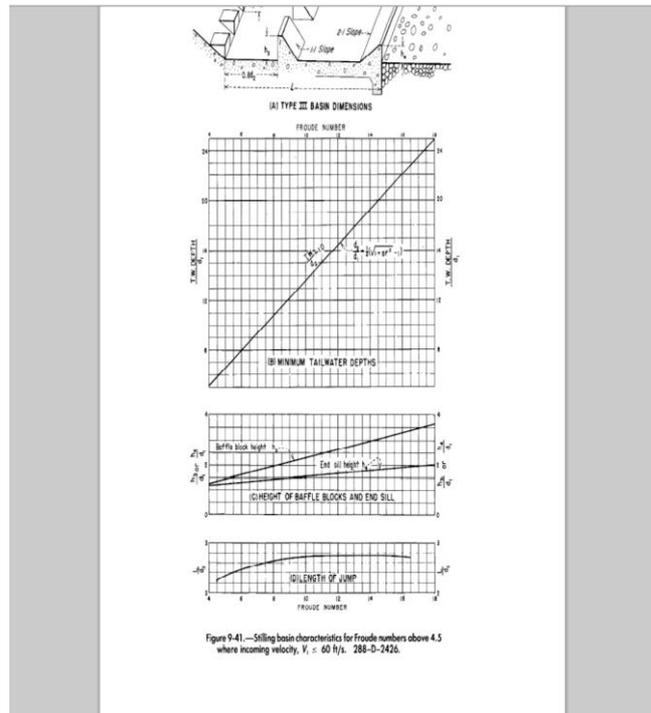
q_1 (vazão específica do canal) = 1,40 m³/s

y_2 (lâmina de saída) = 1,64 m

$v_2 = 0,86$ m/s

Dimensões da Bacia de Dissipação Tipo III da USBR para Froude > 4,50 e $V < 15$ m/s





Número de Froude.....	$Fr = 8,76$
Profundidade Média.....	$y_1 = 0,14$ m
Altura do conjugado.....	$y_2 = 1,64$ m
Relação a_3/y_1	$a_3/y_1 = 2,12$
Relação a_4/y_1	$a_4/y_1 = 1,49$
Comprimento da Bacia de Dissipação.....	LIII = 4,42 m
Comprimento do Bloco Defletor até a Primeira Fileira de Blocos Dissipadores.....	$0,8 \cdot y_2 = 1,31$ m
Altura do Bloco Defletor.....	$a_1 = 0,14$ m
Espaçamento do Bloco Defletor.....	$e_1 = 0,14$ m
Largura do Bloco Defletor.....	$w_1 = 0,14$ m
Altura do Bloco Dissipador.....	$a_3 = 0,29$ m
Espaçamento do Bloco Dissipador.....	$e_3 = 0,22$ m
Largura do Bloco Dissipador.....	$w_3 = 0,22$ m
Largura do Topo do Bloco Dissipador.....	$o_3 = 0,04$ m
Altura da Soleira de Saída.....	$a_4 = 0,21$ m

3.2.7. Energia Dissipada

$$@TIPOIII = \frac{\left(\left(\frac{V_1^2}{2 \cdot g} + y_1\right) - \left(\frac{V_2^2}{2 \cdot g} + y_2\right)\right)}{\left(\frac{V_1^2}{2 \cdot g} + y_1\right)}$$

Onde:

v_1 (velocidade de entrada na bacia) = 10,18 m/s

y_1 (lâmina de entrada do canal) = 0,138 m

v_2 (velocidade de saída) = 0,86 m/s

y_2 (lâmina de saída) = 1,64 m

g (aceleração da gravidade) = 9,81 m/s

Δ TIPO III = 98,97%

3.2.8. Altura da Parede da Ala

$$H_{p.ala} = (K \cdot y_a)^{0,5} + y_a$$

Onde:

Coefficiente K (Reynolds) = 1,50

y_a (lâmina de entrada do canal) = 0,58 m

$H_{p.ala}$ = 1,52 m

3.2.9. Altura da Parede da Bacia de Dissipação

$$H_{p.dis} = (K \cdot y_2)^{0,5} + y_2$$

Onde:

Coefficiente K (Reynolds) = 1,50

y_2 (lâmina de saída) = 1,64 m

$H_{p.dis}$ = 2,21 m

3.3. DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP (ENROCAMENTO)

D_{50} é a dimensão da malha de peneiro no qual passa metade do peso total de enrocamento.

D_{50} não coincide, frequentemente, com o diâmetro médio, que se define como sendo o diâmetro do bloco com peso médio. D_0 e D_{100} correspondem, respetivamente, aos diâmetros mínimos e máximos do enrocamento (Samora, 1993).

1044

$$D_{50} = 0,0413 \cdot v_2^2$$

Onde:

v_2 (velocidade de saída) = 0,86 m/s

D_{50} (diâmetro da pedra) = 0,03 m

$$L_a = D_{50} \cdot (8 + 17 \cdot \log(Fr))$$

Onde:

D_{50} (diâmetro da pedra) = 0,03 m

Fr (número de Froude) = 8,76

L_a (comprimento do avental) = 0,73 m

$$E_{50} = D_{50} \cdot 3,50$$

Onde:

D_{50} (diâmetro da pedra) = 0,03 m

E_{50} = 0,11 m

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados finais desse dimensionamento se mostraram satisfatórios, de certo modo a bacia de dissipação foi bem atribuída para esse projeto de drenagem que foi trabalhado, surgindo alguns dados importantes para o desenvolvimento do dissipador. Deste modo, todo estudo direcionado à hidráulica é muito importante e significante para obras como essa.

A obra de dissipação de energia é necessária, avaliando as velocidades críticas para cada solo, podendo-se afirmar que os solos não suportam velocidades de escoamento elevadas. Porém, a escolha do dissipador varia muito, levando em conta as condições locais também.

Sendo assim, esse artigo tem a finalidade de passar conhecimento tanto para estudantes de engenharia, quanto para engenheiros e público geral, que estejam interessados em adquirir conhecimento de como é dimensionada uma bacia de dissipação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de Hidráulica**. 8ª Ed. São Paulo: Blusher, 1998.

CETESB. **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. 3ª Ed. São Paulo: Cetesb, 1986.

United States Department of the Interior – Bureau Of Reclamation. **Design of Small Dams**. Third Edition, 1987.

Estruturas de Dissipação de Energia – PRÓ GESTÃO

<https://progestao.ana.gov.br/destaque-superior/boas-praticas/seguranca-de-barragens/curso-de-seguranca-de-barragens-dae-1/aula-4-segur-barragem-2016-ext.pdf>

Enrocamento – Departamento de Estradas de Rodagem
http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/ET-DE-Hoo-0II_A.pdf

Ressaltos Hidráulicos - Wikipédia

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ressaltos_hidr%C3%A1ulicos