

Software para  
Arquitetura,  
Engenharia  
e Construção

Manual do utilizador

# Elementos de Contentão

Memória de cálculo - Impulsos

Manual do utilizador

**IMPORTANTE: ESTE TEXTO REQUER A SUA ATENÇÃO E A SUA LEITURA**

A informação contida neste documento é propriedade da CYPE Ingenieros, S.A. e nenhuma parte dela pode ser reproduzida ou transferida sob nenhum conceito, de nenhuma forma e por nenhum meio, quer seja electrónico ou mecânico, sem a prévia autorização escrita da CYPE Ingenieros, S.A.

Este documento e a informação nele contida são parte integrante da documentação que acompanha a Licença de Utilização dos programas informáticos da CYPE Ingenieros, S.A. e da qual são inseparáveis. Por conseguinte, está protegida pelas mesmas condições e deveres. Não esqueça que deverá ler, compreender e aceitar o Contrato de Licença de Utilização do software, do qual esta documentação é parte, antes de utilizar qualquer componente do produto. Se NÃO aceitar os termos do Contrato de Licença de Utilização, devolva imediatamente o software e todos os elementos que o acompanham ao local onde o adquiriu, para obter um reembolso total.

Este manual corresponde à versão do software denominada pela CYPE Ingenieros, S.A. como Elementos de Contenção. A informação contida neste documento descreve substancialmente as características e métodos de manuseamento do programa ou programas que acompanha. O software que este documento acompanha pode ser submetido a modificações sem prévio aviso.

Para seu interesse, a CYPE Ingenieros, S.A. dispõe de outros serviços, entre os quais se encontra o de Actualizações, que lhe permitirá adquirir as últimas versões do software e a documentação que o acompanha. Se tiver dúvidas relativamente a este texto ou ao Contrato de Licença de Utilização do software, pode dirigir-se ao seu Distribuidor Autorizado Top-Informática, Lda., na direcção:

Rua Comendador Santos da Cunha, 304  
4700-026 Braga  
Tel: 00 351 253 20 94 30  
<http://www.topinformatica.pt>

Traduzido e adaptado pela Top-Informática, Lda para a  
© CYPE Ingenieros, S.A.  
Novembro de 2020

Windows® é marca registada de Microsoft Corporation®

## Índice

<b>1. Introdução.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Impulso estático.....</b>	<b>6</b>
2.1. Cálculo do impulso activo .....	6
2.2. Cálculo do impulso passivo.....	6
2.3. Cálculo do impulso em repouso.....	6
2.4. Impulso das cargas situadas sobre o terreno.....	7
2.4.1. Impulsos produzidos por uma sobrecarga uniformemente distribuída .....	7
2.4.2. Impulsos produzidos por uma carga em banda paralela ao coroamento.....	7
2.4.3. Impulsos produzidos por uma carga em linha paralela ao coroamento.....	8
2.4.4. Impulsos produzidos por uma carga pontual ou concentrada em áreas reduzidas (sapatas).....	8
2.4.5. Impulsos das cargas no coroamento de muro.....	9
<b>3. Impulso dinâmico.....</b>	<b>9</b>
3.1. Cálculo do impulso activo .....	9
3.1.1. Coeficiente de impulso activo em condições dinâmicas .....	9
3.1.2. Ângulo de atrito terreno-muro.....	10
3.1.3. Peso específico .....	10
3.1.4. Impulso devido à água superficial .....	10
3.1.5. Efeito das cargas e sobrecargas no tardoz.....	10
3.2. Cálculo do impulso passivo.....	10
3.3. Peso específico.....	11

## Nota prévia

Devido à implementação de novas funcionalidades e melhorias no Elementos de Contenção, é possível que pontualmente surjam imagens ou textos que não correspondam à versão atual. Em caso de dúvida consulte a Assistência Técnica em <https://www.topinformatica.pt/>.

## 1. Introdução

Os impulsos sobre um muro poderão ser dos tipos seguintes:

- **Impulso activo.** O terreno empurra o muro permitindo as suficientes deformações na direcção do impulso para levar o terreno ao seu estado de rotura. É o caso habitual, quando se desenvolve uma 'acção' do terreno.
- **Impulso em repouso.** O terreno empurra, mas o muro não sofre apenas deformações, isto é, são nulas ou desprezáveis. O valor do impulso é maior que o activo.
- **Impulso passivo.** Quando o muro se desloca contra o terreno, comprime-o e este reage. É sempre uma 'reacção'. O seu valor é muito maior que o activo.

Os parâmetros que caracterizam um maciço terroso são os seguintes:

- **Ângulo de talude ( $\beta$ ).** Expressa-se em graus sexagesimais em relação à horizontal. O seu limite é o ângulo de atrito interno.
- **Densidade aparente ( $\gamma$ ).** Também chamada densidade seca.
- **Densidade submersa ( $\gamma'$ ).** Densidade do terreno submerso abaixo do nível freático.
- **Ângulo de atrito interno ( $\phi$ ).** Característica intrínseca do terreno, que é o ângulo máximo de talude natural sem se desmoronar.
- **Evacuação por drenagem (só em muros consola e de cave).** Expresso em %, permite considerar a presença de águas infiltradas no maciço terroso que aumentam os impulsos como uma fração adicional de impulso hidrostático e a densidade do terreno parcialmente saturado. Um valor X%, produzirá um impulso hidrostático adicional de  $(100-x) \%$  e um impulso do terreno tendo em conta o seguinte peso específico:

$$\gamma'_{\text{parcial}} = \gamma' + (\gamma - \gamma') \times \left[ 1 - \frac{100 - x}{100} \right]$$

Considera-se que esta água infiltrada se encontra em toda a altura do muro.

- **Percentagem de impulso passivo (só em muros consola e de cave).** Expresso em % sobre o valor do impulso passivo.
- **Cota de impulso passivo (só em muros consola e de cave).** Cota abaixo da qual se considera impulso passivo (0 por defeito, logo só actuará na sapata, se considerar impulso passivo).
- **Rocha.** Activada esta opção, permite-lhe definir um estrato rochoso, em cujo caso tem de dar como dado a cota à qual aparece, que deve ser inferior à do terreno. Da cota de rocha para baixo, anulam-se os impulsos do maciço terroso, mas não os hidrostáticos se os houver.

**Nível freático.** Acima desse nível, o maciço terroso considera-se com a sua densidade aparente  $\gamma$  ou com a densidade do terreno parcialmente saturado se a percentagem de drenagem for menor que 100%, e abaixo, com a densidade submersa  $\gamma'$ , adicionando o impulso hidrostático para obter o diagrama de impulsos.

## 2. Impulso estático

### 2.1. Cálculo do impulso activo

O impulso activo resolve-se aplicando a teoria de Coulomb.

Os valores da pressão horizontal e vertical num ponto do tardoz situado a uma profundidade z calculam-se como:

$$p_h = \gamma \times z \times \lambda_h \quad ; \quad p_v = \gamma \times z \times \lambda_v$$

sendo:

$$\lambda_h = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2\alpha \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \times \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\lambda_v = \lambda_h \times \cot(\alpha - \delta)$$

sendo,

$z$ : profundidade

$\alpha$ : ângulo do muro com a horizontal

$\gamma$ : densidade do terreno

$\delta$ : atrito terras-muro

$\varphi$ : ângulo de atrito interno do terreno

$\beta$ : ângulo do talude do terreno

No caso de se considerar a coesão do terreno:

$$P_h = \gamma \times z \times \lambda_h - 2 \times c \times \sqrt{\lambda_h} \times \cos\delta$$

sendo:

$c$  = coesão do terreno

### 2.2. Cálculo do impulso passivo

O cálculo do impulso passivo é similar ao cálculo do impulso activo. Basta mudar o sinal positivo para negativo.

$$\lambda_h = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2\alpha \times \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \times \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \times \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Além disso, no caso de se considerar a coesão do terreno:

$$P_h = \gamma \times z \times \lambda_h + 2 \times c \times \sqrt{\lambda_h} \times \cos\delta$$

sendo:

$c$  = coesão do terreno

### 2.3. Cálculo do impulso em repouso

O impulso em repouso resolve-se aplicando a teoria de Jaky.

Calcula-se como:

$$P_{rep} = \gamma \times z \times K_{rep}$$

sendo:

$$K_{rep} = 1 - \operatorname{sen}\varphi$$

Z: profundidade

$\gamma$ : densidade do terreno

$\varphi$ : ângulo de atrito interno do terreno

No caso de existir talude do terreno segue-se a formulação complementar do Corps of Engineers, 1961.

## 2.4. Impulso das cargas situadas sobre o terreno

### 2.4.1. Impulsos produzidos por uma sobrecarga uniformemente distribuída

Aplica-se o método de Coulomb, onde a pressão horizontal e vertical produzida por uma sobrecarga uniformemente distribuída vale:

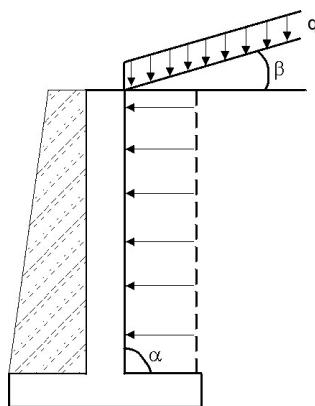


Fig. 2.1

$$p_h = \lambda_h \times q \times \frac{\operatorname{sen}\alpha}{\operatorname{sen}(\alpha+\beta)} ; \quad p_v = \lambda_v \times q \times \frac{\operatorname{sen}\alpha}{\operatorname{sen}(\alpha+\beta)}$$

sendo:

$\lambda_h$ : Coeficiente de impulso horizontal

$\lambda_v$ : Coeficiente de impulso vertical

q: carga superficial

$\alpha$ : ângulo do paramento do muro com a horizontal

$\beta$ : ângulo de inclinação do terreno.

### 2.4.2. Impulsos produzidos por uma carga em banda paralela ao coroamento

O impulso horizontal que uma sobrecarga em banda produz para o caso de tardoz vertical e terreno horizontal seguindo a Teoria da Elasticidade vale:

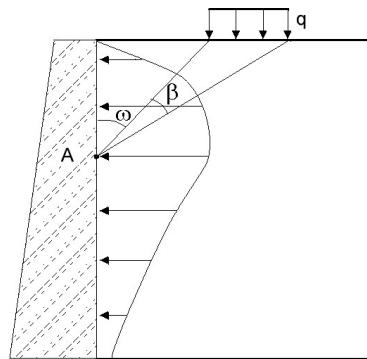


Fig. 2.2

$$p_q = \frac{2 \times q}{\pi} \times (\beta - \sin \beta \times \cos 2\omega)$$

sendo,

q: carga em banda

$\beta$  e  $\omega$ : ângulos que se depreendem da figura. O primeiro da fórmula mede-se em radianos.

#### 2.4.3. Impulsos produzidos por uma carga em linha paralela ao coroamento

Utilizou-se o método baseado na Teoria da Elasticidade. O impulso horizontal que uma sobrecarga em linha q produz para o caso de tardoz vertical e terreno horizontal é:

$$p_q = \frac{q}{\pi \times z} \times \sin^2 2\omega$$

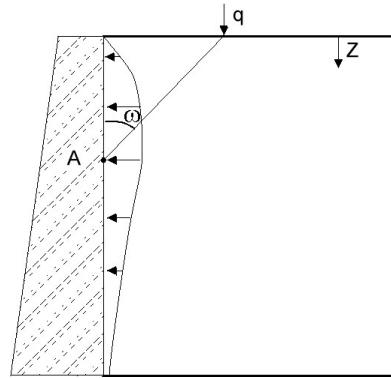


Fig. 2.3

#### 2.4.4. Impulsos produzidos por uma carga pontual ou concentrada em áreas reduzidas (sapatas)

Utilizou-se o método baseado na Teoria da Elasticidade. O impulso horizontal que uma carga pontual produz para o caso de tardoz vertical e terreno horizontal é:

Se ( $m < 0.4$ ),

$$p_q = 0.28 \times \frac{q}{H^2} \times \frac{n^2}{[0.16+n^2]^3}$$

Se ( $m \geq 0.4$ ),

$$p_q = 1.77 \times \frac{q}{H^2} \times \frac{m^2 n^2}{[m^2 + n^2]^3}$$

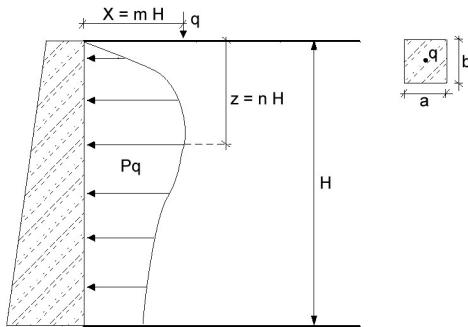


Fig. 2.4

#### 2.4.5. Impulsos das cargas no coroamento de muro

Podem-se introduzir cargas pontuais e momento no coroamento.

Estas cargas geram esforços directamente, mas também podem ter resposta passiva do terreno se for o caso.

### 3. Impulso dinâmico

A acção sísmica faz com que o impulso sobre os muros aumente transitoriamente. O impulso activo em condições sísmicas é maior que o correspondente à situação estática.

De forma similar, o impulso passivo que o muro pode transmitir contra o terreno pode reduzir-se consideravelmente durante os sismos. O impulso passivo em condições sísmicas é menor que o correspondente à situação estática.

Para a avaliação dos impulsos utilizou-se o método pseudoestático, com os coeficientes de impulso dinâmicos baseados nas equações de Mononobe-Okabe.

#### 3.1. Cálculo do impulso activo

##### 3.1.1. Coeficiente de impulso activo em condições dinâmicas

O coeficiente de impulso activo em condições dinâmicas é o seguinte:

$$K_{ad} = \frac{\cos\theta(\alpha + \theta)}{\cos\theta \times \cos\alpha} \times K_a^*$$

sendo:

$\alpha$ : ângulo do paramento do muro com a vertical

$\theta$ : ângulo definido pelas expressões seguintes:

$$\theta = \arctan \left( \frac{a_h}{g - a_v} \right) \quad \text{Caso 1}$$

$$\theta = \arctan \left( \frac{a_h}{g - a_v} \right) \times \frac{\gamma_d}{\gamma'} \quad \text{Caso 2}$$

onde:

$g$ : aceleração da gravidade

$\gamma_d$ : peso específico seco

$\gamma_{sa}$ : peso específico saturado

$\gamma'$ : peso específico submerso

$a_h$ : aceleração de cálculo horizontal

$a_v$ : aceleração de cálculo vertical, que o programa toma como metade da horizontal

$K_a^*$ : o coeficiente de impulso activo em condições estáticas, mas em cujo cálculo, no lugar onde apareça  $\alpha$  introduzir-se-á  $(\alpha+\theta)$  e onde apareça  $\beta$  introduzir-se-á  $(\beta+\theta)$ .

O Caso 1 corresponde aos maciços terrosos de tardoz que estejam secos ou parcialmente saturados, sempre situados sobre o nível freático.

O Caso 2 corresponde a maciços terrosos abaixo do nível freático.

### 3.1.2. Ângulo de atrito terreno-muro

Este ângulo pode diminuir consideravelmente durante o sismo. Isto significa um aumento adicional do impulso activo. Por isso, considerar este ângulo 0 fica do lado da segurança.

### 3.1.3. Peso específico

O impulso devido ao peso das terras é maior devido ao aumento do peso específico do terreno, tanto acima como abaixo do nível freático. O coeficiente a aplicar sobre o peso específico, e que o programa considera automaticamente é:

$$f = 1 + \frac{a_v}{g}$$

sendo:

$a_v$ : aceleração de cálculo vertical =  $1/2 \times a_h$

$g$ : aceleração da gravidade

### 3.1.4. Impulso devido à água superficial

Abaixo do nível freático o incremento do impulso em cada ponto calcula-se como:

$$\Delta E_w = \frac{7}{8} \times \frac{a_v}{g} \times \gamma_w \times h_z$$

sendo:

$a_h$ : aceleração de cálculo horizontal

$g$ : aceleração da gravidade

$h_z$ : profundidade

$\gamma_w$ : peso específico da água

### 3.1.5. Efeito das cargas e sobrecargas no tardoz

A intensidade das cargas sobre o maciço terroso deverão multiplicar-se por:

$$f = 1 + \frac{a_v}{g}$$

sendo:

$a_v$ : aceleração de cálculo vertical =  $1/2 \times a_h$

$g$ : aceleração da gravidade

## 3.2. Cálculo do impulso passivo

O impulso passivo pode diminuir durante o sismo.

O coeficiente de impulso passivo em condições dinâmicas é o seguinte:

$$K_{pd} = \frac{\cos\beta(\alpha - \theta)}{\cos\theta \times \cos\alpha} \times K_p^*$$

sendo:

$\alpha$ : ângulo do paramento do muro com a vertical

$\theta$ : o mesmo ângulo definido para o caso de impulso activo

$K_p^*$  : o coeficiente de impulso passivo em condições estáticas, mas em cujo cálculo, no lugar onde apareça  $\alpha$  introduzir-se-á  $(\alpha-\theta)$  e onde apareça  $\beta$  introduzir-se-á  $(\beta-\theta)$ .

### 3.3. Peso específico

O impulso devido ao peso das terras é menor. O coeficiente a aplicar sobre o peso específico e que o programa considera automaticamente é:

$$f = 1 - \frac{a_v}{g}$$

sendo:

$a_v$ : aceleração de cálculo vertical =  $1/2 \times a_h$

$g$ : aceleração da gravidade