

# PROJETO ESTRUTURAL DE TUBOS DE SEÇÃO RETANGULAR DE CONCRETO ARMADO

## SUMÁRIO

### 1- INTRODUÇÃO

- 1.1 Preliminares
- 1.2 Noções gerais sobre o comportamento estrutural de tubos de seção retangular
- 1.3 Ações a considerar

### 2- CÁLCULO DAS PRESSÕES PRODUZIDAS PELO SOLO E PELA ÁGUA

- 2.1 Pressões verticais
- 2.2 Pressões laterais
- 2.3 Efeito de arqueamento

### 3- CÁLCULO DAS PRESSÕES PRODUZIDAS POR SOBRECARGAS NA SUPERFÍCIE

- 3.1 Força uniformemente distribuída aplicada na superfície
- 3.2 Força parcialmente distribuída aplicada na superfície
- 3.3 Sobrecargas rodoviárias
- 3.4 Outras sobrecargas

### 4- MODELAGEM E CONSIDERAÇÕES DE CÁLCULO

- 4.1 Esquema estático
- 4.2 Coeficiente de reação do solo
- 4.3 Consideração da não-linearidade física

### 5- SITUAÇÕES DE PROJETO E COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO AÇÕES

- 5.1 Estados limites últimos
- 5.2 Estados limites de serviço
- 5.3 Situações transitórias (manuseio)

### 6- DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA

- 6.1 Concreto
- 6.2 Armadura em telas soldadas
- 6.3 Cobrimento da armadura
- 6.4 Diretrizes para o dimensionamento
- 6.5 Arranjo da armadura
- 6.6 Cálculo da armadura para as solicitações normais
- 6.7 Verificação da fadiga da armadura
- 6.8 Verificação da resistência à força cortante
- 6.9 Verificação do limite de fissuração inaceitável
- 6.10 Verificação da situação de manuseio

### 7- EXEMPLO COMENTADO DE CÁLCULO

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO – Tabelas de telas soldadas para armação de tubos

## PRINCIPAIS SÍMBOLOS E SIGLAS

Esta relação é limitada aos símbolos mais importantes, normalmente aqueles que aparecem mais de uma vez.

### Letras minúsculas

$a$	Dimensão de área carregada na superfície
$a_m$	Dimensão de área carregada propagada até o plano médio da laje
$a_p$	Dimensão de área carregada propagada
$a_r$	Dimensão de área de contacto da roda no pavimento
$a_{vei}$	Dimensão da área de projeção do veículo-tipo
$b$	Dimensão de área carregada na superfície, largura de seção transversal
$b_{col}$	Largura colaborante
$b_{col,m}$	Largura colaborante para momento fletor
$b_{col,v}$	Largura colaborante para força cortante
$b_{ext}$	Largura total do tubo (medida externa)
$b_l$	Largura interna do tubo
$b_m$	Dimensão de área carregada propagada até o plano médio da laje
$b_p$	Dimensão de área carregada propagada
$b_r$	Dimensão de área de contacto da roda no pavimento
$b_v$	Largura da vala
$b_{vei}$	Dimensão da área de projeção do veículo-tipo
$c$	Cobrimento da armadura
$d$	Altura útil da seção (distância do CG da armadura de tração até a borda mais comprimida)
$d'$	Distância do CG da armadura até a borda próxima
$d_{iça}$	Distância do ponto de içamento até a borda do tubo
$e_e$	Espaçamento entre eixos de um veículo
$e_r$	Espaçamento entre rodas de um mesmo eixo
$f_{ck}$	Resistência característica do concreto à compressão
$f_{cd}$	Resistência de cálculo do concreto à compressão
$f_{ctd}$	Resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento
$f_{fad}$	Resistência do aço à fadiga
$f_{tk}$	Resistência característica do concreto à tração
$f_{yd}$	Resistência de cálculo do aço à tração
$h$	Altura da seção transversal, espessura das paredes do tubo
$h_b$	Espessura da laje de fundo
$h_c$	Espessura da laje de cobertura
$h_{cl}$	Altura a partir da qual ocorre superposição dos efeitos das rodas dos veículos na direção longitudinal
$h_{ct}$	Altura a partir da qual ocorre superposição dos efeitos das rodas dos veículos na direção transversal
$h_{equ}$	Altura de solo equivalente
$h_{ext}$	Altura total do tubo (medida externa)
$h_l$	Altura livre do tubo

$h_p$	Espessura da parede lateral
$h_{pav}$	Espessura de pavimento
$h_s$	Altura de solo sobre o tubo
$k$	Coefficiente de empuxo do solo, coeficiente para cálculo de força cortante
$k_a$	Coefficiente de empuxo ativo do solo
$k_o$	Coefficiente de empuxo em repouso do solo
$k_r$	Módulo de reação do solo
$\ell$	Vão teórico da laje de cobertura
$\ell_c$	Comprimento do tubo na direção longitudinal
$m$	Dimensão das mísulas
$p_h$	Pressão horizontal
$p_{hq}$	Pressão horizontal produzida por sobrecarga na superfície
$p_{hc}$	Pressão horizontal produzida por sobrecarga no nível da laje de cobertura
$p_{hb}$	Pressão horizontal produzida por sobrecarga no nível da laje de fundo
$p_v$	Pressão vertical
$p_{vq}$	Pressão vertical produzida por sobrecarga na superfície
$q$	Força distribuída de sobrecarga de tráfego
$q'$	Força distribuída de sobrecarga de tráfego no passeio
$q_v$	Força distribuída produzida por veículo-tipo
$q_m$	Resultante das cargas devidas à sobrecarga de tráfego ferroviário
$q_{sup}$	Força uniformemente distribuída aplicada na superfície
$q_{equ}$	Força parcialmente distribuída equivalente
$q_c$	Força parcialmente distribuída na superfície
$q_{cm}$	Força parcialmente distribuída propagada até o plano médio da laje
$q_{cp}$	Força parcialmente distribuída propagada
$r_{ap}$	Razão de recalque para tubos em aterro com projeção positiva
$t$	Lado do quadrado de área igual ao retângulo de contacto da roda no pavimento.
$t_p$	Lado do quadrado propagado até o plano médio da laje de cobertura
$y$	Ordenada
$w$	Abertura de fissuras

### Letras maiúsculas

$A$	Área
$A_s$	Área da seção transversal da armadura
$A_{s,min}$	Área mínima de armadura
$A_{s,int}$	Área da armadura mais próxima da face interna
$A_{s,ext}$	Área da armadura mais próxima da face externa
$E_{cs}$	Módulo de elasticidade secante do concreto
$E_{ci}$	Módulo de elasticidade do concreto
$E_s$	Módulo de elasticidade do aço
$M$	Momento fletor
$N$	Força normal
$Q$	Força concentrada ou resultante de força parcialmente distribuída aplicada na superfície, peso de veículo-tipo

$Q_{red}$	Peso do veículo-tipo menos a resultante da carga $q$ na área de projeção do veículo
$Q_e$	Força concentrada por eixo de trem-tipo ferroviário
$Q_r$	Força aplicada por cada roda de um veículo
$V$	Força cortante

### Letras gregas

$\alpha_e$	Relação do módulo de elasticidade do aço e do concreto
$\gamma_{solo}$	Peso específico do solo
$\gamma_{pav}$	Peso específico do pavimento
$\gamma_a$	Peso específico da água
$\gamma_f$	Coefficiente de ponderação das ações
$\varphi$	Coefficiente de impacto
$\eta_i$	Coefficiente de conformação superficial
$\rho$	Taxa de projeção, taxa geométrica de armadura
$\sigma$	Tensão normal
$\sigma_s$	Tensão na armadura
$\mu$	Coefficiente de atrito interno do solo
$\mu'$	Coefficiente de atrito do solo com a parede da vala
$\phi$	Ângulo de atrito interno do solo, diâmetro de barra
$\phi'$	Ângulo de atrito do solo com a parede da vala
$\phi_o$	Ângulo de propagação da força parcialmente distribuída no solo
$\psi_{1, fad}$	Coefficiente de combinação frequente de fadiga
$\psi_1$	Coefficiente de combinação frequente

### Siglas

ACPA	American concrete pipe association
ATHA	Asociación española de fabricantes de tubos de hormigón
CBR	California bearing ratio
CG	Centro de gravidade
EI	Rigidez do elemento
IBTS	Instituto brasileiro de tela soldada
NBR	Norma brasileira registrada
TSRCA	Tubo de seção retangular de concreto armado