

Número de Vedernikov para canais

Introdução

Um adimensional muito desconhecido em cálculos de canais é o número de Vedernikov. Victor Ponce da Universidade de San Diego conta várias estórias engraçadas que colheu sobre tal número.

Ven Te Chow, amigo do prof. dr. Kokei Uehara, em sua viagem à Rússia é quem descobriu as pesquisas de Vedernikov e a mostrou no capítulo 4 do seu famoso livro.

Apesar de escoamento em um canal ser uniforme dependendo da velocidade e da declividade do canal teremos **instabilidades na superfície da água**. Esta instabilidade é a formação de ondas na superfície da água. Segundo Chow, 1983 este fenômeno foi observado pela primeira vez em canais abertos nos Alpes em 1910 por Cornish.

Estas ondas são fenômenos de escoamento transitórios.

Em 1945 Vedernikov empregando aproximações das equações de Saint Venant desenvolveu um critério que foi chamado por Chow como o **número de Vederninok Ve**.

Número de Vedernikov

Chow, 1983 mostra a equação de Vedernikov quando se usa a fórmula de Manning para canais. A fórmula genérica do número de Vedernikov é:

$$Ve = 2F (1 - Rh \times \delta P / \delta A)$$

Sendo:

Ve= número de Vedernikov

F= número de Froude

Rh= raio hidráulico

P= perímetro (m)

A= área (m²)

$\delta P / \delta A$ = derivada de P em relação a A

$$Ve = (2/3) \cdot \Gamma \cdot F \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

Ve= número de Vedernikov

Γ = fator de forma da seção do canal conforme Tabela (1)

F= número de Froude

Tabela 1- Fatores de forma da seção (Γ)

Definição do canal		Γ
Retangular	b= largura y= altura	$b / (b + 2 \cdot y)$
Trapezoidal	B= base Z= talude R= raio hidráulico T= largura da superfície	$1 - [R (1+z^2)^{0,5} + (1+z^2)^{0,5}] / T$
Circular	Θ =ângulo central	$1 - [\Theta - \text{sen } \Theta] / [\Theta (1 - \text{cos } \Theta)]$

Fonte: Richard H. French in Mays, 1999

Chow, 1985 recomenda que o número de Froude F seja calculado pela equação:

$$F = V / [(g \cdot D \cos \theta) / \alpha]^{0,5} \quad \text{(Equação 2)}$$

Sendo:

F = número de Froude (adimensional)

V = velocidade média na seção (m/s)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ = aceleração da gravidade

D = profundidade hidráulica (m) = A / T

A = área da seção molhada (m^2)

T = comprimento da superfície livre do canal (m)

θ = ângulo da declividade

α = coeficiente de energia geralmente igual a 1.

Chow, 1985 faz as seguintes observações sobre a Equação (1):

- Quando o canal é muito largo o valor de $\Gamma = 0$.
- Quando o canal é muito estreito o valor de $\Gamma = 1$

A utilidade do número de Vedernikov é saber se haverá ou não onda no canal, isto é, se o canal será estável ou instável. O escoamento de ondas em inglês são denominados de *Slug Flow* e *Roll Waves*. Há distinção entre o *Slug Flow* e *Roll Waves*, mas ambos são para escoamento instável.

Caso Ve for menor que a unidade o canal será estável sem formação de ondas;

$Ve < 1$ escoamento estável

$Ve = 1$ canal com escoamento tem escoamento neutro

$Ve > 1$ escoamento instável

Quando Ve for maior que a unidade o canal terá escoamento instável com formação de ondas e haverá fenômenos transitórios. O problema das ondas é que elas aumentarão o nível da água no canal e poderá extravasar..

Outra observação é que podemos ter a formação de ondas mesmo com o número de Froude baixo, como por exemplo, $F < 0,74$. **Isto mostra que o número de Froude sozinho não é suficiente para sabermos se haverá a formação de ondas ou não.**

Número de Vedernikov para seção uniforme retangular estável

$$Ve = \frac{2}{3} [1 - 2Y^* / (2Y^* + 1)] \times F \quad \text{(Equação 3)}$$
$$Ve \leq 1$$

Sendo:

Ve = número de Vedernicov

Y^* = y/b

b = largura do canal (m)

F = número de Froude usual

Número de Froude limite

Clark County, 1999 introduz o conceito de **número de Froude limite**, que é aquele obtido pela Equação (.1) quando se faz número de Vedernikov $Ve \leq 1$ e se representa F_1 .

$$\begin{aligned} Ve &= (2/3) \times \Gamma \times F \\ 1 &= (2/3) \times \Gamma \times F_1 \\ F_1 &\leq 1 / [(2/3) \times \Gamma] \quad F_1 \leq (3/2) / \Gamma \end{aligned} \quad \text{(Equação 4)}$$

Exemplo 1

Calcular o número de Froude limite F_1 para seção retangular com base $b=3,00\text{m}$ e altura $y=2,00\text{m}$. Conforme Tabela (1) para seção retangular temos:

$$\begin{aligned} \Gamma &= b / (b + 2y) \\ \Gamma &= 3 / (3 + 2 \times 2) = 0,43 \end{aligned}$$

$$F_1 \leq (3/2) / 0,43 = 3,49$$

Portanto, o número de Froude limite $F_1 = 3,49$, significando que se o número de Froude calculado for maior que 3,49, teremos escoamento instável com a formação de ondas.

Para um **canal retangular** o número de Froude limite F_1 é:

$$F_1 \leq (3/2) \times (2 Y^* + 1) \quad \text{(Equação 5)}$$

Sendo:

F_1 = número de Froude limite calculado pelo número de Vederninok

$Y^* = y/b$

b = largura do canal

Para um **canal trapezoidal** temos:

$$F_1 \leq (3/2) \times \{ [(1+2kY^*) (1+2zY^*)] / (1+2zY^* + 2kzY^{*2}) \} \quad \text{(Equação 6)}$$

Sendo:

$$K = (1 + z^2)^{0,5}$$

z = declividade

$Y^* = y/b$

b = largura do canal

Bibliografia e livros consultados

- CHAUDHRY, M. HANIF. *Open channel flow*. Prentice Hall, 1993.
- CHOW, VEN TE. *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill, 1985.
- CLARK COUNTY. *Hydrologic criteria and drainage design manual*. 12 de agosto de 1999.
- TUCCI, CARLOS E. M. *Hidrologia*. EDUSP. 1003, 943 páginas
- ZUCARELLI, GRACIELA VIVIANA e MORRESI, MARIA DEL VALLE. *Flujo em canales abiertos: caracterizacion em cursos de la provincia de Santa Fe*, República Argentina.