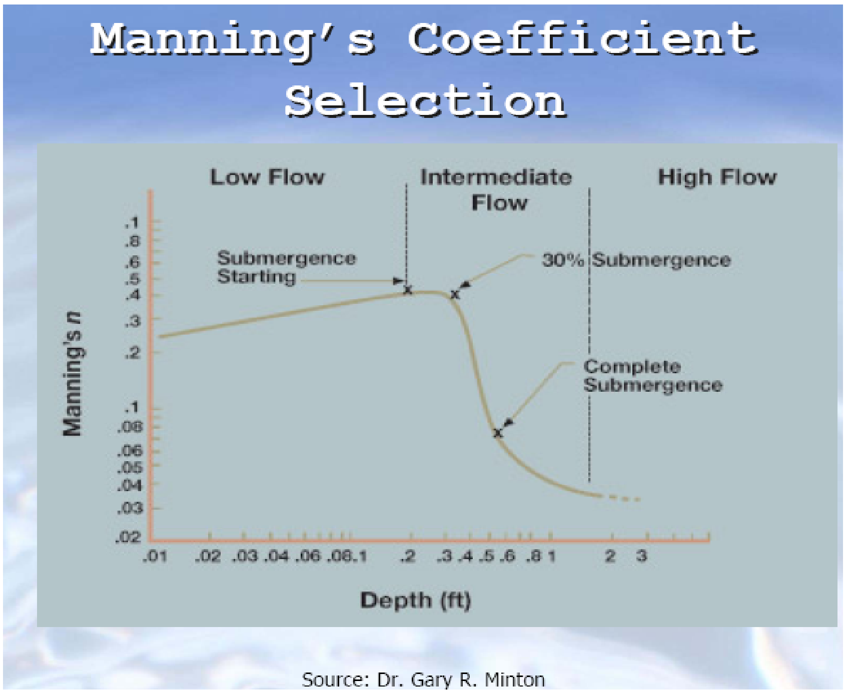
Capítulo 21
Canais gramados



O valor da rugosidade n de Manning varia conforme a altura da lâmina de água para pequenas vazões, grandes vazões e vazões intermediarias

Sumário

Capítulo 21 - Canais gramados

21.1 Introdução

Os canais gramados são destinados a condução das águas pluviais na ocasião das chuvas (fluxo intermitente) e melhoria da qualidade das águas pluviais através da filtração no revestimento gramado. Geralmente os canais gramados são acompanhados de faixa de filtro gramado que tem objetivo de funcionar como um pré-tratamento.

Figura 21.1- Canal gramado usual a beira de uma estrada em local de baixa densidade habitacional

Conforme *Knox County Tennessee* os canais gramados possuem as seguintes características:

- Velocidades baixas
- São executados para escoamento de águas pluviais intermitentes, isto é, quando cai uma tormenta.
- Precisam de manutenção permanente
- Não deve haver muitas sombras

21.2 Eficiência do canal gramado

De modo geral, os canais gramados **reduzem somente 50% de** sólidos totais em suspensão (TSS). Remove também alguns **metais pesados como Cu, Pb, Zn e Cd** em **aproximadamente 30%**, menos os metais solúveis, conforme Tabela (21.1).

Tabela 21.1 - Remoção de poluentes em canais gramados

Poluente	**Redução**
Sólidos totais em suspensão (TSS)	50%
Fósforo total (PT)	25%
Nitrogênio total (NT)	20%
Coliformes fecais	Dados insuficientes
Metais pesados	30%

Fonte: ESTADO da GEORGIA, 2001.

21.3 Método Racional

Para achar a vazão de águas pluviais que chega até os canais gramado é muito usado o Método Racional:

$$Q= C \cdot I \cdot A /360$$

Sendo:
Q= vazão de pico (m^3/s);
C= coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de runoff (varia de 0 a 1)
I= intensidade média da chuva (mm/h);
A= área da bacia (ha). 1ha= 10.000m^2

21.4 Intensidade da chuva

A intensidade da chuva depende do período de retorno adotado e do tempo de concentração. Para a RMSP (Região Metropolitana de São Paulo) vale a equação Paulo S. Wilken.

$$I = \frac{1747{,}9 \cdot T_r^{0{,}181}}{(t + 15)^{0{,}89}} \quad \text{(mm/h)}$$

Sendo:
I= intensidade média da chuva (mm/h);
T_r = período de retorno (anos);
tc= duração da chuva (min).

21.5 Tipos de gramas

Existem aproximadamente 9.000 espécies da família das gramíneas.

Gramas tolerantes a seca e não tolerantes

Conforme informações da técnica em paisagismo Marinez Costa as melhores gramas tolerantes a seca são:

- *Batatais*
- *Bermuda*
- *Esmeralda*

As gramas pouco tolerantes a seca são:

- *Santo Agostinho*
- *Grama Coreana*
- *São Carlos*

As características principais das gramas mencionadas acima são:

Batatais (melhor de todas)

Nome cientifico: *Paspalum Notatum, Flugge* (esta grama é usada muito nas estações climatológicas no Brasil, pois permanece praticamente verde durante todo o ano, desde que seja irrigada).
Altura de 15cm a 30cm
Resiste ao pisoteio
Resiste à seca
Não resiste a sombra
Tolerância à meia sombra
Uso em parques públicos e grandes áreas
Resistente a pragas e doenças.

Bermuda

Nome cientifico: *Cynodum dactylum*
Uso em campos esportivos, playgrounds e campos de golfe.
Tolerantes a pisoteio
Resistente a seca
Suporta temperatura até 40ºC
Sobrevive até 12mm /semana de água de irrigação
Até 20cm de altura

Esmeralda

Nome cientifico: *Zoysia japonica*
Altura de 10cm a 15cm
Originaria do Japão
Muito ramificada
Gosta de sol
Não resiste muito ao pisoteio
Não resiste a sombra
Resiste à seca

Santo Agostinho

Nome cientifico: *Stenotaphrum secundatum*
Altura de 15cm a 25cm
Não resiste a sombras
Não resiste ao pisoteio
Tolerante a salinidade
Bom para região litorânea
Provém da América Subtropical

Grama coreana

Nome cientifico: *Zoysia Tanuifolia*
Altura de 10cm a 15cm
Gosta de muito sol
Crescimento lento
Não é resistente ao pisoteio
Precisa de irrigação periódica.

São Carlos

Nome científico: *Axonopus Compressus*
Altura de 15cm a 20cm
Origem do sul do Brasil
Tolerância ao frio
Pleno sol e meia sombra
Não é resistente a seca
Usar em áreas de sobra

A Figura (21.2) mostra foto de vários tipo de gramas existentes no Brasil.

Figura 21.2- Vários tipos de grama usada no Brasil
Fonte: http://www.itograss.com.br/Noticias/escolhagrama.htm

A seleção da grama adequada além das condições do solo e do clima devem ser consideradas os pontos de vistas das condições hidráulicos como vazão e altura da lâmina de água conforme Chow, 1973

21.6 Equação de Manning

A equação básica para canais que usaremos é a equação de Manning nas unidades SI.

$$Q= (1/n) \times A \times R^{(2/3)} S^{0,5}$$
$$V= (1/n) \times R^{(2/3)} S^{0,5}$$

Sendo:
n= coeficiente de rugosidade de Manning.
Q= vazão de projeto (m^3/s);
A= área da seção transversal (m^2);
R= raio hidráulico (m) = Área molhada/ perímetro molhado.
S=declividade do canal (m/m).
V= velocidade média (m/s)

Uma pecularieda de do canal gramado é que o valor da rugosidade de Manning “n” depende de inúmeros fatores, como tipo de grama, altura da lâmina de água, densidade dos pedúnculos da grama por metro quadrado.

21.7 Classes de Retardo

Pesquisas feitas pelo *Soil Conservation Service* (SCS) em 1969 estabeleceram que as gramas usadas em canais gramados forma 5 Classes de retardo:A, B, C, D, E conforme Tabela (21.2). Conforme Haan et al, 1994 se uma vegetação em particular não consta da Tabela (21.2) uma vegetação similar pode ser usada para achar a classe de retardo.

Tabela 21.2- Coeficiente de retardo de gramas em canais gramados

Classe de Retardo/ grau de retardo	Cobertura	Condições
A (muito alto)	Reed canary grass	Média de 90cm de altura
	Yellow bluestem	Média de 90cm de altura
B (Alto)	Smooth bromegrass	Média de 30cm a 40cm de altura
	Bermuda grass	Média de 30cm de altura
	Native Grass mixture (little bluestems, blue grama and other Long and shcr Midwest grasses)	Média de 30cm de altura
	Tall fescue	Média de 45cm
	Lespedeza sericea	Média de 50cm
	Grass-legume mixture timoth smooth	Média de 50cm
	Tall fescue, with bird´s foot trefoil or iodino	Média 45cm
	Blue grama	Média 35cm
C (Moderado)	Bahia	15cm a 18cm de altura
	Bermuda grass	Média de 15cm
	Bermuda (Brasil)	**Até 20cm**
	Redstop	40cm a 60cm
	Grass-legume mixture-summer	15cm a 20cm
	São Carlos	**15cm a 20cm**
	Centipede grass	15cm
	Batatais (Brasil)	**15cm a 30cm**
	Santo Agostinho (Brasil)	**15cm a 25cm**
	Kentuchy bluegrass	Altura de 15cm a 30cm
D (baixo)	Bermuda grass	Altura Média de 6cm
	Red Fescue	Média de 30cm a 45cm
	Esmeralda (Brasil)	**Altura de 10cm a 15cm**
	Grama coreana	**Altura de 10cm a 15cm**
	Buffalo grass	Altura de 8cm a 15cm
	Grass legume mixture fall, spring	Altura de 10cm a 13cm
	Lespedeza sericea	Após corte altura de 5cm
E (muito baixo)	Bermuda grass	Altura de 4cm

Fonte: Coyle, 1975 in Chin. 2000.
Nota: o autor introduzir baseado na altura algumas gramas usadas no Brasil.

Haan et al, 1994 diz que quando o tipo de vegetação não é conhecida podemos fazer uma estimativa das classes de retardo conforme a altura da mesma conforme Tabela (21.3).

Tabela 21.3- Coeficiente de retardo de gramas em canais gramados

Condições da vegetação	Altura da vegetação (grama) (cm)	Classe de Retardo
Boa	>76cm	A
	28cm a 61cm	B
	15cm a 25cm	C
	5cm a 15cm	D
	< 5cm	E
Moderada	>76cm	B
	28cm a 61cm	C
	15cm a 25cm	D
	5cm a 15cm	D
	< 5cm	E

Fonte: Soil Conservation Service, 1979 in Haan et al, 1994.

Tabela 21.4- Coeficiente de retardo de gramas em canais gramados com classificação aproximada de algumas gramas usadas no Brasil.

Condições da vegetação	Altura da vegetação (grama) (cm)	Classe de Retardo	Grau de retardo
Boa	>76cm	A	Muito alto
	28cm a 61cm	B	Alto
Santo Agostinho, São Carlos	15cm a 25cm	C	Moderado
Coreana, Batatais, Esmeralda	5cm a 15cm	D	Baixo
	< 5cm	E	Muito baixo
Moderada	>76cm	B	Alto
	28cm a 61cm	C	Moderado
	15cm a 25cm	D	Baixo
	5cm a 15cm	D	Baixo
	< 5cm	E	Muito baixo

Fonte: Soil Conservation Service, 1979 in Haan et al, 1994.
Nota: as gramas usadas no Brasil em itálico foram introduzidas pelo autor.

21.8 Coeficiente n de Manning

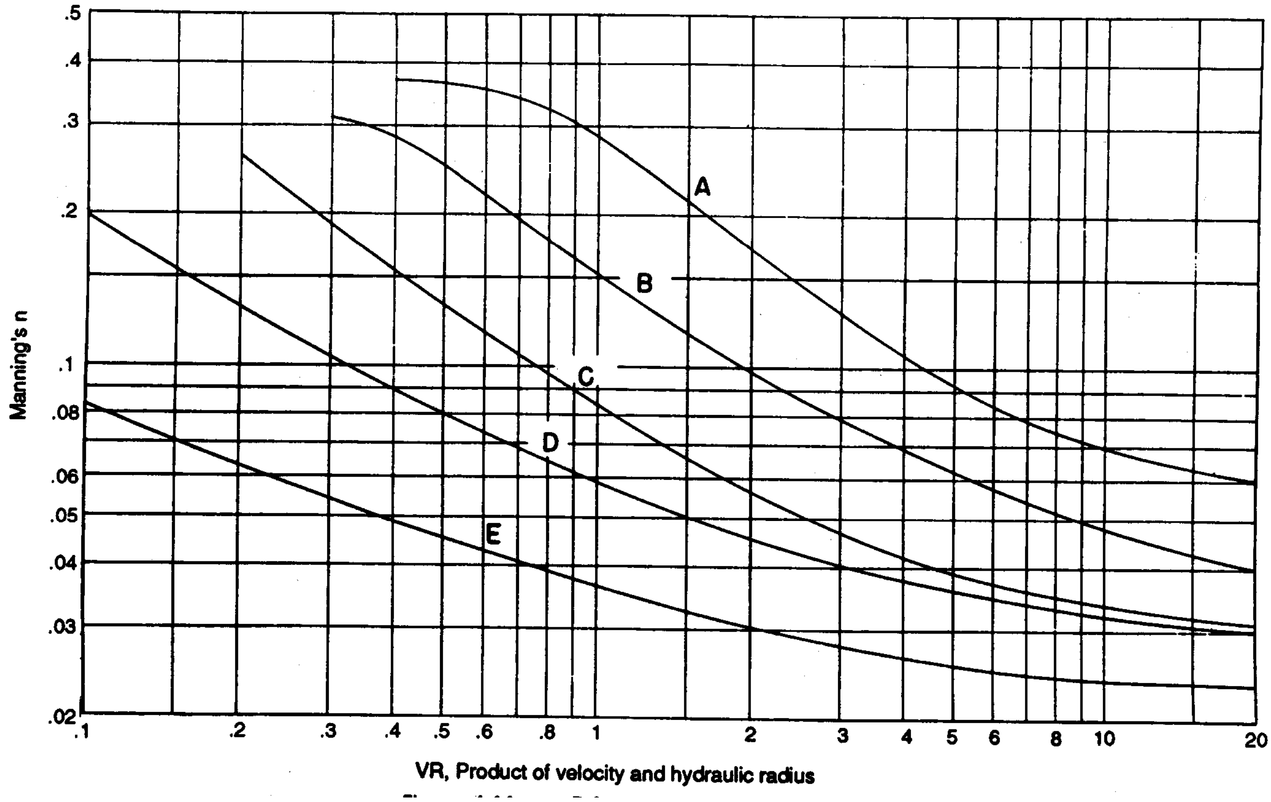


Figura 21.3- Gráfico Velocidade x Raio Hidráulico em ft^2/s e com o coeficiente "n" de Manning Fonte: Haan et al, 1994. Este gráfico é básico para o dimensionamento de canais gramados.

A Figura (21.3) mostra no gráfico as 5 Classes de retardo: A,B,C,D,E e o coeficiente de Manning "n" em função do produto da velocidade em ft/s pelo raio hidráulico em ft.

Haan et al, 1994 apresentou a equação de Temple et al, 1987 e acrescentamos as restrições de Temple et al, 2003.

$$n = \exp\{C_I\,(0{,}01329\,(\ln (VxR))^2 - 0{,}09543 \times \ln (V \times R) - 0{,}2971) - 4{,}16\} \qquad \textbf{Equação 21.1}$$

Restrições:.

$$0{,}0025 \times C_I^{\,2,5} < V.\,R < 36$$

$$C_I = 2{,}5 \times h^{1/3} \times M^{1/6}$$

Sendo:
n= coeficiente de Manning (adimensional)
C_I= índice da curva de retardo
V= velocidade da água (ft/s)
R= raio hidráulico (ft)
Ln= logaritmo neperiano
h= altura da grama (m)
M= densidade da grama em números de pedúnculos/m^2 conforme Tabela (21.6)

Caso tenhamos V em m/s e R em m para transformar VxR para VxR em ft^2/s basta dividir por 0,093.

Haan et al, 1994 apresentou a Tabela (21.5) onde aparecem as Classes de retardo e o índice da curva de retardo C_I que pode ser usada na Equação (21.1).

Tabela 21.5 – Índice da curva de retardo em função da classe

Classe de retardo	Índice da curva de retardo C_I
A	10,00
B	7,643
C	5,601
D	4,436
E	2,876

Fonte: Haan et al, 1994

Exemplo 21.1

Calcular o índice de retardo sendo dado altura da grama bermuda de 0,25m e M=5556 pedúnculos/m^2 conforme Tabela (21.6).

$$C_I = 2,5 \times h^{1/3} \times M^{1/6}$$
$$C_I = 2,5 \times 0,25^{1/3} \times 5556^{1/6} = 6,68$$

Exemplo 21.2

Dado a velocidade V=1,80m/s e raio hidráulico R=0,214m e dado C_I=6,68

Achar o coeficiente de Manning n

$V \times R = 1,80 \times 0,214 = 0,3852 m^2/s$

Para passar ft^2/s temos que dividir por 0,093

$VxR = 0,3852/0,093 = 4,14$

Restrições:

$0,0025 \times C_I^{2,5} < V.R < 36$

$0,0025 \times 6,68^{2,5} < V.R < 36$

$0,29 < 4,14 < 36$ OK

$$n = \exp\{C_I (0,01329 (\ln (VxR))^2 - 0,09543 \ln (V \times R) - 0,2971) - 4,16\}$$
$$n = \exp\{C_I (0,01329 (\ln (VxR))^2 - 0,09543 \ln (V \times R) - 0,2971) - 4,16\}$$
$$n = 0,0549$$

Exemplo 21.3

Dado a velocidade V=1,80m/s e raio hidráulico R=0,214m e classe C

Achar o coeficiente de Manning n

$V \times R = 1,80 \times 0,214 = 0,3852 m^2/s$

Para passar ft^2/s temos que dividir por 0,093

$VxR = 0,3852/0,093 = 4,14$

Como escolhemos grama com Classe C então entrando no gráfico VxR em função de n achamos o valor de n=0,041.

Tabela 21.6- Valores do coeficiente de rugosidade de Manning calibrado para diversos tipos de grama, bem como densidade dos pedúnculos, altura de corte e tensão antes do corte e pós corte

Grama usado	Classe de Retardo	Densidade dos pedúnculos/m^2 M	Altura máxima antes do corte h (cm)	Espaçamento entre Pedúnculos Sc (mm))
Coluna 1	**Coluna 2**	**Coluna 3**	**Coluna 4**	**Coluna 5**
Yellow vlyuestem	A	2778	ND	19
Tall fescue	B	4000	38	16
Blue grama		3889	25	16
Ryegrass (perenial)		4000	18	17
Weeping lovegrass		3889	30	16
Bermudagrass	C	5556	25	14
Bahiagrass		ND	20	ND
Centipede grass		5556	15	14
Kentucky bluegrass		3889	20	16
Grass mixture		2222	18	22
Buffalograss		4444	13	15
Alfafa	D	1111	36	30
'Sericea lespedeza		667	41	39
Common lespedeza		333	13	56
Sudangrass		111	ND	97

Nota: a coluna 2 foi introduzida pelo autor.

21.9 Coeficiente de rugosidade n de Manning conforme Mays, 2001

Para canais gramados podemos obter o coeficiente de rugosidade de Manning usando a seguinte equação:

$$n= k_1/ (ac + k_2) \qquad \textbf{Equação 21.2}$$

Sendo:
n=coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)
$k_1= R^{(1/6)}$
R= raio hidráulico (ft)
So= declividade em m/m
$k_2=19,97 \times \log (R^{1,4} \times So^{0,4})$
ac=15,8; 23,0; 30,2; 34,6 e 37,7 para Classe de Retardo: A,B,C,D,E respectivamente.

Mays, 2001 apresenta ainda a Tabela (21.7) onde estão a tensão trativa permissível conforme a classe de retardo.

Tabela 21.7- Tabela da tensão trativa limite em função da classe de retardo e coeficiente ac da Equação (21.2) fórmula de Mays, 2001.

Classe de retardo	Tensão trativa limite τ_p		ac
	(kg/m^2)	(N/m^2)	
A	18,06	186,19	15,8
B	10,25	105,67	23,0
C	4,88	50,31	30,2
D	2,93	30,21	34,6
E	1,71	17,63	37,7

Tabela 21.8- Coeficientes de rugosidade de Manning "n" conforme a Classe de Retardo, declividade do canal So=0,015m/m e raio hidráulico em pés.

Classe de retardo	Declividade do canal So	ac	Raio hidráulico R m ft						
	(m/m)		0,3m	0,45m	0,6m	0,75m	0,9m	1,05m	1,2m
			1ft	1,5ft	2ft	2,5ft	3ft	3,5ft	4ft
A	0,015	15,8	0,813	0,174	0,116	0,094	0,082	0,075	0,070
B	0,015	23,0	0,119	0,080	0,067	0,060	0,055	0,052	0,050
C	0,015	30,2	0,064	0,052	0,047	0,044	0,041	0,040	0,039
D	0,015	34,6	0,050	0,043	0,039	0,037	0,036	0,035	0,034
E	0,015	37,7	0,043	0,038	0,036	0,034	0,033	0,032	0,032

Tensão trativa calculada

$$\tau_{calculado} = \gamma \times d \times So$$

Sendo:

$\tau_{calculado}$= tensão trativa calculada (N/m^2)
γ=9810 N/m^3
d= altura da lâmina de água (m)
So= declividade do canal gramado (m/m)

Exemplo 21.4

Dado um canal gramado com R=1 ft, declividade So=0,015m/m, classe de retardo C calcular o coeficiente de Manning n.
Para Classe de retardo C o valor de ac=30,2 conforme Tabela (21.7)

$$n = k_1 / (ac + k_2)$$

$k_1 = R^{(1/6)}$
$k_2 = 19,97 \times \log (R^{1,4} \times So^{0,4})$

$$n = 1,0^{(1/6)} / (30,2 + 19,97 \times \log (1,0^{1,4} \times 0,015^{0,4}) = 0,064$$

$$\tau_{calculado} = \gamma \times d \times So$$

Sendo:

$\tau_{calculado}$= tensão trativa calculada (N/m^2)
γ=9810 N/m^3
d= altura da lâmina de água (m)
So= declividade do canal gramado (m/m)

A tensão trativa calculada τcalculado é a seguinte:

$\tau_{calculado} = \gamma \times d \times So$

d= 1ft=0,30m

Para se obter kg/m² multiplica-se N/m² x 0,097

τcalculado= 9810 x 0,30 x 0,015=44,15 N/m²=4,28 kg/m²

Como a tensão trativa máxima permitida é igual a τp=4,88 kg/m² conforme Tabela (21.7) e como a tensão trativa calculada é 4,28 kg/m² que é menor que 4,88kg/m² então não haverá problemas.

Nota: na prática para canais gramados não se usa a comparação da tensão trativa máxima permitida com a tensão trativa calculada.

21.10 Velocidade limite

Os limites de velocidade dos canais gramados estão na Tabela (21.9). Notar que a velocidade máxima depende do tipo de grama bem como da declividade do canal.

Tabela 21.9- Velocidade limite Vm em canal gramado de acordo com o tipo de grama e declividade

Tipo de grama	Classe de Retardo	Declividades S (%)	Velocidade máxima tolerável Vm (m/s)	Velocidade máxima tolerável com solo que pode facilmente sofrer erosão Vm (m/s)
Coluna 1	**Col 2**	**Coluna 3**	**Coluna 4**	**Coluna 5**
Bermuda grass	C	0 a 5	2,4	1,8
		5 a 10	2,1	1,5
		>10*	1,8	1,2
Bahia, buffalo grass Kentucky bluegrass Smooth brome, blue grama mixtures, tall fescue ***Santo Agostinho, Sao Carlos e Bermuda (Brasil)***	C	0 a 5	2,1	1,5
		5 a 10*	1,8	1,2
		>10*	1,5	0,9
Grass mixtures, reed, canary grass	C	0 a 5	1,5	1,2
		5 a 10*	1,2	0,9
Lespedeza sericea Weeping lovegrass, yellow, bluestem, redtop, alfafa, red fescue. Common Lespedeza. Sudan Grass ***Coreana, Batatais e Esmeralda (Brasil)***	D	0 a 5	1,1	0,8

Fonte: Coyle, 1975 in Chin, 2000

(*): não adimite declividade maior que 10% a não ser com canais com base de concreto com taludes gramados.

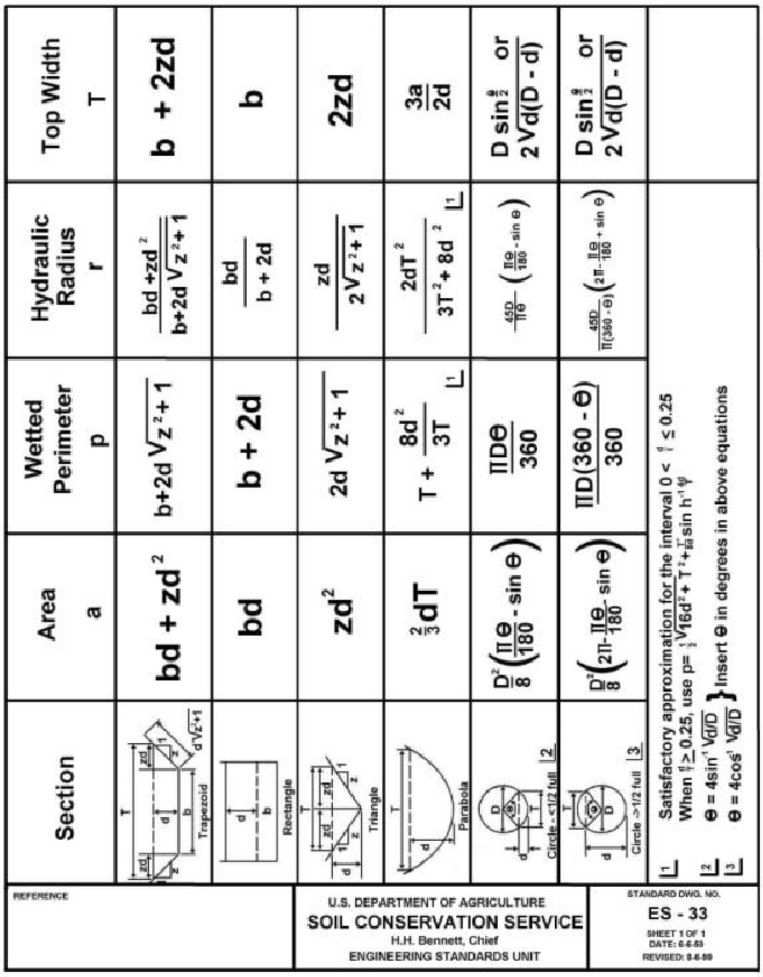
Nota: a coluna 2 foi introduzida pelo autor.

Nota 2: as gramas usadas no Brasil que estão hachuradas foram introduzidas pelo autor.

]

21.11 Dados geométricos das diversas seções transversais

Na Figura (21.4) estão os dados geométricos de diversas seções transversais.



Section	Area a	Wetted Perimeter p	Hydraulic Radius r	Top Width T
Trapezoid	$bd + zd^2$	$b+2d\sqrt{z^2+1}$	$\frac{bd+zd^2}{b+2d\sqrt{z^2+1}}$	$b + 2zd$
Rectangle	bd	$b + 2d$	$\frac{bd}{b+2d}$	b
Triangle	zd^2	$2d\sqrt{z^2+1}$	$\frac{zd}{2\sqrt{z^2+1}}$	$2zd$
Parabola	$\frac{2}{3}dT$	$T + \frac{8d^2}{3T}$ [1]	$\frac{2dT^2}{3T^2+8d^2}$ [1]	$\frac{3a}{2d}$
Circle - <1/2 full [2]	$\frac{D^2}{8}\left(\frac{\pi\theta}{180} - \sin\theta\right)$	$\frac{\pi D\theta}{360}$	$\frac{45D}{\pi\theta}\left(\frac{\pi\theta}{180} - \sin\theta\right)$	$D\sin\frac{\theta}{2}$ or $2\sqrt{d(D-d)}$
Circle - >1/2 full [3]	$\frac{D^2}{8}\left(2\pi - \frac{\pi\theta}{180} + \sin\theta\right)$	$\frac{\pi D(360-\theta)}{360}$	$\frac{45D}{\pi(360-\theta)}\left(2\pi - \frac{\pi\theta}{180} + \sin\theta\right)$	$D\sin\frac{\theta}{2}$ or $2\sqrt{d(D-d)}$

[1] Satisfactory approximation for the interval $0 < \frac{d}{T} \le 0.25$
When $\frac{d}{T} > 0.25$, use $p = \frac{1}{2}\sqrt{16d^2 + T^2} + \frac{T^2}{8d}\sinh^{-1}\frac{4d}{T}$

[2] $\theta = 4\sin^{-1}\sqrt{d/D}$
[3] $\theta = 4\cos^{-1}\sqrt{d/D}$
Insert θ in degrees in above equations

REFERENCE | U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE SOIL CONSERVATION SERVICE H.H. Bennett, Chief ENGINEERING STANDARDS UNIT | STANDARD DWG. NO. ES - 33 SHEET 1 OF 1

Figura 21.4- Dados geométricos das seções dos canais gramados.

Os canais gramados podem ter secção trapezoidal, parabólica e triangular, sendo a mais usada a seção trapezoidal.

Apresentamos ainda dados aproximados para o calculo do comprimento T relativo ao topo da secção. Como o valor T>>y e Z^2 >>1 (Z: declividade lateral do canal) certos termos podem ser desprezados e obtemos as seguintes equações conforme Austrália, 1998).

Canal gramado parabólico

A= (2/3) x T x y   R=0,67y

Canal gramado trapezoidal

A= b x y + Z x Y^2 R=y

Canal gramado triangular

A= Z x Y^2 R=0,5y

Canal gramado retangular

A= T x y   R=y

Substituindo as expressões de A e de R e achando o valor de T temos:

Canal gramado parabólico
$T= 1,962\ Q\ .\ n/\ y^{1,67}\ S^{0,5}$

Canal gramado trapezoidal
$b=\ Q\ .\ n/\ [y^{1,67}\ S^{0,5}]^{-Z\ y}$
Sendo:
b=comprimento da base do trapézio.
$T= b + 2\ .\ y\ .\ Z$

Canal gramado triangular
$T= 3,182\ Q\ .\ n/\ [y^{1,67}\ S^{0,5}]$

Canal gramado retangular
$T=\ Q\ .\ n/\ y^{1,67}\ S^{0,5}$

A Figura (21.5) pode ser usada em canais de seção trapezoidal.

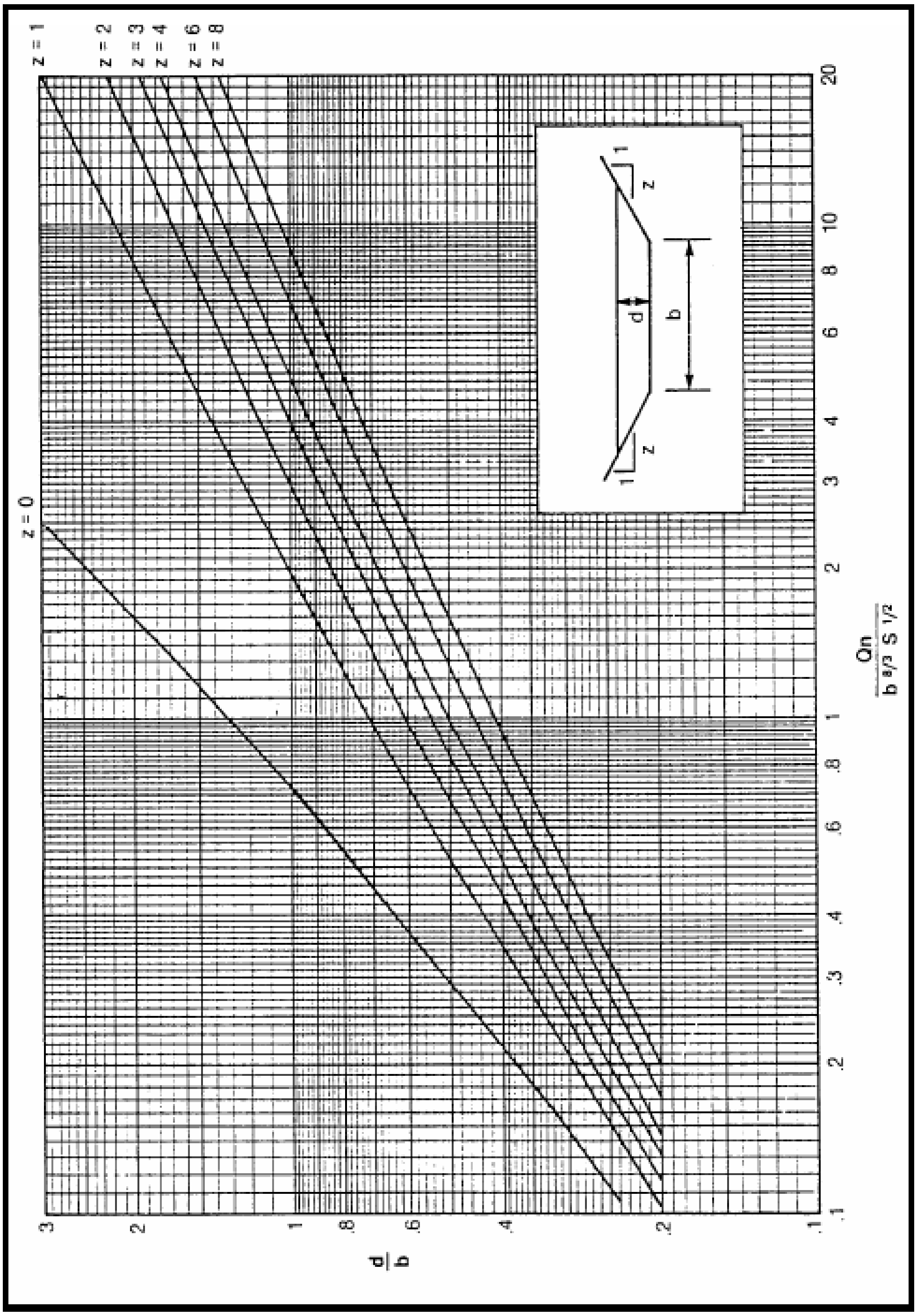


Figura 21.5- Seção trapezoidal
Fonte: Condado de Knox, Tennessee

Channel Type[1]	Semi-Empirical Equations[2] for Estimating Critical Depth	Range of Applicability
1. Rectangular[3]	$d_c = [Q^2/(gb^2)]^{1/3}$	N/A
2. Trapezoidal[3]	$d_c = 0.81[Q^2/(gz^{0.75} b^{1.25})]^{0.27} - b/30z$	$0.1 < 0.5522\ Q/b^{2.5} < 0.4$ For $0.5522\ Q/b^{2.5} < 0.1$, use rectangular channel equation
3. Triangular[3]	$d_c = [(2Q^2)/(gz^2)]^{1/5}$	N/A
4. Circular[4]	$d_c = 0.325(Q/D)^{2/3} + 0.083D$	$0.3 < d_c/D < 0.9$
5. General[5]	$(A^3/T) = (Q^2/g)$	N/A

where: d_c = critical depth (ft)
Q = design discharge (cfs)
g = acceleration due to gravity (32.2 ft/ sec^2)
b = bottom width of channel (ft)
z = side slopes of a channel (horizontal to vertical)
D = diameter of circular conduit (ft)
A = cross-sectional area of flow (ft^2)
T = top width of water surface (ft)

[1]See Figure 7-16 for channel sketches
[2]Assumes uniform flow with the kinetic energy coefficient equal to 1.0
[3]Reference: French, 1985
[4]Reference: USDOT, 1965
[5]Reference: Brater and King, 1976

The following guidelines are given for evaluating critical flow conditions of open channel flow:

(1) A normal depth of uniform flow within about 10% of critical depth is unstable and should be avoided in design, if possible.

(2) If the velocity head is less than one-half the mean depth of flow, the flow is subcritical.

(3) If the velocity head is equal to one-half the mean depth of flow, the flow is critical.

(4) If the velocity head is greater than one-half the mean depth of flow, the flow is supercritical.

Note: The head is the height of water above any point, plane or datum of reference. The velocity head in flowing water is calculated as the velocity squared divided by 2 times the gravitational constant ($V^2/2g$).

Figura 21.6- Altura crítica através de equações semi empíricas
Fonte: Condado de Knox, Tennessee

A Figura (21.6) apresenta as alturas críticas obtidas através de equações semi-empíricas para várias seções transversais.

21.12 Modelos de cálculo

Preliminarmente vamos apresentar as seguintes equações:

$$\mathbf{R= (V \times R/)\ Vm}$$

Sendo:
R= raio hidráulico
V= velocidade média
Vm= velocidade limite

O valor (VxR) é apresentado junto.

$$\mathbf{V \times R= (1/n)\ R^{(5/3)} \times S^{(1/2)}}$$

Conforme Chin, 2000 uma maneira de se calcular a favor da segurança é admitir que a Classe de retardo seja na pior situação, isto é, com vegetação baixa o que significa **Classe D** e que resultará em maiores velocidades e que são mais perigosas para a erosão.

Superelevação

Se houver numa curva podemos calcular a superelevação Δd:

$$\mathbf{\Delta d= (V^2 x T)/\ (gx\ Rc)}$$

Sendo:
Δd=superelevação devido a curva (m)
V= velocidade média (m/s)
T= largura do topo da seção (m)
Rc= raio de curvatura (m)

Conforme Condado de Knox existem dois modelos para dimensionamento de canais gramados, o dimensionamento usando o **critério da estabilidade** e o dimensionamento usando o **critério da capacidade máxima. Portanto, conforme Chaw, 1973 um canal gramado deve ser calculado em dois estágios, sendo o primeiro o critério da estabilidade e o segundo o critério da capacidade máxima. O critério da estabilidade usa um grau baixo de retardo enquanto que o critério da capacidade máxima usa um grau alto de retardo.**

O critério da estabilidade usa Classe D e o critério da capacidade usa Classe C.

Alertamos para declividade maior que 10% podem ser usada combinação com canais revestidos com os canais gramados. Lembremos ainda que os canais gramados dependem do tipo da classe de grama e a favor da segurança podemos admitir em caso de dúvida, classe de grama com menor altura, pois produzirão maior velocidade.

Existem gramas que não admitem declividade maior que 10%.

21.13 Dimensionamento pelo critério da estabilidade

Vamos estabelecer os diversos passos, segundo Condado de Knox, Tennessee.

Primeiro passo: determinar as diversas variáveis, incluindo a vazão Q, a declividade do canal gramado S, o tipo de vegetação escolhida para revestimento e a seção escolhida (trapezoidal, parabólica ou triangular).

Segundo passo: usando a Tabela (21.9) escolher a velocidade máxima Vm baseado no tipo de vegetação e declividade do canal gramado.

Terceiro passo: arbitre um valor de "n" e determine o correspondente valor do produto VxR na curva da classe escolhida da Figura (21.3). Quando a vegetação for permanente usar a Classe D e quando de construção temporária usar Classe E.
Nota: o produto VxR obtido está nas unidades ft^2/s e para converter em m^2/s temos que multiplicar por 0,093.

Quarto passo: calcular o raio hidráulico usando a equação:

$$R= VxR/ Vm$$

Sendo:
R= raio hidráulico calculado (m)
VxR= produto da velocidade x raio hidráulico achado na Figura (21.3)
Vm= velocidade máxima achada na Tabela (21.5).

Quinto passo: usar a equação de Manning para calcular o produto VxR.

$$Vx\,R= (1/n)\, R^{(5/3)} \times S^{(1/2)}$$

Sendo:
VxR= produto velocidade x raio hidráulico
N= coeficiente de rugosidade de Manning
R= raio hidráulico calculado (m)
S= declividade do canal (m/m)
Nota: para converter VxR nas unidades SI nas unidades ft^2/s temos que dividir o produto VxR por 0,093.

Sexto passo: compare os produtos VxR obtido no Terceiro passo com o produto VxR obtido no quinto passo. Se os valores são aproximadamente iguais o problema está resolvido e caso não sejam, arbitre novamente um novo valor de "n". Se o produto VxR calculado for maior que o VxR obtido no gráfico, aumente o valor de n a ser arbitrado e caso contrario diminua.

Sétimo passo: para um canal de secção trapezoidal ou qualquer outra usar relações geométricas da Figura (21.3) e achar a altura do canal por tentativas.

Oitavo passo: se houver curvas no canal gramado poderemos calcular a sobrelevação pela equação:

$$\Delta d= (V^2 x T)/ (gx\, Rc)$$

Sendo:
Δd=superelevação devido a curva (m)
V= velocidade média (m/s)
T= largura do topo da seção (m)
Rc= raio de curvatura (m)

Oitavo passo: calcular número de Froude pela equação;

$$D=A/T$$
$$Fr= V/ (g x D)^{0,5}$$

Sendo:
Fr= número de Froude (adimensional)
D= profundidade hidráulica (m)
A= área da secção molhada (m^2)
T= comprimento da largura da superfície da água (m)
V= velocidade média da água no canal (m/s)
g= aceleração da gravidade =9,81m/s^2

Quando o número de Froude for igual a 1 teremos regime crítico de escoamento e quando for maior que 1 o regime será supercrítico e se Fr<1 o regime de escoamento será subcrítico.

Nono passo: achar a borda livre que deve ser no mínimo de 0,30m.

Conforme Chin, 2000 temos:

$$F= 0,152+V^2/ 2g$$

Sendo:
F= altura da borda livre (m)
V= velocidade média da água no canal (m/s)
g= aceleração da gravidade =9,81m/s^2

Exemplo 21.5
Seja um canal gramado trapezoidal com grama *Grass mixtures* Classe D sendo que o solo é facilmente erodível. A declividade do canal é de 0,015m/m (1,5%) que irá conduzir vazão de 1,415m^3/s.

Entrando na Tabela (21.9) achamos que a velocidade limite de Vm=1,2m/s sendo que a declividade máxima para este caso é de 5%.

Assumimos que n=0,035 e entrando na Figura (21.3) achamos VxR= 5,4

Transformando nas unidades SI, multiplicamos por 0,093.

VxR= 5,4 x 0,093=0,5022

$$R= (V x R/) Vm$$
$$Vm= 1,1m/s$$
$$R= 0,5022/ 1,2=0,4185m$$
$$Vx R= (1/n) R^{(5/3)} x S^{(1/2)}$$
$$Vx R= (1/0,035) 0,4185^{(5/3)} x 0,015^{(1/2)}$$
$$VxR=0,82m^2/s$$
$$VxR=8,81 ft^2/s$$

Truque: como o valor VxR=8,81ft^2/s é maior que 5,4ft^2/s inicial então temos que adotar "n" superior a 0,035. Adotamos então n=0,038 e recalculamos novamente e achamos VxR=4,92 ft^2/s que é maior que 4,0 ft^2/s e adotamos 0,040 e achamos VxR=2,89 ft^2/s que é praticamente igual a 3,00. Portanto, aceitamos n=0,040.

Tabela 21.10- Cálculos

Valor de n	Figura ft^2/s	Figura m^2/s	R (m)	VxR calc m^2/s	VxR ft^2/s
0,035	5,40	0,50	0,42	0,82	8,81
0,038	4,00	0,37	0,31	0,46	4,92
0,040	3,00	0,28	0,23	0,27	2,89

Supondo seção transversal trapezoidal com base de 3,0m, S=0,015m/m com declividade 3H:1V dos taludes.
z=3
Área A= b x d + z d^2=3,0x d + 3xd^2

T= b + 2zd= 3,0+ 2x3x d= 3,0+6xd
Perímetro molhado $P= b+2xd(z^2+1)^{0,5}$
Q= A x V
$Q=1,415m^3/s$
V= 1,1m/s adotado
$A=Q/V= 1,415/1,1=1,286m^2$
$A= 3,0x\ d + 3xd^2$
$1,286= 3x\ d + 3xd^2$

$$3xd^2 +3x\ d -1,286=0$$

$\Delta=b^2-4ac= 9+4x3x1,286=24,43$
d=(-3 + 4,94)/ 6= 0,32m

Portanto, d=0,32m
T=3 + 6 x d= 3+ 6 x 0,32=4,92m
P=3,0 + 2xdx3,16= 3,0 +6,32xd=5,02m
R= A/P=1,286/5,02=0,26m

$$V= (1/n) \times R^{(2/3)} S^{0,5}$$

$$V= (1/0,040) \times 0,26^{(2/3)} 0,015^{0,5}$$

$$V=1,23m/s$$

Número de Froude

$$D=A/T= 1,286m^2/ 4,92m=0,26m$$

$Fr= V/ (gx\ D))^{0,5} = 1,23/ (9,81 \times 0,26)^{0,5}=0,77$ OK escoamento subcrítico

Borda livre

Conforme Chin, 2000 temos:

$F= 0,152+V^2/ 2g = 0,152 + 1,23^2/ (2x9,81)=0,23m$ Adota-se o mínimo de 0,30 OK

21.14 Dimensionamento pelo critério da capacidade

Vamos mostrar o dimensionamento pelo critério da capacidade através de diversos passos conforme Condado de Knox, Tennessee. O critério da capacidade usa a Classe C e salientando que no critério da estabilidade usamos a Classe D.

Primeiro passo: arbitre uma altura da seção maior do que aquela achada no dimensionamento pelo critério de estabilidade. Escolha a seção, por exemplo, trapezoidal adotando a base b e calculando a área molhada e o raio hidráulico.

Segundo passo: divida a vazão pela área e obtenha a velocidade usando a equação da continuidade

Q= V x A **V= Q/A**

.**Terceiro passo:** multiplica a velocidade achada pelo raio hidráulico obtendo o produto V x R
Nota: não esquecer que para o uso do gráfico da Figura (21.3) temos que dividir VxR por 0,093.

Quarto passo: consultando a Figura (21.3) obtenha o valor de "n" na classe adotada C.

Quinto passo: use a equação de Manning para achar a velocidade usando o valor da rugosidade de Manning n obtida na Figura (21.3) e raio hidráulico calculado inicialmente no primeiro passo. A declividade S é dado do problema.

$$\mathbf{V= (1/n) \times R^{(2/3)} S^{0,5}}$$

Sexto passo: compare as velocidades obtidas no quinto passo com a obtida no segundo passo. Se os valores forem aproximadamente iguais o problema fica resolvido, caso contrario comece tudo novamente pelo Primeiro passo.

Sétimo passo: achar a borda livre que deve ser no mínimo de 0,30m.

$$\mathbf{F= 0{,}152+V^2/ 2g}$$

Sendo:
F= altura da borda livre (m)
V= velocidade média da água no canal (m/s)
g= aceleração da gravidade =9,81m/s^2

Oitavo passo: se houver curvas no canal gramado poderemos calcular a sobrelevação pela equação:

$$\mathbf{\Delta d= (V^2xT)/ (g\ Rc)}$$

Sendo:
Δd=superelevação devido a curva no canal gramado (m)
V= velocidade média (m/s)
T= largura do topo da seção (m)
Rc= raio da curvatura (m)

Exemplo 21.6
Dados: V=1,02m/s T=5,1m g=9,81m/s^2 Rc=15m (raio da curva)

$$\mathbf{\Delta d= (V^2xT)/ (g\ Rc)}$$

$$\mathbf{\Delta d= (1{,}02^2x5{,}1)/ (9{,}81x15)=0{,}04m}$$

Portanto, a sobrelevação devida a curva de raio de 15m será de 0,04m.

Nono passo: calcular número de Froude pela equação;

$$\mathbf{D=A/T}$$

$$\mathbf{Fr= V/ (gx\ D)^{0,5}}$$

Sendo:
Fr= número de Froude (adimensional)
D= profundidade hidráulica (m)
A= área da secção molhada (m^2)
T= comprimento da largura da superfície da água (m)
V= velocidade média da água no canal (m/s)
g= aceleração da gravidade =9,81m/s^2

Quando o número de Froude for igual a 1 teremos regime crítico de escoamento e quando for maior que 1 o regime será supercrítico e se Fr<1 o regime de escoamento será subcrítico.

Exemplo 21.7- Mesmo exercício anterior mudando para Classe de Retardo C e usando o critério da capacidade

Seja um canal gramado trapezoidal com grama *Grass mixtures* Classe C sendo que o solo é facilmente erodível. A declividade do canal é de 0,015m/m (1,5%) que irá conduzir vazão de 1,415m^3/s sendo o limite de velocidade Vm≤ 1,2m/s.

Arbitramos que a base da seção trapezoidal b=3,00m.
Adotamos declividade do talude do canal z=3
Área A= b x d + z d^2=3,0x d + 3xd^2
T= b + 2zd= 3,0+ 2x3x d= 3,0+6d
Perímetro molhado P= b+2d(z^2+1)^{0,5} = 3,00+2xd(9+1)^{0,5}= 3,00 + 6,32d

Arbitrando que a altura d=0,40m que é maior que d=0,32m achado no dimensionamento pelo critério da estabilidade.

$A= 3,0x\ d + 3xd^2 = 3,0 \times 0,40+ 3 \times 0,4^{\ 2}= 1,68m^2$

T= 3,0+6d= 3,0+6 x 0,4=5,4m

P= 3,00 + 6,32d= 3,00+ 6,32 x 0,40=5,53m

R= A/P= 1,68/5,53=0,30m

V= Q/A= 1,415/1,68=0,84m/s

Como temos o raio hidráulico R e a velocidade achemos o produto VxR

$VxR= 0,84m/s \times 0,30m= 0,26m^2/s$

Mas para o uso da Figura (21.3) temos que mudar as unidades para ft^2/s

Então dividimos $0,26m^2/s$ por 0,093

$0,26/0,093= 2,75\ ft^2/s$

Entrando na Figura (21.3) com 2,75 e classe C achamos n=0,055

Com o valor de n obtido e com o valor de R já calculado vamos calcular a velocidade pela equação de Manning.

$$V= (1/n) \times R^{(2/3)}\ S^{0,5}$$
$$V= (1/0,055) \times 0,30^{(2/3)}\ 0,015^{0,5}$$
$$V=1,01m/s$$

Como a velocidade é 1,01m/s é maior que 0,84m/s é então adotar um valor menor da altura d. Adotamos então d=0,35m e recalculamos tudo novamente.

$A= 3,0x\ d + 3xd^2 = 3,0 \times 0,35+ 3 \times 0,35^{\ 2}= 1,42m^2$

T= 3,0+6d= 3,0+6 x 0,35=5,1m

P= 3,00 + 6,32d= 3,00+ 6,32 x 0,35=5,21m

R= A/P= 1,42/5,21=0,27m

V= Q/A= 1,415/1,42=1,0m/s

Como temos o raio hidráulico R e a velocidade achemos o produto VxR

$VxR= 1,0m/s \times 0,27m= 0,27m^2/s$

Mas para o uso da Figura (21.3) temos que mudar as unidades para ft^2/s

Então dividimos $0,27m^2/s$ por 0,093

$0,27/0,093= 2,92\ ft^2/s$

Entrando na Figura (21.3) com 2,92 e classe C achamos n=0,048

Com o valor de n obtido e com o valor de R já calculado vamos calcular a velocidade pela equação de Manning.

$$\mathbf{V= (1/n) \times R^{(2/3)}\ S^{0,5}}$$
$$\mathbf{V= (1/0,048) \times 0,27^{(2/3)}\ 0,015^{0,5}}$$
$$V=1,07m/s$$

Como a velocidade é 1,07m/s é aproximadamente igual a 1,0m/s adotamos um valor menor da altura d.=0,35m com n=0,048 e o problema está resolvido.

Número de Froude Fr

D= diâmetro hidráulico (m)

$$D=A/T= 1,27m^2/ 4,02m=0,32m$$

$Fr= V/ (gx\ D)\ )^{0,5} = 1,1/ (\ 9,81 \times 0,32)^{0,5}=0,11$ OK escoamento subcrítico

Borda livre F

$F= 0,152+V^2/ 2g = 0,152 + 1,1^{\ 2}/ (2x9,81)=0,21m$ Adota-se o mínimo de 0,30 OK

Comentários

No critério da estabilidade achamos n=0,040 e altura d=0,32m e no critério da capacidade achamos n=0,045 e d=0,32m.

As Tabelas (21.11) e (21.14) estão os cálculos.

Tabela 21.11- Cálculos do Exemplo 21.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q	**Decliv**	**Altura d**	**Base seção trapezoidal b**	**Talude**	**Área**	**T**	**Perim P**	**R=A/P**
(m^3/s)	(m/m)	(m)	(m)	z	(m^2)	(m)	(m)	(m)
1,415	0,015	0,40	3	3	1,68	5,4	5,53	0,30
1,415	0,015	0,35	3	3	1,42	5,1	5,21	0,27

Tabela 21.12- Cálculos do Exemplo 21.5 (continuação)

10	11	12	13	14	15	16	17	18
V=Q/A	**VxR**	**VxR**	**n**	**V (Manning)**	**Adotar**	**Diâmetro hidráulico D**	**Número de Froude**	**Borda livre (m)**
(m/s)	(m^2/s	(ft^2/s)	Figura 21.2	(m/s)	d	(m)		
0,84	0,26	2,75	0,055	1,01	menor	0,31	0,58	0,30
1,00	0,27	2,92	0,048	1,07	menor	0,28	0,65	0,30

O problema pode ser resolvido usando a Classe de Retardo C_I= 5,601 para Classe C conforme Tabela (21.15).

As Tabelas (21.13) e (21.14) usam o **cálculo analítico sem consulta a gráfico** usando a Equação (21.1).

Tabela 21.13- Cálculo usando a Equação (21.1) para Classe de Retardo C com C_I=5,601

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	**Decliv**	**Altura d**	**Base seção trapezoidal b**	**Talude**	**Área**	**T**	**Perim P**	**R=A/P**	**V=Q/A**
(m^3/s)	(m/m)	(m)	(m)	z	(m2)	(m)	(m)	(m)	(m/s)
1,415	0,015	0,40	3	3	1,68	5,4	5,53	0,30	0,84
1,415	0,015	0,35	3	3	1,42	5,1	5,21	0,27	1,00

Tabela 21.14- Cálculo usando a Equação (21.1) para Classe de Retardo C com C_I=5,601 (continuação)

11	12	13	14	15	16	17	18	19
VxR	**VxR**	**Classe C**	**n**	**V (Manning)**	**Adotar**	**Diâmetro hidráulico D**	**Número de Froude**	**Borda livre**
(m^2/s	(ft^2/s)		Calculado	(m/s)	d	(m)		
0,26	2,75	5,601	0,052	1,07	menor	0,31	0,61	0,30
0,27	2,92	5,601	0,051	1,02	menor	0,28	0,61	0,30

Nota: se o valor 1,07m/s calculado na coluna 15 for maior que V=0,84m/s da coluna 10 então adotamos um valor menor da altura. Caso contrario adotaríamos um valor maior.
Fazemos os cálculos até encontrar um valor de V calculado na coluna 15 com o valor obtido de n seja aproximadamente igual ao valor de V da coluna 10.

A palavra **"menor"** colocada na coluna 16 é obtida das comparações da coluna 15 com a coluna 10 citado acima.

Tabela 21.15- Índice da curva de retardo C_I

Classe de retardo	Índice da curva de retardo C_I
A	10,000
B	7,643
C	5,601
D	4,436
E	2,876

Exemplo 21.8- Modelo

Seja um canal gramado trapezoidal com grama Esmeralda. A declividade do canal é de 0,005m/m (0,5%) que irá conduzir vazão de pico de 2,0m^3/s.

A grama esmeralda é muito usada no Brasil e conforme Tabela (21.2) é classificada como **Classe de Retardo D.**

Conforme Tabela (21.7) a grama esmeralda Classe de Retardo D tem o valor a=34,6 e a tensão trativa limite é τp= **30,21 N/m^2.**

Consultando a Tabela (21.9) para a grama esmeralda Classe de Retardo D e declividade do canal So<5% achamos a velocidade limite **Vm=1,1m/s,**

Arbitramos que a base da seção trapezoidal b=2,00m.
Adotamos declividade do talude do canal z=3
Área A= b x d + z d^2=2,0x d + 3xd^2
T= b + 2zd= 2,0+ 2x3x d= 2,0+6d
Perímetro molhado P= b+2d(z^2+1)^{0,5} = 2,0+2xd(9+1)^{0,5}= 2,0 + 6,32d

Arbitrando que a altura d=0,60m
Área A= b x d + z d^2=2,0x d + 3xd^2 =2,28m^2

T= 2,0+6d= 2,0+6 x 0,6=5,6m
P=2,0 + 6,32d=2,0+6,43 x 0,60=5,79m
R= A/P= 2,28/5,79=0,39
V= Q/A= 2,0/2m28=0,88m/s

Como temos o raio hidráulico R e a velocidade achemos o produto VxR
VxR= 0,88m/s x 0,39m= 0,35m^2/s

Mas para o uso da Figura (21.3) temos que mudar as unidades para ft^2/s
Então dividimos 0,35m^2/s por 0,093
0,35/0,093= 3,71 ft^2/s

$$n= \exp \{C_I (0,01329 (\ln (VxR))^2 - 0,09543 \times \ln (V \times R) - 0,2971) -4,16\}$$

Para Classe D temos C_I=4,436 conforme Tabela (21.15).

$$n= \exp \{C_I (0,01329 (\ln (VxR))^2 - 0,09543 \times \ln (V \times R) - 0,2971) -4,16\}$$

$$n= \exp \{4,436 (0,01329 (\ln (3,71))^2 - 0,09543 \times \ln (3,71) - 0,2971) -4,16\}$$

n=0,037

Com o valor de n obtido e com o valor de R já calculado vamos calcular a velocidade pela equação de Manning.

$$V= (1/n) \times R^{(2/3)} S^{0,5}$$

$$V= (1/0,037) \times 0,39^{(2/3)} 0,00^{0,5}$$

V=0,88m/s < Vm=1,1m/s OK

Como a velocidade é 0,88m/s que é praticamente a inicial calculada o problema está resolvido.

Número de Froude Fr

D= diâmetro hidráulico (m)

$D=A/T= 2,28m^2/ 5,6m=0,41m$

$Fr= V/ (gx D))^{0,5} = 0,88/ (9,81 x 0,41)^{0,5}=0,51$ OK escoamento **subcrítico**

Borda livre F

$F= 0,152+V^2/ 2g = 0,152 + 0,88^2/ (2x9,81)=0,19m$ Adota-se o mínimo de 0,30 OK

Verificação da tensão trativa

A tensão trativa calculada τcalculado é a seguinte:

$\tau_{calculado}= \gamma \text{ x d x So}$

Para se obter kg/m^2 multiplica-se N/m^2 x 0,097

τcalculado= 9810 x 0,60 x 0,005=29,43 N/m^2=2,85 kg/m^2

Como a tensão trativa máxima permitida conforme Tabela (21.7) é igual a τp=34,6kg/m^2 e como a tensão trativa calculada é 2,85 kg/m^2 que é menor que 34,6kg/m^2 então não haverá problemas.

21.15 Comprimento de proteção da curva em canais

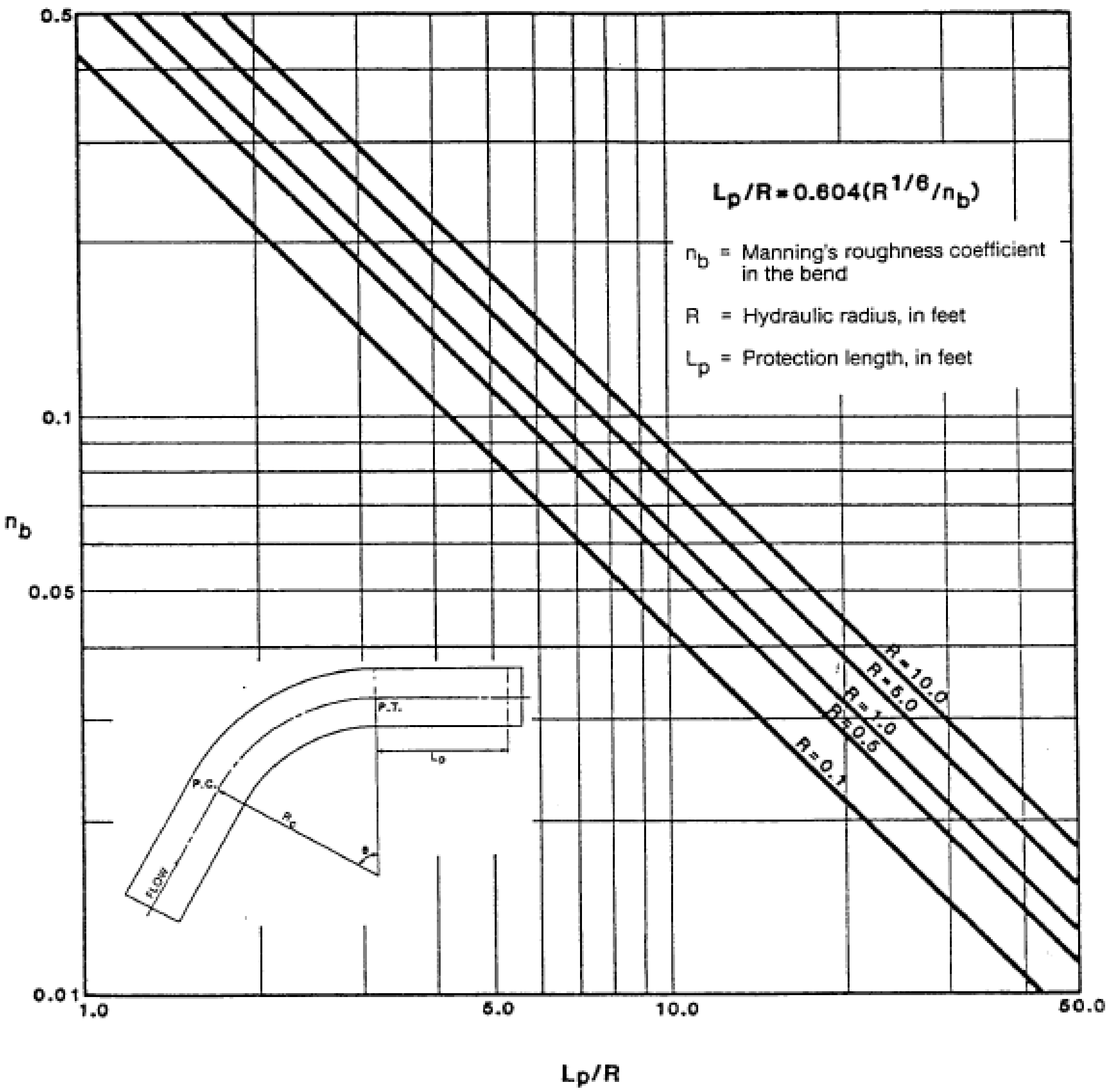
Uma curva em um canal gramado tem uma sobrelevação já foi mostrada anteriormente, porém existe ainda um comprimento de proteção Lp a jusante do canal que deve ser deixado após a curva.

O comprimento de proteção Lp pode ser calculado por:

$$Lp/ R = 0{,}604 \times [R^{(1/6)}/ n_b]$$

Sendo:
Lp= comprimento de proteção da curva (ft)
R= raio hidráulico (ft)
n_b= coeficiente de Manning na curva

A Figura (21.7) mostra o gráfico em que entrando com raio hidráulico em ft e coeficiente de Manning na curva nb, achamos a relação Lp/R.



Reference: USDOT, FHWA, HEC-15 (1986).

Figura 21.7- Comprimento de proteção (Lp) a jusante do canal em curva Estado da Geórgia, 2000

Exemplo 21.9

Calcular o comprimento de proteção Lp a jusante de um canal em curva sendo dado n_b=0,048 e raio hidráulico R=0,27m

R=0,27m=0,27/0,30=0,9 ft

$$Lp/ R = 0,604 \times [R^{(1/6)}/ n_b]$$

$$Lp/ R = 0,604 \times [0,9^{(1/6)}/ 0,048]= 12,4 \text{ ft}$$

$$Lp=12,4 \times R=12,4 \times 0,9=11,2 \text{ ft}=3,3\text{m}$$

21.16 Bibliografia e livros recomendados

-CHIN, DAVID A. *Water resources engineering.* Prentice Hall, 2000, 750páginas
-CHOW, VEN TE. *Open channel hydraulics*. McGraw-Hill, 680páginas, 1973.
-CONDADO DE KNOX. *Stormwater Management Manual.* Open Design Design. Tennessee. Acessado em setembro 2008.
-ESTADO DA GEORGIA, 2001. *Georgia Stormwater Management Manual*. August 2001. Volume 1, Volume 2.
-GHARABAHI, B. et al; *Sediment removal efficiency of vegetative filter strip.* Guelph Turfgrass Institute, 2000, ASAE Sacramento Convention Center Sacramento, California, USA.
-GRISMER, MARK E. et al. *Vegetative filter strip for nonpoint source pollution control in agriculture.* University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, 2006.
-HAAN, C. T. et al. *Design hydrology and sedimentology for small catchments.* Academic Press, 1994, 588 páginas.
-MAYS, LARRY W. *Water resources engineering.* Editora John Wiley,761 páginas, 2001.
-TEMPLE, DARREL M. et al. *Design of grass-lined channels: procedures and software update*. Julho de 2003.