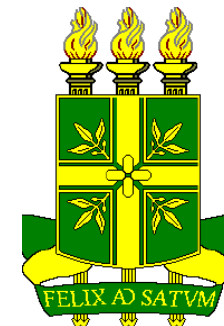


Universidade Regional do Cariri – URCA
Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil



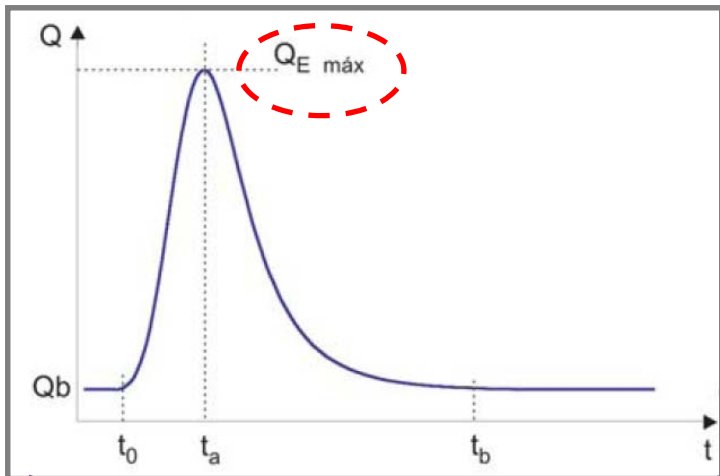
Vazão de Projeto

Prof. Me. Renato de Oliveira Fernandes

Professor Assistente
Dep. de Construção Civil/URCA
renatodeof@gmail.com

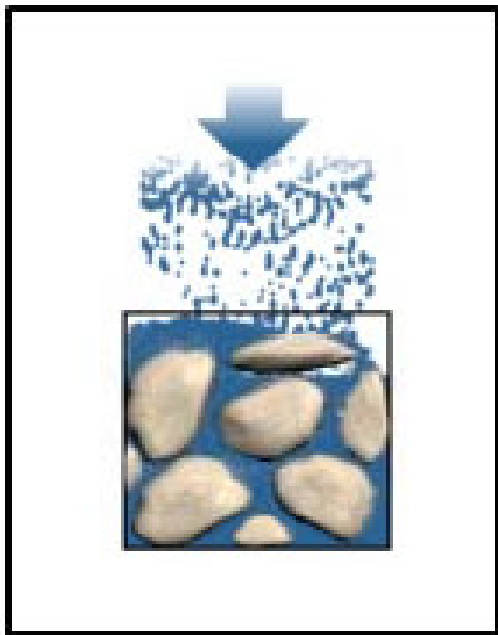
Área de Drenagem (Bacia Hidráulica)

Gráfico da Vazão Gerada

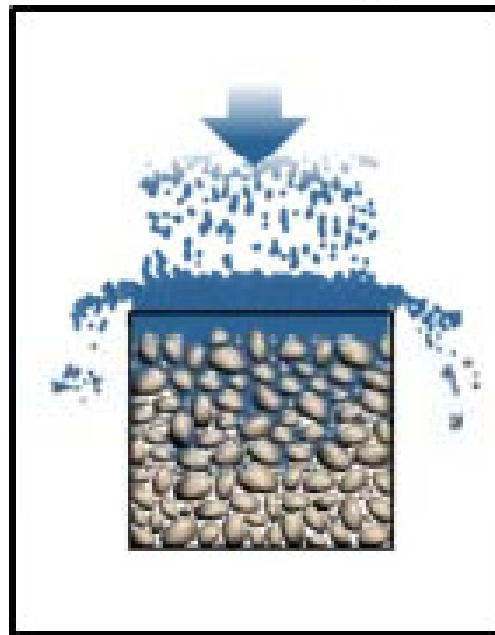


Geração de escoamento

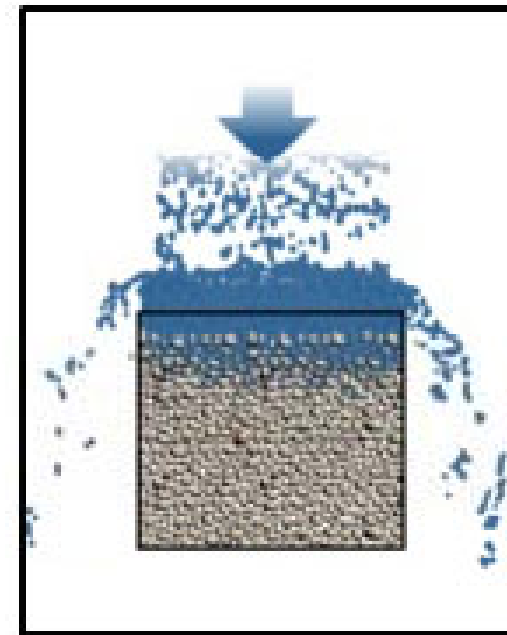
- Capacidade de infiltração do solo (escoamento Hortoniano)
- Umidade do solo (condição inicial do solo)



Areia

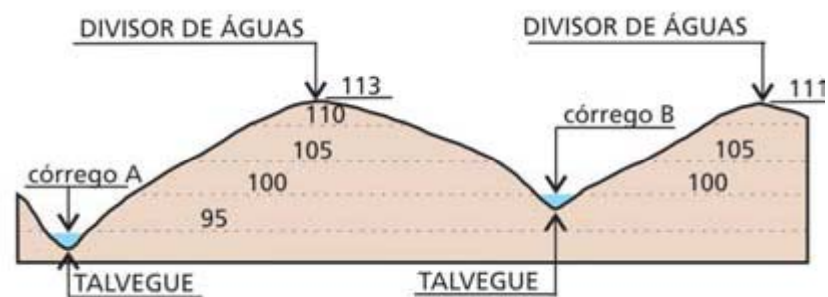
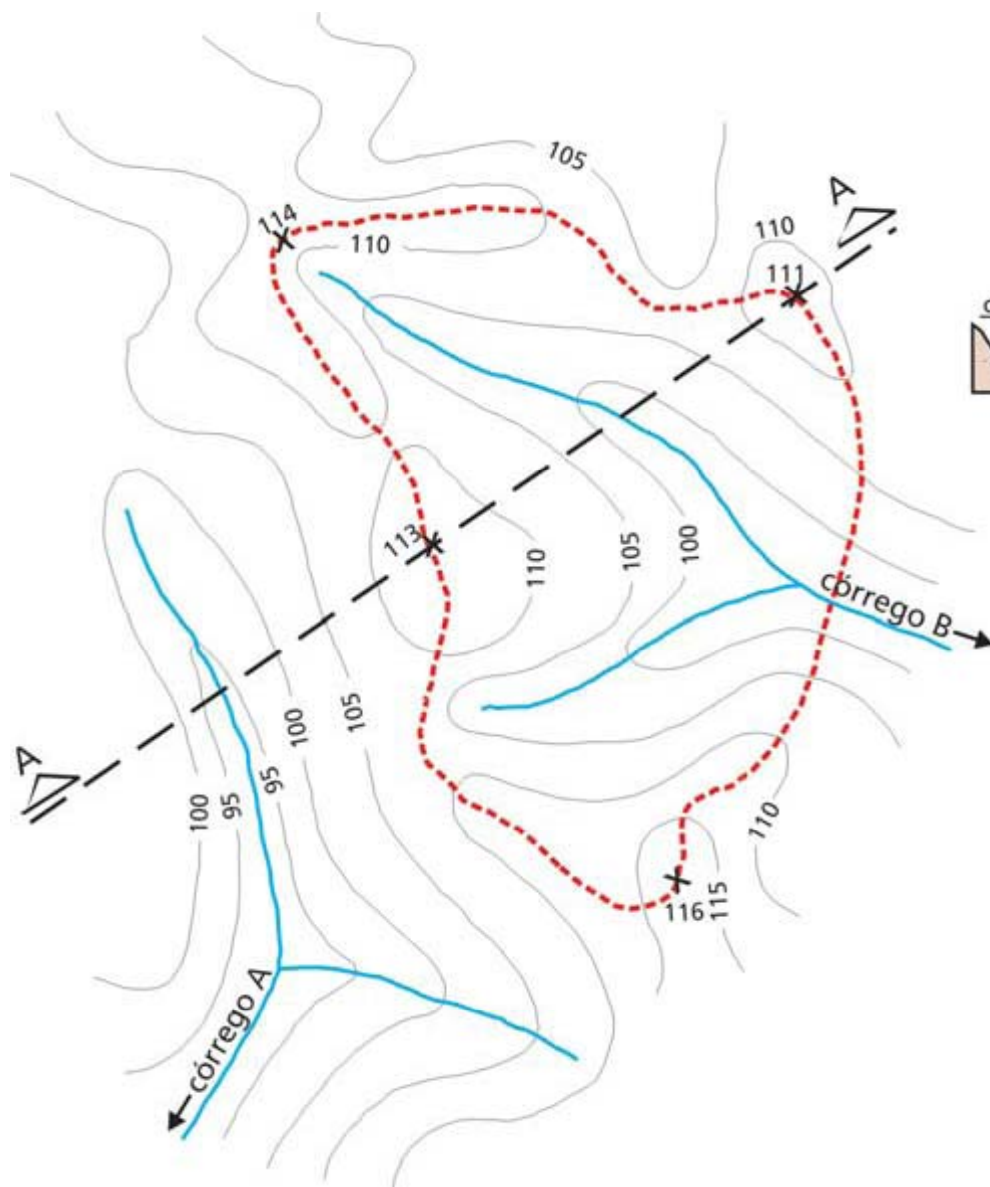


Silte



Argila

Divisor de Água



LEGENDA :

- curva de nível
- curso d'água
- - - divisor de águas

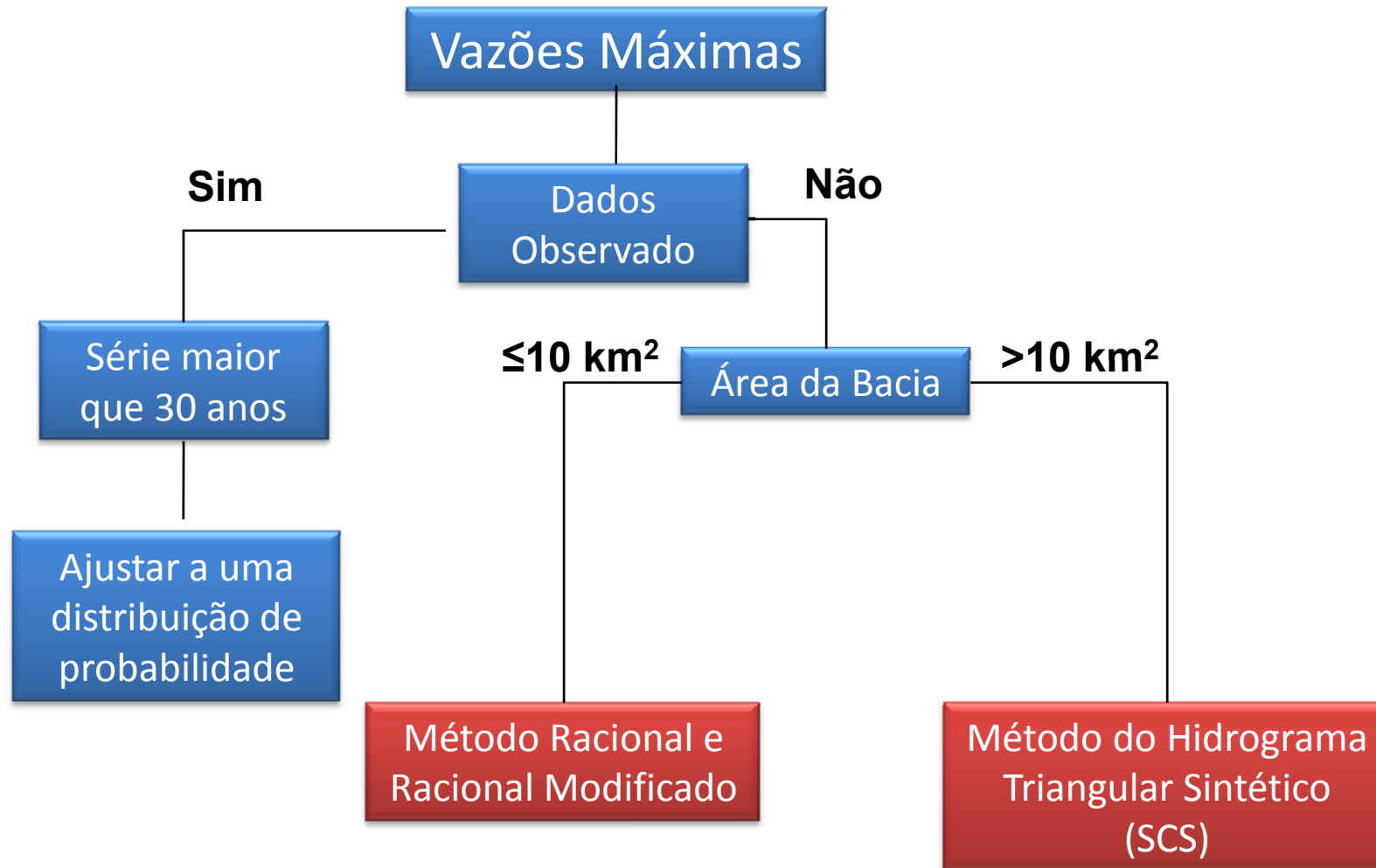
Planta s/ escala

Métodos mais usados para estimativa da vazão de projeto

Área (Km ²)	Método
<5	Racional simples
$5 \leq A \leq 10$	Racional modificado
> 10	Hidrograma Triangular Sintético – SCS

Não existe um consenso entre os autores sobre o tamanho máximo da bacia para aplicação de cada método, mas em geral para bacias com áreas superiores a 10 km² não se aplica o método racional.

Seleção de metodologias para estimativa de vazões



Método Racional

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

Onde:

Q - vazão de cheia (m³/s);

C - coeficiente de escoamento superficial;

i - intensidade da chuva de projeto (mm/hora);

A - área da bacia hidrográfica de contribuição (ha).

Valores de C de acordo com a ocupação

Zonas	C
Centro da cidade densamente construído	0,70 a 0,95
Partes adjacentes ao centro com menor densidade	0,60 a 0,70
Áreas residenciais com poucas superfícies livres	0,50 a 0,60
Áreas residenciais com muitas superfícies livres	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação	0,10 a 0,25
Matas parques e campos de esportes	0,05 a 0,20

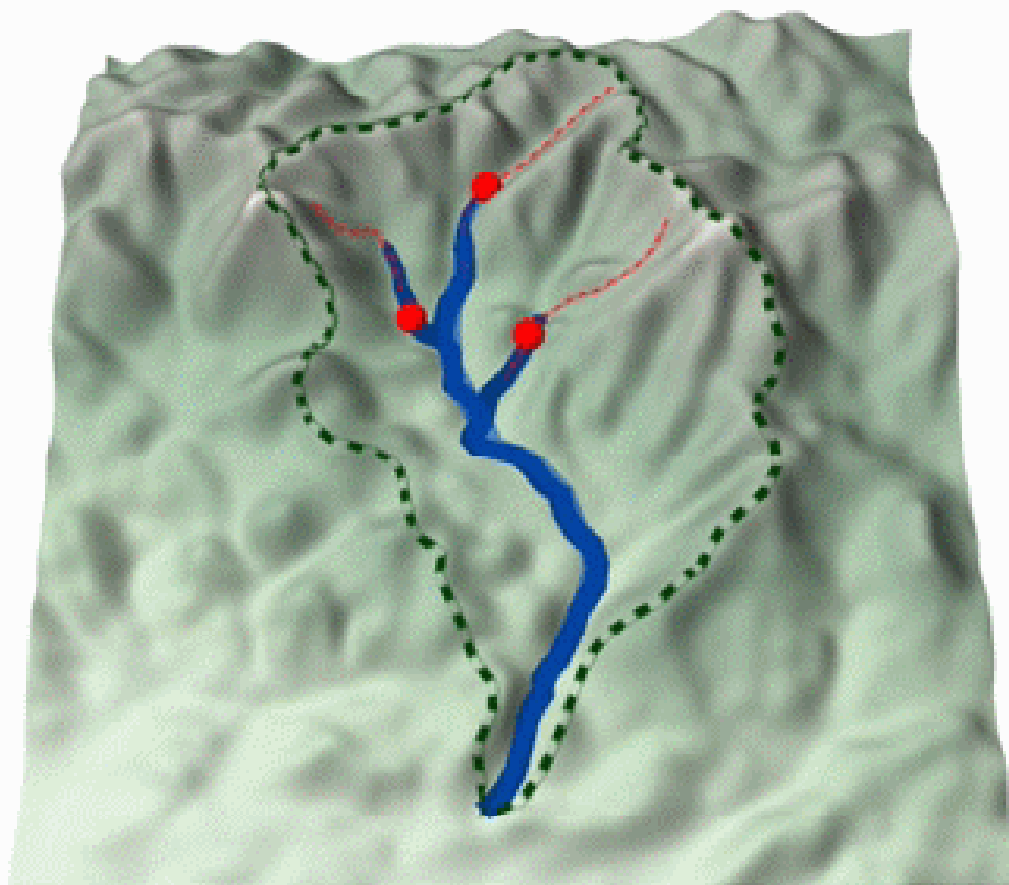
Valores de C para diferentes usos (Bastos, 2009)

Uso do solo		Período de retorno (anos)			
		2 - 10	25	50	100
Sistema viário					
	Vias pavimentadas	0,75 - 0,85	0,83 - 0,94	0,90 - 0,95	0,94 - 0,95
	Vias não pavimentadas	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Áreas industriais					
	Pesadas	0,70 - 0,80	0,77 - 0,88	0,84 - 0,95	0,88 - 0,95
	Leves	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
Áreas Comerciais					
	Centrais	0,75 - 0,85	0,83 - 0,94	0,90 - 0,95	0,94 - 0,95
	Periféricas	0,55 - 0,65	0,61 - 0,72	0,66 - 0,78	0,69 - 0,81
Áreas Residenciais					
	Gramados planos	0,10 - 0,25	0,11 - 0,28	0,12 - 0,30	0,13 - 0,31
	Gramados íngremes	0,25 - 0,40	0,28 - 0,44	0,30 - 0,48	0,31 - 0,50
	Condomínios com lotes >300m ²	0,30 - 0,04	0,33 - 0,44	0,36 - 0,48	0,31 - 0,50
	Residências unifamiliares	0,45 - 0,55	0,50 - 0,61	0,54 - 0,66	0,26 - 0,69
	Uso misto denso	0,50 - 0,60	0,55 - 0,66	0,60 - 0,72	0,63 - 0,75
	Prédios/conjunto de apartamentos	0,60 - 0,70	0,66 - 0,77	0,72 - 0,84	0,75 - 0,88
	Playground/praças	0,40 - 0,50	0,44 - 0,55	0,48 - 0,60	0,50 - 0,63
Áreas rurais					
	Áreas agrícolas	0,10 - 0,20	0,11 - 0,22	0,12 - 0,24	0,13 - 0,25
	Solo exposto	0,20 - 0,30	0,22 - 0,33	0,24 - 0,36	0,25 - 0,38
	Terrenos montanhosos	0,60 - 0,80	0,66 - 0,88	0,72 - 0,95	0,75 - 0,95
	Telhados	0,80 - 0,90	0,90	0,90	0,90

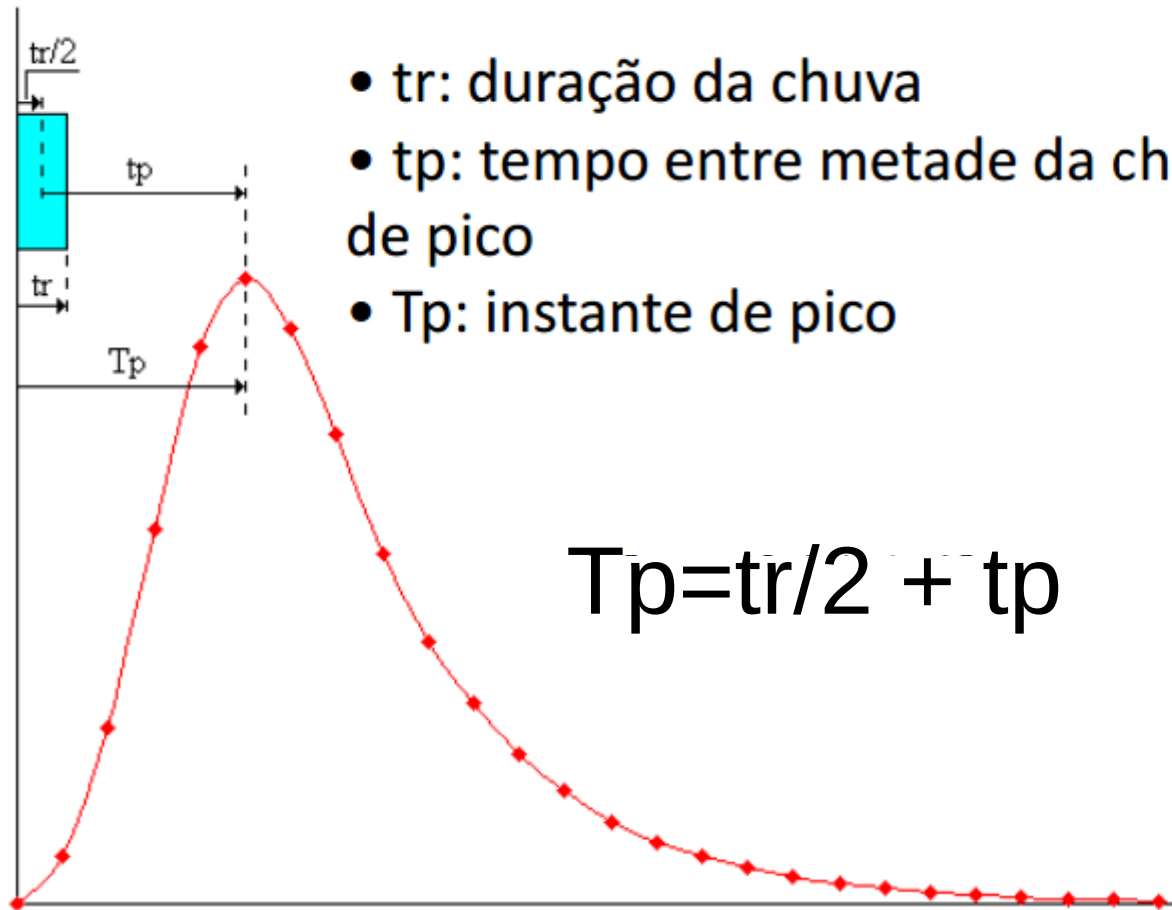
Valores de C para diferentes superfícies

Superfície	intervalo	valor esperado
Asfalto	0,70 a 0,95	0,83
Concreto	0,80 a 0,95	0,88
Calçadas	0,75 a 0,85	0,80
Telhado	0,75 a 0,95	0,85
grama solo arenoso plano	0,05 a 0,10	0,08
grama solo arenoso inclinado	0,15 a 0,20	0,18
grama solo argiloso plano	0,13 a 0,17	0,15
grama solo argiloso inclinado	0,25 a 0,35	0,30
áreas rurais	0,0 a 0,30	

Propagação de vazão



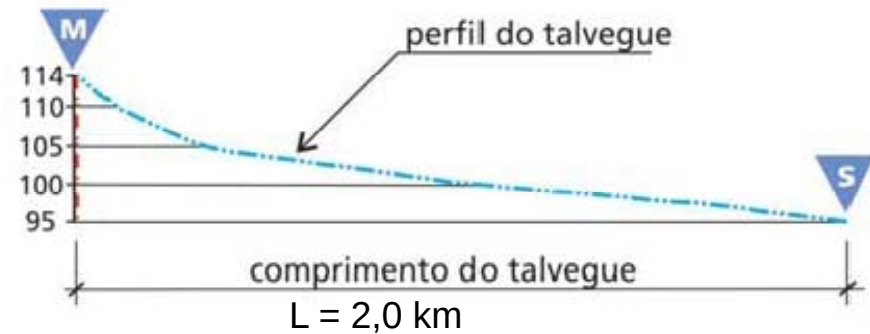
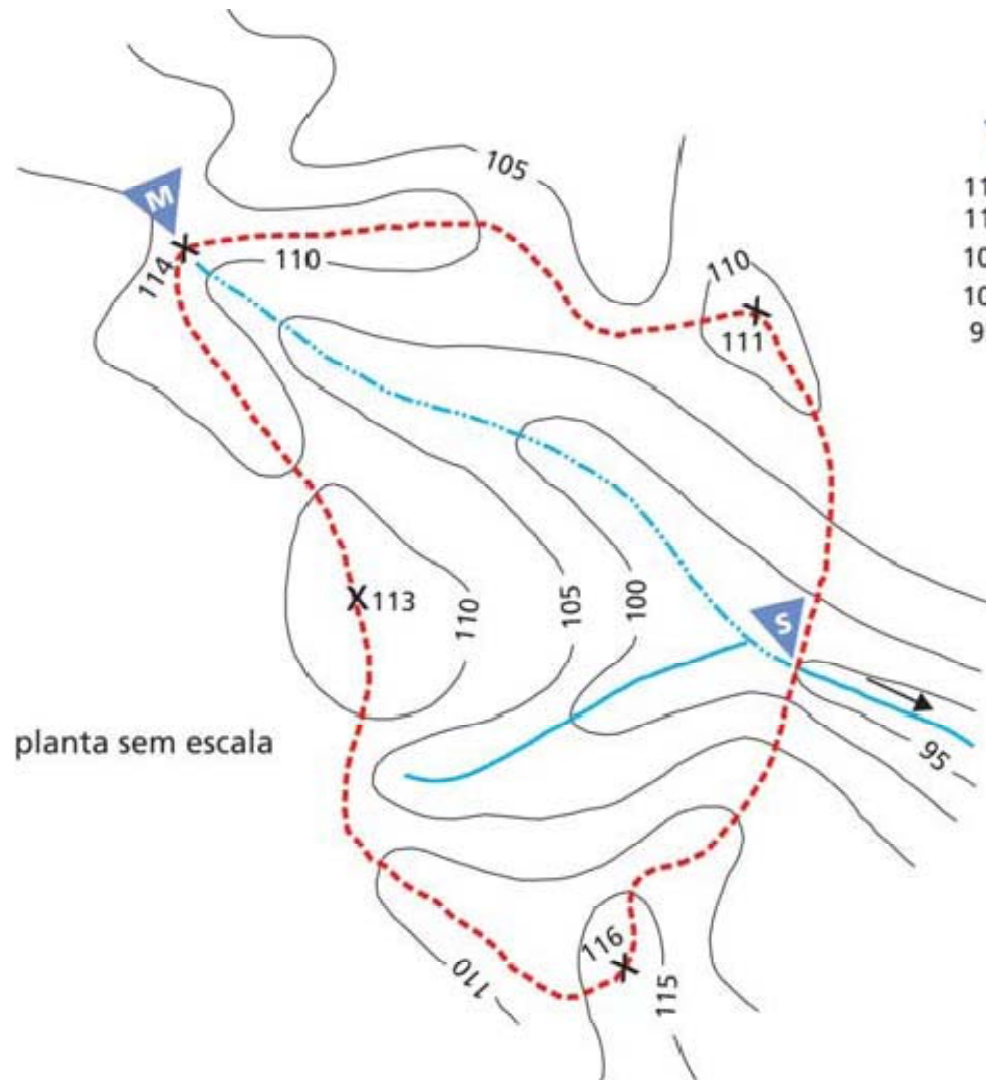
Propagação de vazão



- tr : duração da chuva
- t_p : tempo entre metade da chuva e o instante de pico
- T_p : instante de pico

$$T_p = tr/2 + t_p$$

Propagação de Vazões



- curso d'água
- talvegue principal
- curva de nível
- divisor de águas
- ponto mais distante da bacia
- seção de estudo

Determinação do tempo de concentração

- Equação de Kirpich:
$$t_c = 3,98 \frac{L^{0,77}}{D^{0,385}}$$

t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do rio principal (km);

D = declividade média do rio (adimensional):

L = comprimento total do rio (km)

L_i = comprimento de um trecho do rio (km);

D_i = declividade de um trecho do rio (adimensional)

k = número de trechos

$$D = \left[\frac{L}{\sum_{i=1}^k \frac{L_i}{\sqrt{D_i}}} \right]^2$$

Determinação do tempo de concentração

- Equação “California Culverts Practice”

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

onde:

t_c = tempo de concentração (min)

L = comprimento do talvegue do curso d'água (km)

Δh = desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m)

- Observação: caso $t_c < 10$ min, adotar 10 min

Resumo de tempos de concentração

Método	Fórmulas para t_c (min)	Fonte
Dooge	$t_c = 21,88 \cdot A^{0,41} \cdot i^{-0,17}$ Unidades → A: km ² ; i: m/km	Porto, 1995; Porto, 2004.
DNOS	$t_c = \left(\frac{10}{K} \right) \cdot \frac{A^{0,3} \cdot L'^{0,2}}{i^{0,4}}$ Unidades → K: adm.; A: ha; L': m; i: ‰	DNIT, 2005.
Federal Aviation Agency (1970)	$t_c = 22,73 \cdot (1,1 - C) \cdot L'^{0,5} \cdot i^{-0,333}$ Unidades → L: km; i: m/m	Porto, 1995; Porto, 2004; Genovez, 2001.
George Ribeiro	$t_c = \frac{16 \cdot L''}{(1,05 - 0,2 \cdot a_v) \cdot (100 \cdot i)^{0,04}}$ Unidades → L'': km; a _v : adm.; i: m/m	DNIT, 2005; Genovez, 2001.
Kirpich (1940)	$t_c = 3,989 \cdot L'^{0,77} \cdot i^{-0,385}$ Unidades → L'': km; i: m/km	Porto, 1995; Porto, 2004; Genovez, 2001.
Kirpich Modificada	$t_c = \left(1,42 \cdot \left(\frac{L'^3}{H_b} \right)^{0,385} \right) \cdot 60$ Unidades → L'': km; H _b : m	DNIT, 2005.
Método Cinemático	$t_c = \left(\frac{1000}{60} \right) \cdot \sum \frac{L'}{V_i}$ Unidades → V _i : m/s	Porto, 1995; Ramos, 1999; Porto, 2004; Genovez, 2001.
Método do Lag	$t_c = \left(16 \cdot Kn \left(\frac{L'^{2,5}}{H^{0,5}} \right)^{0,33} \right) \cdot 60$ Unidades → L: km; H: m; Kn: adm.	DNIT, 2005.
Mockus	$t_c = \left(\frac{1,8 \cdot L'^{0,3} \cdot \left(\frac{1000}{CN - 9} \right)^{0,7}}{\sqrt{H_b}} \right) \cdot 60$ Unidades → L'': km; H _b : m	DNIT, 2005.
Pasini	$t_c = \left(\frac{0,107 \sqrt[3]{A \cdot L''}}{\sqrt{i}} \right) \cdot 60$ Unidades → A: km ² ; L'': km; i: m/m	DNIT, 2005.

Fonte: Bastos, 2009

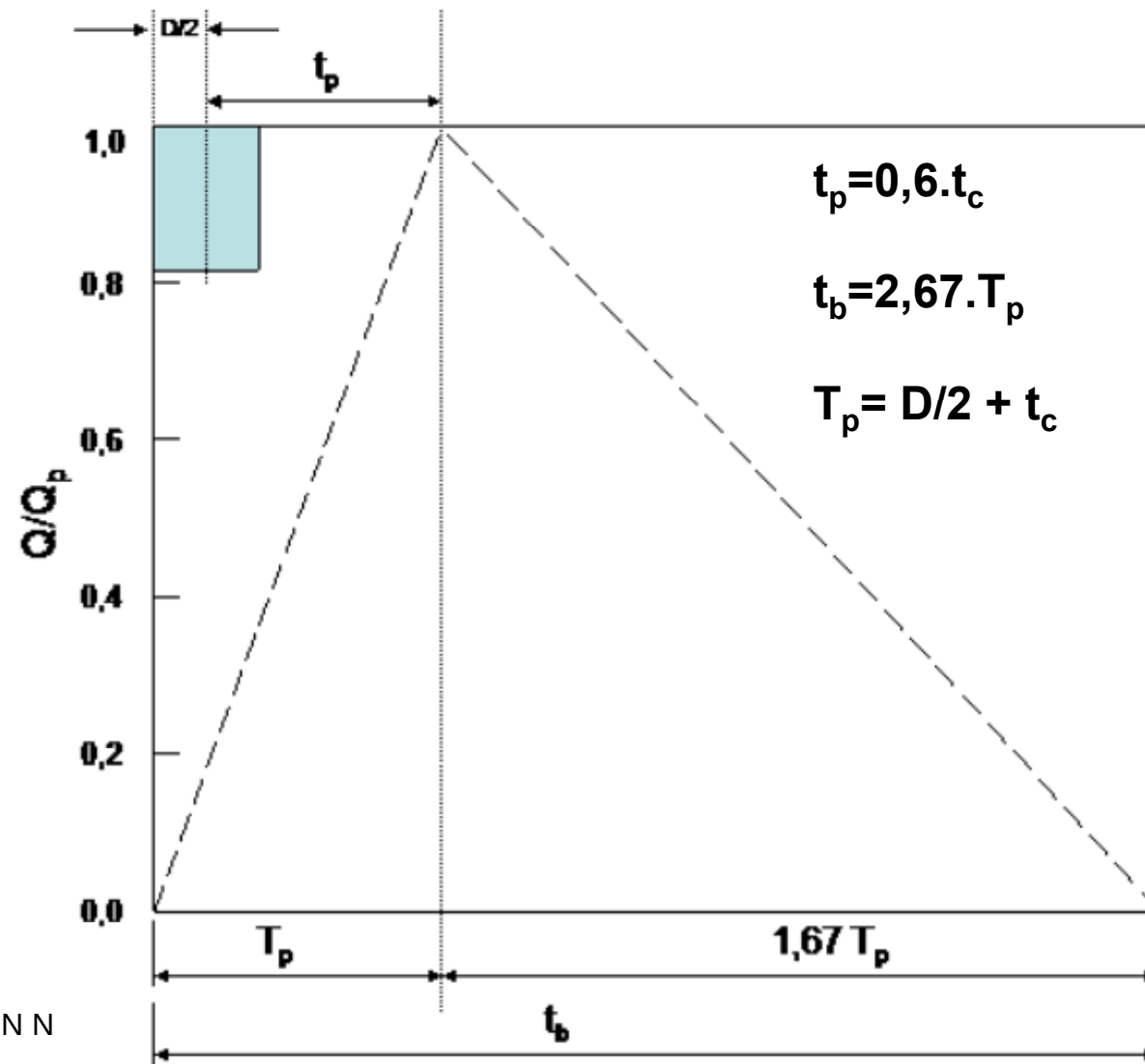
Resumo de tempos de concentração

Método	Fórmulas para t_c (min)	Fonte
SCS - Lag fórmula	$t_c = 3,42 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} \cdot i^{-0,5}$ Unidades → L: km; i: m/m	Porto, 1995; Porto, 2004.
Ventura	$t_c = 0,127 \sqrt{\frac{A}{i}}$ Unidades → A: km²; i: m/m	DNIT, 2005.

Sendo:

- a_v = relação entre área coberta de vegetação e área total da bacia
- A = área de drenagem
- C = coeficiente de escoamento superficial do Método Racional
- CN = Número de Curva
- H = diferença de elevação entre montante e jusante do rio principal (m)
- H_b = diferença de elevação entre montante e jusante na bacia (m)
- i = declividade do talvegue → $i = H/L$
- K = 2 (terreno argiloso, vegetação intensa, elevada absorção); = 3 (terreno comum, vegetação intensa/média, apreciável); = 4 (terreno argiloso, vegetação média/média, absorção média); = 4,5 (terreno argiloso, vegetação média, pouca absorção); = 5 (terreno com rocha, vegetação média/rala, baixa absorção); = 5,5 (terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção).
- Kn = média dos coeficientes de Manning ao longo dos cursos d'água mais importantes da bacia
- L = comprimento do talvegue principal
- L' = comprimento de cada trecho (km)
- L'' = comprimento do curso d'água(km)
- V_t = velocidade média em cada um dos trechos (m/s) conforme Tabela 15.

Hidrograma Triangular Sintético (USA SCS)



Fonte: W . COLLISCHONN

Tipos de Solos

Grupo de solo	<i>Características do solo</i>
A	solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995). Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).
B	solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995) Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).
C	solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995). Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).
D	solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995). Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).

Curva Número (CN)

Número de deflúvio “CN”

Utilização da terra	Condições de superfície	Tipos de solos de área			
		A	B	C	D
Terrenos cultivados	Com suícos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	73	79	82
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou campos cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	59	74	82	86
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76
Superfícies impermeáveis	Áreas urbanizadas	100	100	100	100

(Fonte: WILKEN, 1978)

Bacias Urbanas

Curva Número (CN)

Uso de solo	Superfície	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
Residencial	Lote até 500 m ² (65% impermeável)	77	85	90	92
	Lote até 100 m ² (38% impermeável)	61	75	83	87
	Lote até 1500 m ² (30% impermeável)	57	72	81	86
Estacionamentos	Pavimentos	98	98	98	98
	Cobertos (telhados)	98	98	98	98
Ruas e estradas	Pavimentadas, com guias e drenagens	98	98	98	98
	Com cascalho	76	85	89	91
	De terra	72	82	87	89
Áreas comerciais	85% de impermeabilização	89	92	94	95
Distritos industriais	72% de impermeabilização	81	88	91	93
Espaços abertos, parques e jardins	Boas condições, cobertura de grama	39	61	74	80
	Condições médias, cobertura de grama	49	69	79	84

Bacias Rurais

Curva Número (CN)

Uso de solo	Superfície	Solo A	Solo B	Solo C	Solo D
Terreno preparado para plantio (descoberto)	Plantio em linha reta	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Cultura de fileiras	Linha reta, condições ruins	72	81	88	91
	Linha reta, condições boas	67	78	85	89
	Curva de nível, condições ruins	70	79	84	88
	Curva de nível, condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos	Linha reta, condições ruins	65	86	84	88
	Linha reta, condições boas	63	75	83	87
	Curva de nível, condições ruins	63	74	82	85
	Curva de nível, condições boas	61	73	81	84
Plantações de legumes	Em curvas de nível	60	72	81	88
	Terraciamento em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
Pastagens	Boas	39	61	74	80
	Linha reta, pobres	68	79	86	89
	Linha reta, normais	49	69	79	84
	Linha reta, densos	39	61	74	80
	Curva de nível, condições pobres	47	67	81	88
	Curva de nível, condições normais	25	59	75	83
	Curva de nível, condições densos	6	35	70	79
	Normais	30	58	71	78
Campos	Esparsos, baixa transpiração	45	66	77	83
	Densos, alta transpiração	25	55	70	77
	Normais	56	75	86	91
Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	Superfície dura	74	84	90	92
	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
Florestas	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	23	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Hidrograma Triangular Sintético (USA SCS)

- Estimativa da vazão de projeto (vazão máxima)

$$Q_p = \frac{0,20836 \cdot A(km^2) \cdot Pe}{T_p(h)}$$

Em que:

Q_p – vazão de projeto (m^3/s);

A - área de drenagem (km^2);

T_p - tempo de pico do hidrograma (horas);

Pe -precipitação efetiva acumulada (mm)

$$T_p = tr / 2 + 0,6 \cdot tc$$

- tr : duração da chuva (h)
- tc – tempo de concentração (h)

Obs. Alguns autores sugerem

$tr=tc$ (bacias pequenas. $A < 5 km^2$)

$tr=2 \cdot tc^{0.5}$ (bacias pequenas e grandes)

$tr=24 h$ ($A > 5 km^2$)

Hidrograma Triangular Sintético (USA SCS)

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S}, P > (0,2 \cdot S)$$

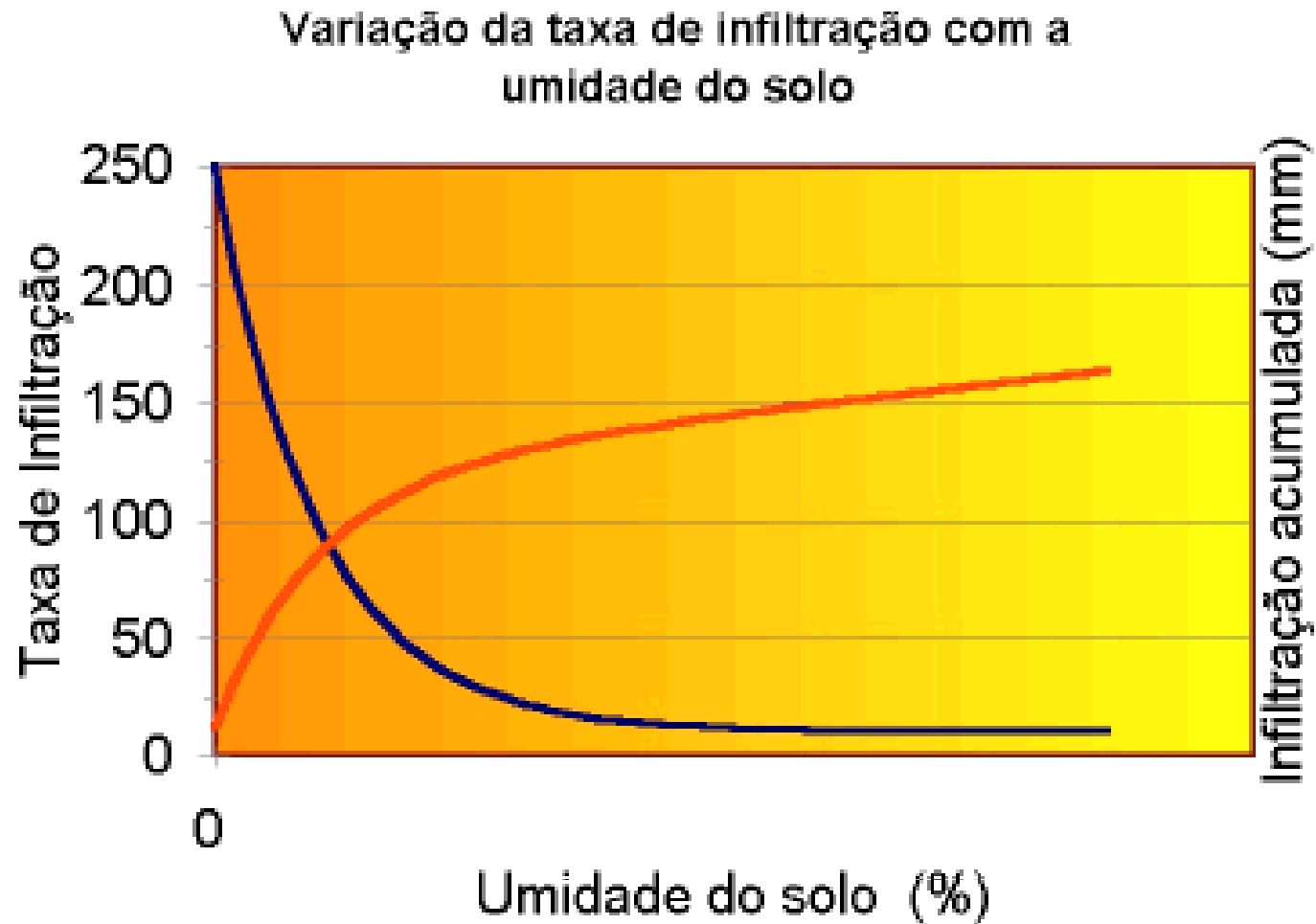
$$S(mm) = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

Observe que para $P < 0,2 \cdot S$
(abstração inicial) $P_e = 0$ mm e
 $Q_p = 0$ m³/s.
Não existe escoamento!

P – precipitação acumulada (mm)

CN – valor na curva número (ver tabelas “Tipos de Solos” e “Curva Número”)

Umidade do solo e escoamento



Fonte: FCTH/DAEE

Condição inicial de umidade

(Os CN's especificado anteriormente são pra a condição II)

Condição I	solos secos: as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassaram 15mm
Condição II	situação média na época das cheias: as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40mm
Condição III	solo úmido (próximo da saturação): as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40mm e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação

Para converte para as outras condições de umidade.

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Exemplos

1. Determinar a vazão de projeto para o dimensionamento de um bueiro que será construído em uma cidade próxima a Quixeramobim-CE em uma bacia de drenagem com 11 km^2 localizada em uma área de floresta normal com solo do tipo D. O comprimento do rio principal é de 7 km e sua declividade é de 1,7%.
2. Determinar o valor da vazão de projeto do exemplo 1 considerando a área da bacia como sendo 8 km^2 .