

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
PHA 3337 – Água em Sistemas Urbanos I

# MICRODRENAGEM -

Joaquin I Bonnacarrère

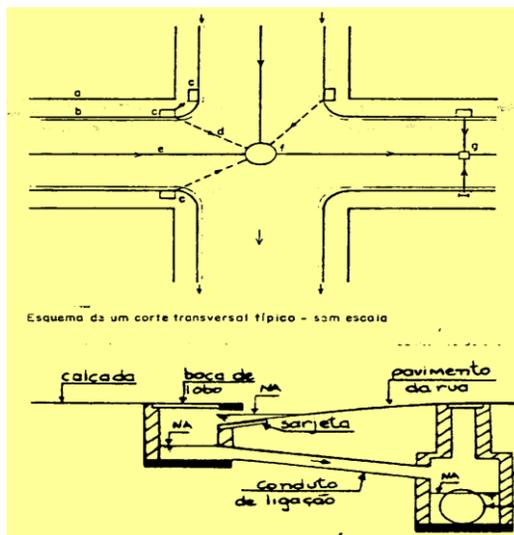
Aula 4

## Objetivos da Aula

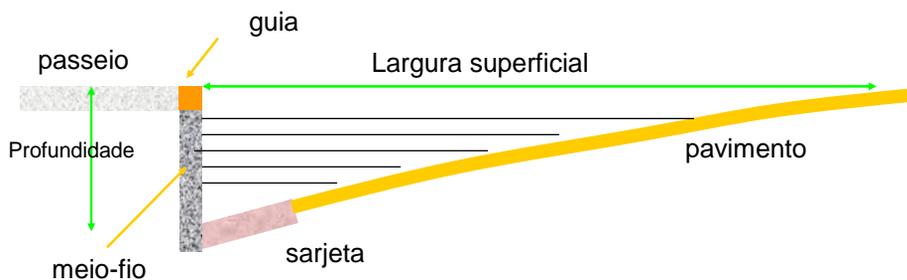
- Parâmetros e Diretrizes de Projeto
- Modelos de Cálculo para Projetos de Elementos de Microdrenagem.
- Exercício prático: Sarjetas e bocas de lobo

## Rua, Sarjeta, etc....

- Pavimentos das Vias Públicas
- Passeio
- Guias
- Sarjetas
- Bocas de Lobo
- Tubos de ligações
- Galerias Pluviais
- Poços de Visita
- Condutos forçados e estações de bombeamento

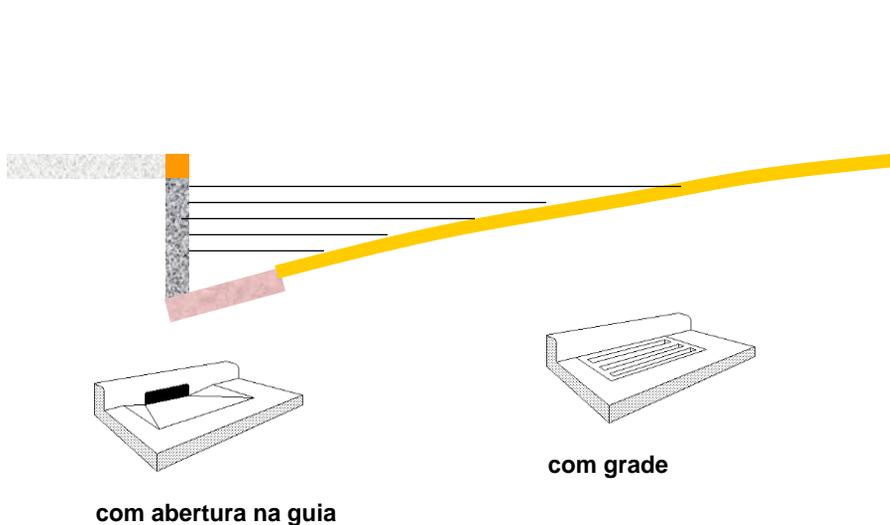


## Componentes do Sistema



- Profundidade: evitar o extravasamento do meio-fio
  - Inundação de propriedade, segurança das pessoas
- Largura superficial: limitado para não inundar a pista
  - aquaplanagem, problemas de visibilidade, molhar as pessoas

## Elementos



## Princípios de Projeto

- **Vazão de Projeto:** Método Racional

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

C – coeficiente de deflúvio (depende do uso e estado da área drenada)

i - intensidade pluviométrica de projeto, função da duração adotada (igual ou maior do que o tempo de concentração da bacia de contribuição e do tempo de retorno (risco adotado))

A – área de contribuição da drenagem

**Cuidado com as unidades!!!!**

## Princípios de Projeto

- **Coefficiente de Deflúvio - C**

Área comercial	
central	0.70 a 0.95
bairros	0.50 a 0.70
Área residencial	
residências isoladas	0.35 a 0.50
unidades múltiplas (separadas)	0.40 a 0.60
unidades múltiplas (conjudadas)	0.60 a 0.75
lotes com 2000 m <sup>2</sup> ou mais	0.30 a 0.45
Área com prédios de apartamentos	0.50 a 0.70
Área industrial	
indústrias leves	0.50 a 0.80
indústrias pesadas	0.60 a 0.90
Parques, cemitérios	0.10 a 0.25
Playgrounds	0.20 a 0.35
Pátios de estradas de ferro	0.20 a 0.40
Áreas sem melhoramentos	0.10 a 0.30

Fonte: Fugita (1980)

## Princípios de Projeto

- **Equação IDF**

- para  $10 \text{ min} \leq t \leq 4320 \text{ min}$  (3 dias)

$$i = \frac{27,96T^{0,112}}{(t + 15)^{0,86T^{-0,0144}}}$$

$$h_{t,T} = (t - 6)^{0,242} \cdot \left\{ 12,6 - 4,49 \cdot \ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T - 1} \right) \right] \right\}$$

Equações ajustadas para os dados do Posto IAG-USP por Wilken (1979) e Martines (1999)

## Princípios de Projeto

- **Tempo de Concentração - Duração da Chuva**

$$t_c = t_e + t_p$$

$$t_e = \left( \frac{2,187Ln}{\sqrt{I}} \right)^{0,467}$$

$$t_p = \frac{0,0913(nL)^{0,8}}{P_2^{0,5} S_0^{0,4}}$$

superfícies uniformes (concreto, asfalto, cascalho ou solo nu)	0,011
solos arados sem resíduos	0,05
solos cultivados	
cobertura residual ≤ 20%	0,06
cobertura residual > 20%	0,17
grama	
grama baixa	0,15
grama densa	0,24
grama de Bermuda	0,41
pastagem (natural)	0,13
florestas	
com pouca vegetação rasteira	0,40
com vegetação rasteira densa	0,80

Adaptado de Akan (1994)

Adaptado de NOTAS DE AULA EM SISTEMAS URBANOS DE MICRODRENAGEM  
Cesar Augusto Pompêo UFSC/2001

## Princípios de Projeto

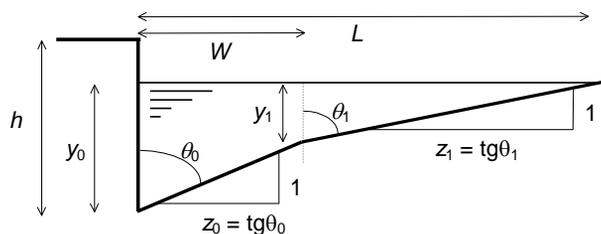
- **Risco e Período de Retorno**

Tipo de ocupação da área	Período de Retorno [anos]
áreas residenciais	2
áreas comerciais	5
áreas com edifícios públicos	5
aeroportos	2-5
áreas comerciais altamente valorizadas e terminais aeroportuários	5-10

Fonte: Fugita (1980)

Adaptado de NOTAS DE AULA EM SISTEMAS URBANOS DE MICRODRENAGEM  
Cesar Augusto Pompêo UFSC/2001

## Dimensões Padronizadas



Profundidade máxima	$h = 15 \text{ cm}$
Lâmina d'água máxima maximorum	$y = 15 \text{ cm}$
Lâmina d'água máxima para evitar transbordamento	$y_0 = 13 \text{ cm}$
Largura	$W = 60 \text{ cm}$
Declividade mínima	$I = 0,004 \text{ m/m}$
Velocidade mínima do escoamento	$v_{\min} = 0,75 \text{ m/s}$
Velocidade máxima do escoamento	$v_{\max} = 3,50 \text{ m/s}$

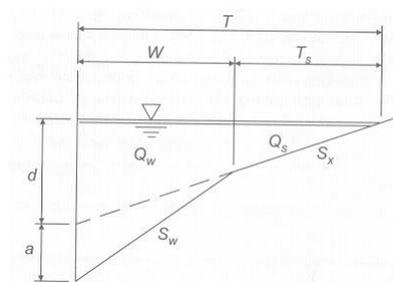
## Sarjetas Compostas - Dimensionamento

### ➤ Capacidade Hidráulica :

- $Q = Q_w + Q_s$
- $T = W + T_s$
- $y = d + a = T \cdot S_x + a$
- $S_w = S_x + a/W$
- Equação de Manning:

$$Q_s = \frac{0,376}{n} \cdot S_x^{5/3} \cdot T_s^{8/3} \cdot S_o^{1/2}$$

$$Q_w = E_o \cdot Q$$



$$Q = Q_s / (1 - E_o)$$

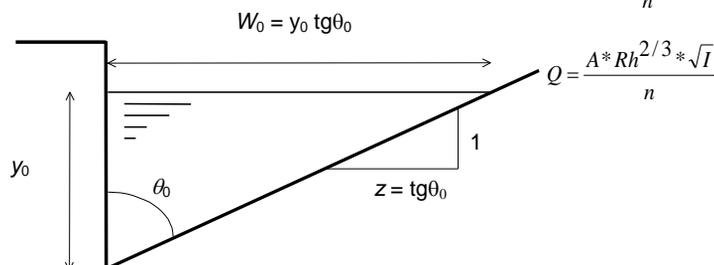
$$E_o = \left[ 1 + \frac{S_w / S_x}{\left( 1 + \frac{S_w / S_x}{(T/W) - 1} \right)^{8/3} - 1} \right]^{-1}$$

## Modelo simplificado

Sarjeta Simples:  $z_0 = z_1$

fórmula de Manning, desprezando o meio-fio:  $Rh = y$

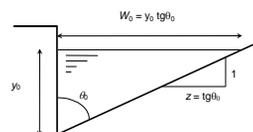
$$v_0 = \frac{Rh^{2/3} * \sqrt{I}}{n}$$



$$Q_0 = 0.375 y_0^{8/3} \left( \frac{z}{n} \right) \sqrt{I} \quad \text{ou} \quad V_0 = 0.958 \left( \frac{\sqrt{I}}{n} \right)^{3/4} \left( \frac{Q_0}{z} \right)^{1/4}$$

Unidades:  $Q_0$  [m<sup>3</sup>/s]     $V_0$  [m/s]     $I$  [m/m]     $y_0$  [m]

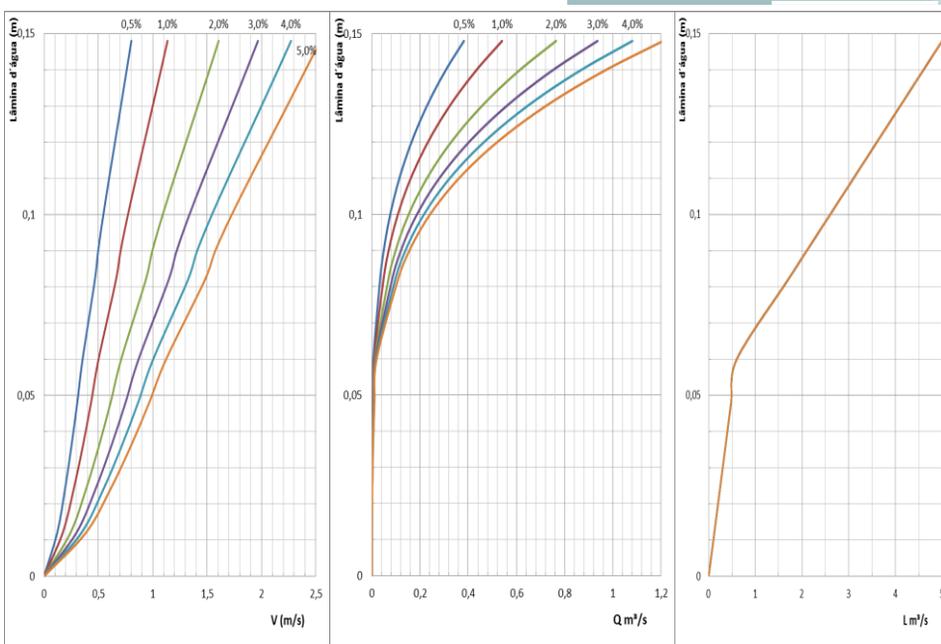
## Verificações no dimensionamento de sarjetas



- Determinar a vazão máxima teórica na extremidade de jusante da sarjeta
- Verificar a lâmina teórica de água junto a guia.
- Verificar a velocidade de escoamento.
- Calcular a capacidade máxima admissível da sarjeta.

# Capacidade

Capacidade das Sarjetas: largura = 60 cm tg(Teta)=10 - Declividade Transversal 2%														
Lâmina y (m)	Declividade Loongitudinal da Via						Declividade Longitudinal da Via							
	0,5%			1,0%			2,0%			3,0%			4,0%	
	V (m/s)	Q (m³/s)	Larg Inund (m)	V (m/s)	Q (m³/s)	Larg Inund (m)	V (m/s)	Q (m³/s)	Larg Inund (m)	V (m/s)	Q (m³/s)	Larg Inund (m)	V (m/s)	Q (m³/s)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,012	0,121	0,000	0,12	0,172	0,000	0,12	0,243	0,000	0,12	0,297	0,000	0,12	0,343	0,000
0,024	0,193	0,001	0,24	0,272	0,001	0,24	0,385	0,001	0,24	0,472	0,001	0,24	0,545	0,002
0,036	0,252	0,002	0,36	0,357	0,002	0,36	0,505	0,003	0,36	0,618	0,004	0,36	0,714	0,005
0,048	0,306	0,004	0,48	0,432	0,005	0,48	0,612	0,007	0,48	0,749	0,009	0,48	0,865	0,010
0,060	0,355	0,006	0,6	0,502	0,009	0,6	0,710	0,013	0,6	0,869	0,016	0,6	1,004	0,018
0,067	0,471	0,020	0,97	0,666	0,015	0,97	0,943	0,021	0,97	1,154	0,026	0,97	1,333	0,030
0,075	0,455	0,025	1,33	0,643	0,036	1,33	0,909	0,051	1,33	1,114	0,062	1,33	1,286	0,071
0,082	0,468	0,034	1,70	0,662	0,049	1,70	0,936	0,069	1,70	1,146	0,084	1,70	1,324	0,097
0,089	0,495	0,048	2,07	0,700	0,068	2,07	0,990	0,096	2,07	1,213	0,117	2,07	1,400	0,135
0,097	0,529	0,066	2,43	0,748	0,094	2,43	1,058	0,133	2,43	1,296	0,162	2,43	1,497	0,187
0,104	0,566	0,090	2,80	0,801	0,128	2,80	1,133	0,180	2,80	1,388	0,221	2,80	1,602	0,255
0,111	0,605	0,120	3,17	0,856	0,170	3,17	1,211	0,240	3,17	1,483	0,294	3,17	1,712	0,340
0,119	0,645	0,157	3,53	0,912	0,222	3,53	1,290	0,314	3,53	1,580	0,384	3,53	1,825	0,444
0,126	0,685	0,201	3,90	0,969	0,284	3,90	1,370	0,402	3,90	1,678	0,492	3,90	1,937	0,568
0,133	0,725	0,253	4,27	1,025	0,358	4,27	1,449	0,506	4,27	1,775	0,619	4,27	2,050	0,715
0,141	0,764	0,313	4,63	1,080	0,443	4,63	1,528	0,626	4,63	1,871	0,767	4,63	2,161	0,885
0,148	0,803	0,382	5,00	1,135	0,540	5,00	1,606	0,764	5,00	1,967	0,936	5,00	2,271	1,081



## Dados para o projeto

**Traçado da Rede Pluvial:** escala: 1:2.000 ou 1:1.000

- indicar os divisores de bacia e as áreas contribuintes
- setas para indicar o escoamento nas sarjetas
- galerias pluviais, se possível, devem ficar sob o passeio
- sistema coletor pode ser de uma rede única, recebendo contribuições das bocas de lobo de ambos os passeios
- solução é a mais econômica, função da largura e das condições da pavimentação

**Bocas-de-Lobo:** dissipadores, que devem conduzir as águas de forma adequada até as galerias ou poços. Utilizadas para evitar “zonas mortas”

**Poços de Visitas:** atender as mudanças de direção, de diâmetro e de declividade à ligação das bocas de lobo, entroncamentos.

## Classes das vias

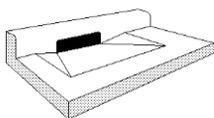
Tipo	Secundária	Principal	Avenida	Expressa
função	tráfego local	coletar e distribuir o tráfego	trânsito rápido e desimpedido através da cidade	limitação de fluxos no perímetro urbano
faixas de trânsito	duas	duas a quatro	quatro a seis faixas	quatro a seis faixas
estacionamento	sim	nem sempre	não é permitido	acostamento sinalizado
sinalização	placas	placas e semáforos	placas e semáforos	placas
velocidade máxima	30 a 40 Km/h	40 a 60 Km/h	60 Km/h	80 Km/h
inundação máxima	até a crista da rua	preservar uma faixa de trânsito	preservar uma faixa de trânsito em cada direção	nenhuma ou somente na largura da sarjeta

## Critérios

### Capacidade de Descarga:

- segurança de pedestres e veículos;
- relação com inundações máximas nos pavimentos das vias;
- orientação para necessidade de colocação de pontos de captação do escoamento em bocas de lobo.

## Bocas de Lobo e Grelhas

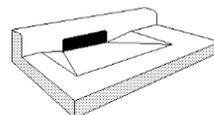


### Funções:

- captação do escoamento superficial das sarjetas
- garantir a eficiência do sistema de galerias
- não ocorram inundações no pavimento das vias públicas

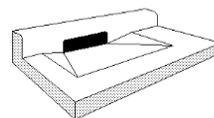
## BL's Padronizadas

### Localização e Operação:



- **em pontos intermediários**
  - situadas em trechos de sarjeta com escoamento em uma única direção e declividade uniforme
  - entrada da água se faz por uma das extremidades da boca de lobo
- **em pontos baixos**
  - situadas em mudanças de declividade da sarjeta (ponto baixo de acumulação de água)
  - entrada da água se faz pelas duas extremidades da boca de lobo

## Capacidade das BL

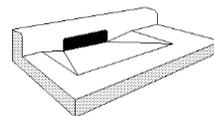


### Capacidade Hidráulica de Captação:

- **características do escoamento na sarjeta a montante**
- **tipo e dimensões da boca de lobo**
- **Localização: em um local de declividade constante (captação parcial ou total) ou ponto baixo (captação total)**

## Capacidade das BL

### Capacidade Hidráulica de Captação:

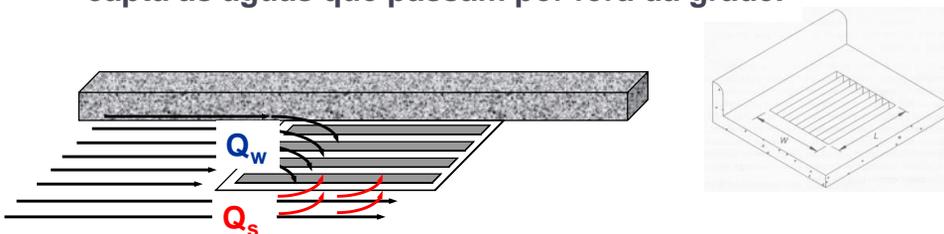


- **Formulação Empírica: testes em laboratório**

- **Eficiência:  $E = Q_{int} / Q$** 
  - Vazão efetivamente captada
    - $Q_{int} = E \cdot Q$
  - **Vazão não captada:  $Q_b = Q - Q_{int}$**

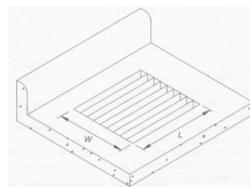
## Grelhas

- capta as águas que passam sobre a grade;
- capta as águas que passam por fora da grade.



- $E_o$  é a relação entre a vazão frontal  $Q_w$  e a vazão total  $Q$
- $Q_w = E_o \cdot Q$
- $Q_s = (1 - E_o) \cdot Q$
- $E_o = 1 - (1 - W / L)^{2,67}$

## Grelhas



### Eficiência da Grade:

$$E = R_f \cdot E_0 + R_s \cdot (1 - E_0)$$

$R_f$ : relação entre a vazão interceptada frontalmente pela grade e a vazão total na sarjeta

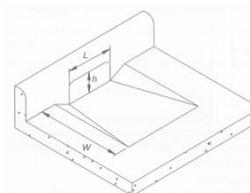
- $R_f = 1 - 0,295 \cdot (V - V_0)$  para  $V \geq V_0$
- $R_f = 1$  para  $V \leq V_0$
- Onde:  $V_0$  é a velocidade a partir da qual uma parcela da vazão  $Q_w$  **NÃO** é captada

$R_s$ : a vazão interceptada lateralmente pela grade e a vazão lateral total

$$R_s = \left( 1 + \frac{0,0828 \cdot V^{1,8}}{S_x \cdot L^{2,3}} \right)^{-1}$$

$E_0$ : razão entre a vazão frontal e a vazão lateral escoada na sarjeta

## BL's - Abertura na Guia



- **Dimensionamento:**
- $h \leq 15$  cm
- comprimento para captação total da vazão  $Q$  da sarjeta

$$L_T = 0,82 Q^{0,42} S^{0,3} \left( \frac{1}{n S_x} \right)^{0,6}$$

declividade longitudinal da sarjeta

declividade transversal da sarjeta

- **Eficiência:**  $E = 1 - (1 - L / L_T)^{1,8}$
- **Vazão efetivamente captada**  $Q_{int} = E \cdot Q$

## BL's em Pontos Baixos com grade

- Carga < 12 cm: operação como vertedor :  
taxa de captação por unidade de perímetro  
molhado de abertura da grade

$$\frac{Q}{P} = 1,655y^{3/2}$$



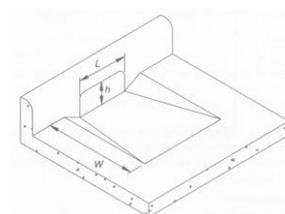
- Carga  $\geq 42$  cm: operação como orifício  
taxa de captação por unidade de área de abertura  
da grade será

$$\frac{Q}{A} = 2,91y^{1/2}$$

## BL's em Pontos Baixos com abertura na guia

- se  $y/h \leq 1$ : operação como  
vertedor :

vazão captada  $Q = 1,703Ly^{3/2}$



- se  $y/h > 2$ : operação como orifício :

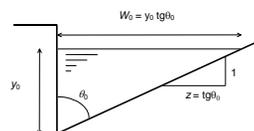
vazão captada  $Q = 3,101Lh^{3/2}\sqrt{y/h - 1/2}$

- se  $1 < y/h < 2$ : operação indefinida

## AULA PRÁTICA

### Exercício de dimensionamento de sarjeta e boca de lobo

#### Exercício 1



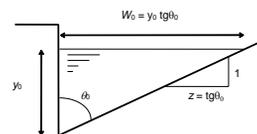
Pretende-se projetar uma **sarjeta** situada em uma área com as seguintes características:

- $A = 2,0$  ha
- $i = 57,7 \cdot T^{0,172} / (t+22)^{1,025}$  (Wilken para SP) c/ "i" em mm/min e "t" em min
- $C = 0,40$ ,  $Tr = 2$  anos e  $t_c = 30$  min.

Considerar a sarjeta com as seguintes características iniciais:

- $l = 0,01$  m/m,  $z = 16$  e  $n = 0,016$ .

## Exercício 1



- Determinar a vazão máxima teórica na extremidade de jusante da sarjeta
- Verificar a lâmina teórica de água junto a guia.
- Verificar a velocidade de escoamento.
- Calcular a capacidade máxima admissível da sarjeta.

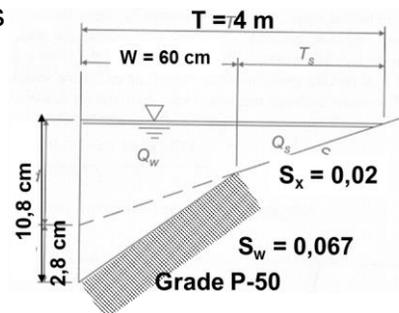
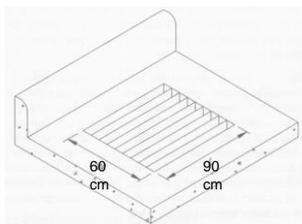
## Exercício 2

A partir das dimensões da sarjeta e da grelha indicadas nas figuras, determine a parcela da **vazão não interceptada** e a **eficiência da grade**.

Dados fornecidos:

Vazão de contribuição =  $0,29 \text{ m}^3/\text{s}$

$E_0$  da sarjeta =  $0,42$



**Quiz****1/3**

**1. A vazão afluente ao sistema de microdrenagem é estimada**

- a) A partir da chuva média admitida para o local
- b) Considerando-se a classe da via e a velocidade do tráfego
- c) A partir da relação intensidade-duração-frequência para o local

**Quiz****2/3**

**1. A capacidade de vazão de uma sarjeta pode ser calculada, de forma simplificada, conhecendo-se:**

- a) As declividades transversal e longitudinal, o coeficiente de rugosidade do material, a largura e a altura da sarjeta.
- b) A declividade longitudinal, o coeficiente de rugosidade do material, as larguras da sarjeta e da via.
- c) A declividades transversal, o coeficiente de rugosidade do material, as larguras da sarjeta e do passeio.

## Quiz

3/3

### 1. São partes constituintes de um sistema de microdrenagem:

- a) A entrada da água nas bocas de lobo se faz sempre por uma das extremidades.
- b) As bocas de lobo são situadas em mudanças de declividade da sarjeta.
- c) A capacidade hidráulica de captação das bocas de lobo depende das características do escoamento na sarjeta a montante, do seu tipo e dimensões e de sua localização.

d) V V F

b) F F V

c) V F F