	Memória de cálculo		Nº: R-MEM-8-100-JDI-001
	CLIENTE:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 1 de 13
	OBRA:	Projeto Básico de Drenagem e Pavimentação de logradouros do Bairro Jardim Imbuí no Município de Niterói/RJ	
	TÍTULO:	Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem	
	Endereço:	Jardim Imbuí – Niterói / RJ	RESPONSÁVEL: Luíz Henrique Kozlowski Ribeiro CREA Nº: 2017109854

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	PROP.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	PI	EMIÇÃO ORIGINAL

PRELIMINAR (PR)	PARA INFORMAÇÃO (PI)	PARA APROVAÇÃO (PA)	PARA DETALHAMENTO (PD)
LIB. P/ CONSTR. / COMPRA (PC)	CONFORME COMPR./CONSTRUÍDO (CC)	EMIÇÃO FINAL (EF)	CANCELADO (CA)

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	17-12-19								
PROJETO	R.Guedes								
EXECUÇÃO	R.Guedes								
VERIFICAÇÃO	E.Keller								
APROVAÇÃO	L.Ribeiro								

1. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO

1.1. Delimitação e caracterização da Bacia Hidrográfica

Para a determinação da Bacia Hidrográfica foi utilizado o 1º relatório de hidrologia realizado pela empresa Hydro Science [1]. No presente relatório foi delimitado a bacia hidrográfica de toda a região oceânica, bem como suas sub-bacias, para isto, foi utilizado dados de hidrografia e da topografia disponibilizados pela prefeitura Municipal de Niterói.

Para o estudo em questão, foi considerado as sub-bacias que são drenadas para a Lagoa de Piratininga, demarcadas em verde conforme a figura 1.

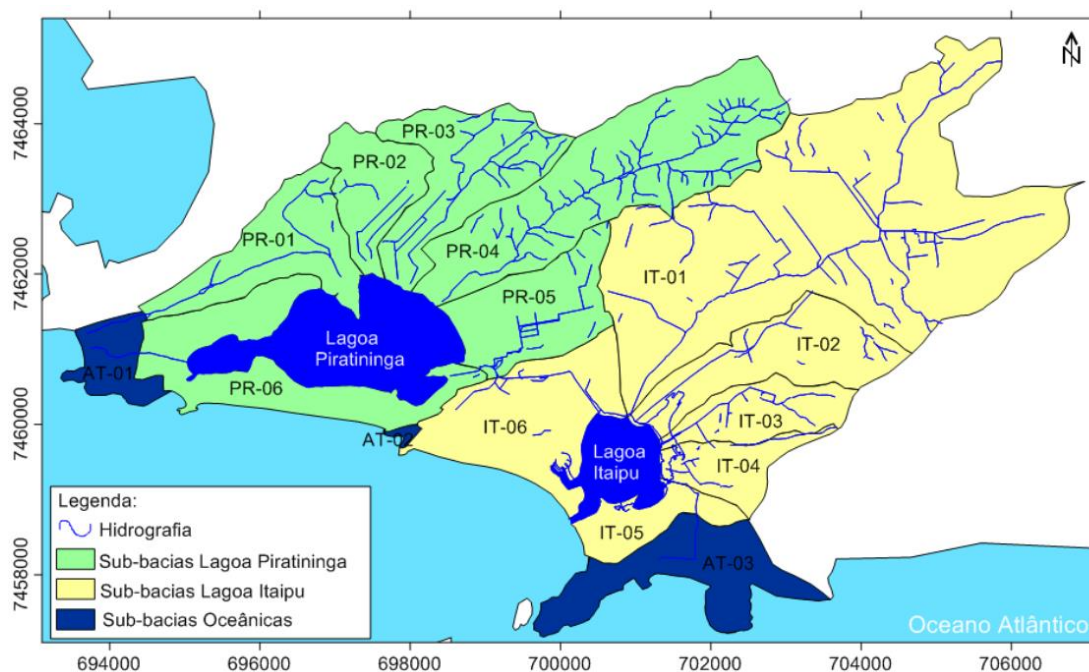



Figura 1 – Sub-bacias da Região Oceânica [1].

O Bairro Jardim Imbuí se encontra na sub-bacia PR-06, cuja área de contribuição é de 3,25 km² [1]. Para o dimensionamento da vazão foi considerado o valor total da área da bacia.

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 3 de 13
	TÍTULO:	Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem	

1.2. Cálculo da vazão: Método Racional

O método racional é largamente utilizado na determinação de vazão máxima de projeto para bacias pequenas, com áreas de contribuição até 150 hectares. Os princípios básicos desta metodologia são:


- A duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia;
- Adota-se um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado a partir das características da bacia;
- Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões;

A equação modelo para é a seguinte:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{K} = \frac{0,80 \times 0,49 \times 325}{360} = 0,351 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

C	Coeficiente de deflúvio, adimensional, adotado 0,80 para as demais regiões, conforme o termo de referência de projeto;
i	Intensidade pluviométrica em mm/h, adotado valor de 350 mm/mês conforme o documento R-BAC-8-100-JDI-001 – Estudo das bacias de contribuição;
A	Área da bacia em hectare, definido no item 1.1 deste documento;
K	Constante de cálculo para ajuste das unidades;

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA: Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa		FOLHA: 4 de 13
	TÍTULO: Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem		

2. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Para o dimensionamento hidráulico das galerias de drenagem será adotada a formulação de Manning, uma das mais utilizadas para o cálculo de escoamentos em superfícies livres. Cujas fórmulas para velocidade e vazão em seção plena são expressas conforme as equações 2 e 3.

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{Eq. 2}$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

- n Coeficiente de rugosidade de manning, adimensional, adotado 0,015, conforme o termo de referência de projeto;
- R Raio Hidráulico em m;
- S Declividade longitudinal em m/m;
- D Diâmetro útil da tubulação;

Para o dimensionamento das redes tubulares foi considerado uma galeria com o diâmetro nominal (DN) de 900mm e um enchimento de no máximo 60% de sua capacidade. Este diâmetro foi adotado para obedecer a alguns critérios de pré-dimensionamento e a velocidade mínima permitida de projeto de 1,0 m³/s. Após o cálculo da vazão e velocidade para seção plena, foi utilizado uma tabela de condutos circulares parcialmente cheios para encontrar os respectivos valores considerando a seção em funcionamento com 60% de sua capacidade, conforme a tabela 1.



A.M.S.
Serviços

Memória de cálculo

Nº: R-MEM-8-100-JDI-001

REV. 0

OBRA: Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa


FOLHA: 5 de 13

TÍTULO: **Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem**

Condutos circulares parcialmente cheios									
Relações baseadas na equação de Manning: $v = R_H^{2/3} I^{1/2} / n$ e $Q = v \cdot A_m$									
y/D	R _H /D	A _m /D ²	v/v _p	Q/Q _p	y/D	R _H /D	A _m /D ²	v/v _p	Q/Q _p
0,01	0,0066	0,0013	0,0890	0,00015	0,51	0,2531	0,4027	1,0084	0,51702
0,02	0,0132	0,0037	0,1408	0,00067	0,52	0,2562	0,4127	1,0165	0,53411
0,03	0,0197	0,0069	0,1839	0,00161	0,53	0,2592	0,4227	1,0243	0,55127
0,04	0,0262	0,0105	0,2221	0,00298	0,54	0,2621	0,4327	1,0320	0,56847
0,05	0,0326	0,0147	0,2569	0,00480	0,55	0,2649	0,4426	1,0393	0,58571
0,06	0,0389	0,0192	0,2891	0,00708	0,56	0,2676	0,4526	1,0464	0,60296
0,07	0,0451	0,0242	0,3194	0,00983	0,57	0,2703	0,4625	1,0533	0,62022
0,08	0,0513	0,0294	0,3480	0,01304	0,58	0,2728	0,4724	1,0599	0,63746
0,09	0,0575	0,0350	0,3752	0,01672	0,59	0,2753	0,4822	1,0663	0,65467
0,10	0,0635	0,0409	0,4011	0,02088	0,60	0,2776	0,4920	1,0724	0,67184
0,11	0,0695	0,0470	0,4260	0,02550	0,61	0,2799	0,5018	1,0783	0,68895
0,12	0,0755	0,0534	0,4499	0,03058	0,62	0,2821	0,5115	1,0839	0,70597
0,13	0,0813	0,0600	0,4730	0,03613	0,63	0,2842	0,5212	1,0893	0,72290
0,14	0,0871	0,0668	0,4953	0,04214	0,64	0,2862	0,5308	1,0944	0,73972
0,15	0,0929	0,0739	0,5168	0,04861	0,65	0,2881	0,5404	1,0993	0,75641
0,16	0,0986	0,0811	0,5376	0,05552	0,66	0,2900	0,5499	1,1039	0,77295
0,17	0,1042	0,0885	0,5578	0,06288	0,67	0,2917	0,5594	1,1083	0,78932
0,18	0,1097	0,0961	0,5774	0,07068	0,68	0,2933	0,5687	1,1124	0,80551
0,19	0,1152	0,1039	0,5965	0,07891	0,69	0,2948	0,5780	1,1162	0,82149
0,20	0,1206	0,1118	0,6150	0,08757	0,70	0,2962	0,5872	1,1198	0,83724
0,21	0,1259	0,1199	0,6331	0,09664	0,71	0,2975	0,5964	1,1231	0,85275
0,22	0,1312	0,1281	0,6506	0,10613	0,72	0,2987	0,6054	1,1261	0,86799
0,23	0,1364	0,1365	0,6677	0,11602	0,73	0,2998	0,6143	1,1288	0,88294
0,24	0,1416	0,1449	0,6844	0,12631	0,74	0,3008	0,6231	1,1313	0,89758
0,25	0,1466	0,1535	0,7007	0,13698	0,75	0,3017	0,6319	1,1335	0,91188
0,26	0,1516	0,1623	0,7165	0,14803	0,76	0,3024	0,6405	1,1354	0,92582
0,27	0,1566	0,1711	0,7320	0,15945	0,77	0,3031	0,6489	1,1369	0,93938
0,28	0,1614	0,1800	0,7470	0,17123	0,78	0,3036	0,6573	1,1382	0,95253
0,29	0,1662	0,1890	0,7618	0,18336	0,79	0,3039	0,6655	1,1391	0,96523
0,30	0,1709	0,1982	0,7761	0,19583	0,80	0,3042	0,6736	1,1397	0,97747
0,31	0,1756	0,2074	0,7901	0,20863	0,81	0,3043	0,6815	1,1400	0,98921
0,32	0,1802	0,2167	0,8038	0,22175	0,82	0,3043	0,6893	1,1399	1,00041
0,33	0,1847	0,2260	0,8172	0,23518	0,83	0,3041	0,6969	1,1395	1,01104
0,34	0,1891	0,2355	0,8302	0,24892	0,84	0,3038	0,7043	1,1387	1,02107
0,35	0,1935	0,2450	0,8430	0,26294	0,85	0,3033	0,7115	1,1374	1,03044
0,36	0,1978	0,2546	0,8554	0,27724	0,86	0,3026	0,7186	1,1358	1,03913
0,37	0,2020	0,2642	0,8675	0,29180	0,87	0,3018	0,7254	1,1337	1,04706
0,38	0,2062	0,2739	0,8794	0,30662	0,88	0,3007	0,7320	1,1311	1,05420
0,39	0,2102	0,2836	0,8909	0,32169	0,89	0,2995	0,7384	1,1280	1,06047
0,40	0,2142	0,2934	0,9022	0,33699	0,90	0,2980	0,7445	1,1243	1,06580
0,41	0,2182	0,3032	0,9131	0,35250	0,91	0,2963	0,7504	1,1200	1,07011
0,42	0,2220	0,3130	0,9239	0,36823	0,92	0,2944	0,7560	1,1151	1,07328
0,43	0,2258	0,3229	0,9343	0,38415	0,93	0,2921	0,7612	1,1093	1,07520
0,44	0,2295	0,3328	0,9445	0,40025	0,94	0,2895	0,7662	1,1027	1,07568
0,45	0,2331	0,3428	0,9544	0,41653	0,95	0,2865	0,7707	1,0950	1,07452
0,46	0,2366	0,3527	0,9640	0,43296	0,96	0,2829	0,7749	1,0859	1,07138
0,47	0,2401	0,3627	0,9734	0,44954	0,97	0,2787	0,7785	1,0751	1,06575
0,48	0,2435	0,3727	0,9825	0,46624	0,98	0,2735	0,7816	1,0618	1,05669
0,49	0,2468	0,3827	0,9914	0,48307	0,99	0,2666	0,7841	1,0437	1,04196
0,50	0,2500	0,3927	1,0000	0,50000	1,00	0,2500	0,7854	1,0000	1,00000

Tabela 1 – Tabela de dimensionamento de condutos circulares parcialmente cheios [2].

Na tabela acima a coluna v/V_p e Q/Q_p representam respectivamente a relação dos valores das velocidades da seção parcial com a velocidade para seção plana, e a vazão da seção parcial com a vazão para seção plena.

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 6 de 13
	TÍTULO: Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem		

2.1. Velocidade de escoamento

Considerando a equação 2 para o cálculo da velocidade para seção plena e multiplicando o valor final da velocidade pelo fator retirado da tabela 2, pode-se obter o valor final da velocidade de escoamento considerando a seção tubular com 60% de sua capacidade.

$$V = \left(\frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}\right) \times F = \left(\frac{1}{0,015} \times 0,206^{\frac{2}{3}} \times 0,003^{\frac{1}{2}}\right) \times 1,0724 = 1,367 \text{ m/s}$$


O valor da velocidade de projeto obtido com o dimensionamento atende os valores mínimos e máximos definidos no termo de referência, concluindo que o dimensionamento da velocidade atende os requisitos de projeto.

2.2. Vazão de projeto

Utilizando a equação 3 para o dimensionamento da vazão para seção plena e multiplicando o valor final pelo fator retirado da tabela 2, é obtido o valor final da vazão considerando a seção tubular com 60% de sua capacidade.

$$Q = \left(\frac{\pi D^2}{4n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}\right) \times F = \left(\frac{\pi 0,825^2}{4 \times 0,015} \times 0,206^{\frac{2}{3}} \times 0,003^{\frac{1}{2}}\right) \times 0,67184 = 0,458 \text{ m}^3/\text{s}$$

O valor da vazão de projeto (0,458 m³/s) é superior ao valor de vazão recebida das bacias (0,351 m³/s) calculado no item 1.2 deste documento. Conclui-se que o dimensionamento hidráulico é suficiente para atender a demanda.

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA: Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa		FOLHA: 7 de 13
	TÍTULO: Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem		

2.3. Conclusão

Como ambos os critérios de velocidade e vazão foram atendidos, a rede de drenagem é definida conforme a tabela abaixo:


Diâmetro da tubulação	DN900
Declividade	3%
Vazão de Projeto	0,458 m³/s
Velocidade de Projeto	1,367 m/s

Tabela 2 – Informações da rede de drenagem típica dimensionada.

3. DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS E BOCAS DE LOBO

As águas ao caírem nas áreas urbanas escoam inicialmente pelos terrenos até chegarem às ruas. Sendo as ruas abauladas (declividade transversal) e tendo inclinação longitudinal as águas escoarão rapidamente para as sarjetas e destas ruas abaixo. A capacidade da condução da rua ou da sarjeta será calculada a partir da hipótese da água escoando somente pelas sarjetas. Admita-se declividade transversal de 3% e a altura de água na sarjeta de 0,10m.

A dimensão da sarjeta foi definida conforme o termo de referência fornecido pela EMUSA e pode ser visualizado na figura abaixo:

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 8 de 13
	TÍTULO:	Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem	

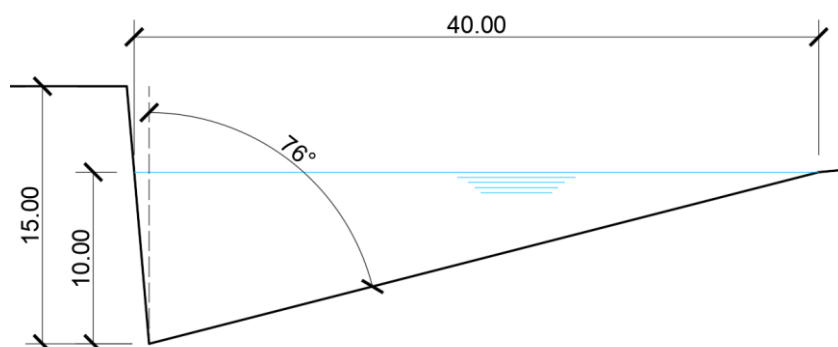


Figura 2 – Seção transversal típica da sarjeta (unidades em cm).


Com a geometria da sarjeta definida o dimensionamento da boca de lobo pode ser realizado calculando a vazão imediatamente a montante da boca e a vazão captada por ela, conforme equações 4 e 5 [3]. Para o cálculo, foi adotado uma boca de lobo com o comprimento de 1,00 m.

$$Q_0 = 36,424 \times y_0^{5/2} \times \sqrt{i/f} \quad \text{Eq. 4}$$

$$Q = E \times Q_0 \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

- y_0 Profundidade da sarjeta, ou altura da lâmina d'água;
- i Declividade longitudinal da sarjeta;
- f Fator de atrito que é definido conforme a equação 6;
- E Eficiência de uma boca de lobo, equação 8;

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 9 de 13
	TÍTULO:	Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem	

$$f = \left\{ \left(\frac{64}{R} \right)^2 + 9,5 \times \left[\ln \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{R^{0,9}} \right) - \left(\frac{2500}{R} \right)^6 \right]^{-16} \right\}^{0,125}$$

Eq. 6

Onde:

R

Número de Reynolds, calculado conforme equação 7;

ε

Rugosidade das paredes da sarjeta (ε = 0,002 m);

D

Diâmetro hidráulico, D = 4 x Rh;

$$R = \frac{VD}{\nu}$$

Eq. 7

Onde:

V

Velocidade do escoamento em m/s;

ν

Viscosidade cinemática de água que pode ser aproximada por 10⁻⁶ m²/s;

D

Diâmetro hidráulico, D = 4 x Rh;


$$E = \frac{Q}{Q_0} = 0,336 \times \frac{L}{y_0 \times tg \theta} \times \frac{1}{\sqrt{f}}$$

Eq. 8

Onde:

Q

Vazão captada pela boca de lobo;

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 10 de 13
	TÍTULO:	Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem	

- Q_0 Vazão imediatamente a montante da boca;
- y_0 Profundidade da sarjeta, ou altura da lâmina d'água;
- θ Ângulo da sarjeta com a vertical, 76° para a sarjeta em estudo;
- f Fator de atrito que é definido conforme a equação 6;

Como a capacidade de esgotamento das bocas de lobo é menor que a calculada devido a vários fatores, entre os quais a obstrução causada por detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas e ao alinhamento real, na tabela 3 são propostos alguns coeficientes para estimar esta redução [3]. No projeto em questão, foi considerado um percentual permitido sobre o valor teórico de 80%.


Localização na sarjeta	Tipo de boca-de-lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto Baixo	De guia	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto intermediário	De Guia	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha transversal ou longitudinal com barras transversais combinadas	60

Tabela 3 – Fator de redução do escoamento para bocas de lobo [3].

O resultado do dimensionamento acima pode ser visualizado na tabela abaixo:

Número de Reynolds (R)	1127741	adimensional
Fator de atrito (f)	0,08679	adimensional
Vazão imediatamente a montante da boca (Q_0)	0,195	m ³ /s
Vazão da boca com FS (Q_0)	0,156	m ³ /s
Vazão engolida pela boca (Q)	0,026	m ³ /s

Tabela 4 – Resultados do dimensionamento das bocas de lobo

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA: Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa		FOLHA: 11 de 13
	TÍTULO: Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem		

Após o dimensionamento da vazão engolida pela boca, é definido o espaçamento entre elas e a área de contribuição de cada boca, para que possa ser realizado a distribuição delas através do arruamento. As equações 9 e 10 representam o cálculo do espaçamento entre as bocas e lobo e sua área de contribuição [3].

$$\Delta x = \frac{2000 \times Q}{60 \times C \times I \times L_R} \quad \text{Eq. 9}$$

$$A = \frac{1000 \times Q}{60 \times C \times I} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

Δx Distância entre as bocas de lobo em m;

A Área de contribuição da boca em m²;

Q Vazão engolida pela boca em m³/s;

C Coeficiente de deflúvio, adimensional, adotado 0,80 para as demais regiões, conforme o termo de referência de projeto;


I Intensidade da chuva em mm/mín;

L_R Largura da rua em m;

O valor final da distância das bocas de lobo e área de contribuição é apresentado na tabela abaixo, junto com um croqui representativo.

Espaçamento entre bocas de lobo (Δx)	22,50	m
Área de cada boca de lobo	66,35	m²

Tabela 5 – Resultados da área de contribuição e espaçamento entre as bocas de lobo.

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA:	Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa	FOLHA: 12 de 13
	TÍTULO:	Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem	

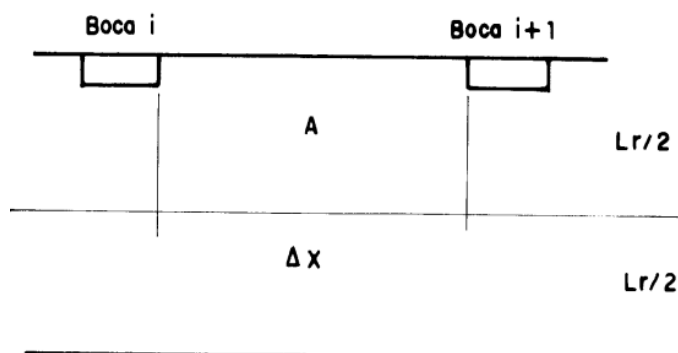



Figura 3 – Croqui representativo da área de contribuição e espaçamento entre as bocas de lobo.

4. RESUMO DO DIMENSIONAMENTO

Diâmetro da tubulação	DN900	
Declividade	3%	%
Vazão de Projeto	0,458	m³/s
Velocidade de Projeto	1,367	m/s
Número de Reynolds (R)	1127741	adimensional
Fator de atrito (f)	0,08679	adimensional
Vazão imediatamente a montante da boca (Q0)	0,195	m³/s
Vazão da boca com FS (Q0)	0,156	m³/s
Vazão engolida pela boca (Q)	0,026	m³/s
Espaçamento entre bocas de lobo (Δx)	22,50	m
Área de cada boca de lobo	66,35	m²

Tabela 6 – Resumo do dimensionamento.

	Memória de cálculo	Nº: R-MEM-8-100-JDI-001	REV. 0
	OBRA: Empresa Municipal de Moradia, Urbanização e Saneamento - Emusa		FOLHA: 13 de 13
	TÍTULO: Memória de cálculo das vazões e de dimensionamento da rede de drenagem		

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

[1] SCIENCE HYDRO, Caracterização das vazões e dos aportes de cargas contribuintes ao sistema Peri lagunar Piratininga-Itaipu/Niterói. 1º relatório de hidrologia, Porto Alegre, RS, Brasil, 2018.

[2] DIOGO, F. J. A., Curso de Drenagem Urbana, hidráulica aplicada, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

[3] FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA, Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana, São Paulo, SP, Brasil, 1999.