

DIMENSIONAMENTO SIMPLIFICADO DE CAIXAS DE AREIA DE VELOCIDADE CONSTANTE UTILIZANDO CALHAS PALMER-BOWLUS (*)

ENG.º RUSSELL G. LUDWIG (**)

INTRODUÇÃO

Areia é o nome que se dá à matéria mineral pesada no esgoto, como por exemplo, a areia propriamente dita, o silte, pedregulhos e cinzas. Tendo em conta que a areia é cerca de 2,5 vezes mais pesada que os sólidos orgânicos, pode ser removida de forma eficiente se a velocidade do escoamento for controlada; neste caso apenas a areia sedimentará, e não os sólidos orgânicos.

As caixas de areia são instaladas com a finalidade de proteger os equipamentos contra abrasão excessiva, de reduzir os depósitos em tubulações, e de diminuir o acúmulo destes materiais inertes nos digestores.

Se quantidades excessivamente elevadas de areia estão presentes nos esgotos, a caixa de areia pode ser usada antes das lagoas de estabilização com a finalidade de evitar a formação de bancos de areia na área do ponto de entrada.

TIPOS DE CAIXAS DE AREIA

Para as instalações de maior porte é comum o uso de caixas de areia aeradas ou de tanques de forma quadrada, equipados com braços raspadores. Nestas instalações a areia é removida continuamente por meio de equipamento tipo «caçambas e corrente» ou tipo «parafuso». No entanto, estes equipamentos mecanizados são onerados à

instalação e manutenção e em vista disso não são aplicáveis a comunidades menores.

Quando existe a força de trabalho não especializado e a baixo custo, então caixas de areia constituídas por canais horizontais podem ser efetivamente utilizadas. Estes canais são projetados de forma a manter a velocidade constante a 0,3 metros por segundo. Esta velocidade permitirá a passagem com o escoamento, através da caixa, das partículas orgânicas, tenderá a ressuspender o material orgânico que venha a sedimentar, e permitirá a retenção da areia mais pesada.

CONTROLE DA VELOCIDADE

O controle da velocidade num canal pode ser conseguido através do uso de vertedores proporcionais (vertedor Sutro), ou de canais com formato parabólico e seções de controle, ou pelo uso de canais retangulares e calhas de controle do tipo Parshall ou Palmer-Bowlus.

Os vertedores proporcionais devem ter descarga livre, e em vista disso perdem carga hidráulica. Além do mais, em instalações pequenas as lâminas vertedoras tendem a ser tomadas por trapos e outros tipos de lixo.

A construção de caixas de areia parabólicas requer uma supervisão cuidadosa. No entanto, seções trapezoidais que se aproximam da seção parabólica necessária podem ser usadas.

O controle de velocidade por meio de calhas Parshall ou Palmer-Bowlus é o mais vantajoso, pois: a) a calha possui auto-limpeza; b) até 60% da carga necessária na vazão máxima pode ser recuperada; c) a caixa de areia tem uma seção

(*) Copies of the English version of this paper may be requested from ENCIBRA S.A. — Engenheiros Consultores, Rua Bento Freitas 362 — 3.º andar — São Paulo, Brazil.

(**) Diretor-Presidente da ENCIBRA S.A. — Engenheiros Consultores, São Paulo, Brazil.

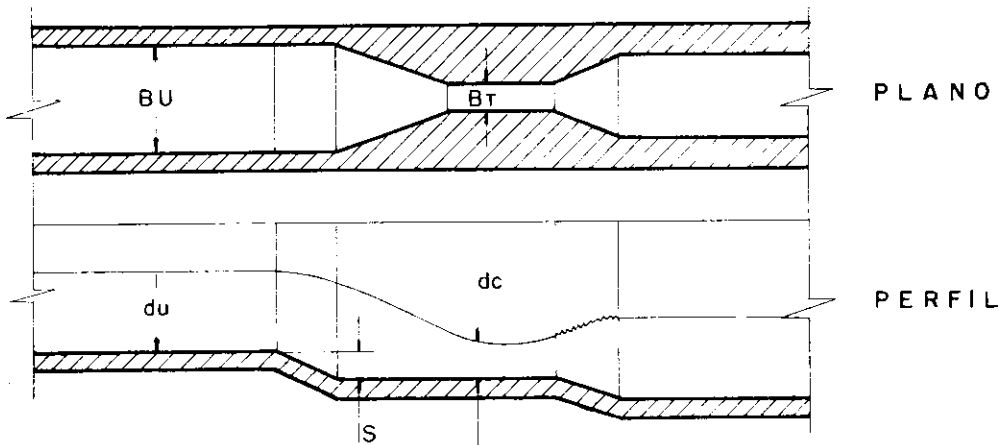


Figura 1

retangular. Numa velocidade aproximadamente constante é obtida fazendo a cota da calha de controle fixar a um nível mais baixo do que o fundo do canal da caixa de areia, de tal forma que nas vazões máxima e mínima, a velocidade no canal é igual a um valor pré-escolhido. Para vazões entre a máxima e a mínima a velocidade deverá ser um pouco menor que a escolhida para os dois extremos. A faixa de velocidade é diretamente proporcional à faixa de vazão, isto é a Q_{max}/Q_{min} . Para uma variação de vazão, de 7 para 1 a variação de velocidade será de cerca de 15%. Para uma variação de vazão de 4,5 para 1 a variação de velocidade será de cerca de 10%. De forma a se obter uma velocidade máxima à desejada, 0,3 m/s, a velocidade nas vazões máxima e mínima pode ser fixada em 0,32 m/s, permitindo assim uma variação na faixa de 0,27 a 0,32 m/s para as caixas de areia em que a variação de vazão não exceda 7 para 1. Quando a vazão máxima exceder de sete vezes a mínima, acredita-se que seja melhor projetar para a vazão máxima e limitar a variação a 7 para 1. Nas vazões extremamente baixas a areia tenderá a se depositar na rede de esgotos mas deverá ser levantada quando a vazão aumentar.

Embora tanto uma calha Parshall como uma Palmer-Bowlus possam ser usadas como seção de controle, esta última oferece significantes vantagens por sua simplicidade e versatilidade. Não são necessárias tabelas de dimensões de calhas, e o projetista pode selecionar gargantas com as larguras que desejar e que melhor se prestem a um problema em particular. Além disso, tendo em conta que a calha Parshall é um sistema experimental, não se acredita que uma aplicação direta das fórmulas de vazão possa ser feita às calhas em que as dimensões de montante foram modificadas de forma significativa em relação às dadas por Parshall, o que é certamente o caso das caixas de areia. Quando se usa a calha Parshall, se faz a

hipótese de que a profundidade a montante é 10% maior que a profundidade no ponto normal de medição nestas calhas. No entanto, este valor deverá variar de forma significativa com faixas de variação de largura de montante para a largura da garganta (B_u/B_T), e pode ser de até 18% para variações de 6 a 1 ou mais, o que não é incomum em projeto de caixas de areia.

Por estas razões se acredita que é melhor utilizar um dispositivo como a calha Palmer-Bowlus, para a qual a fórmula de vazão é derivada diretamente da equação de Bernoulli.

PROJETO DE CAIXAS DE AREIA A VELOCIDADE CONSTANTE COM USO DE CALHAS PALMER-BOWLUS

Uma garganta com seção retangular pode ser utilizada no projeto da calha de controle da velocidade. De acordo com a equação de Bernoulli, a fórmula para vazão numa calha Palmer-Bowlus com garganta retangular, a um nível «S» abaixo da seção de montante, pode ser derivada como indicado na figura 1:

Carga na garganta = Carga a montante

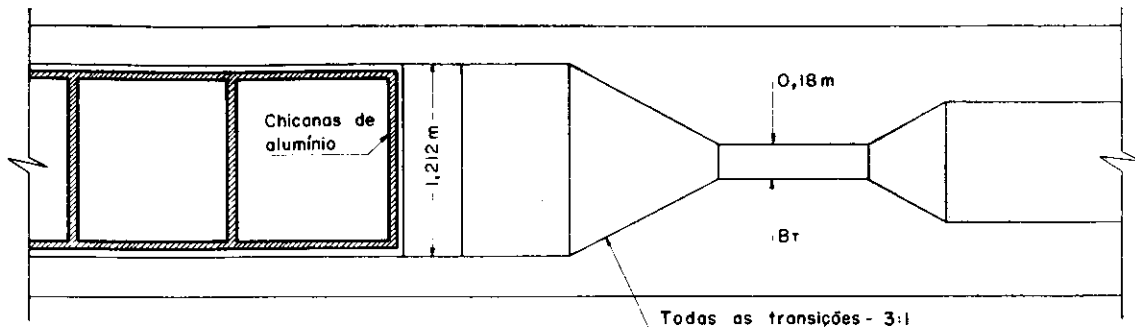
$$dc + \frac{V_c^2}{2g} = du + \frac{V_u^2}{2g} + S$$

Para a vazão crítica numa garganta retangular de largura B_T

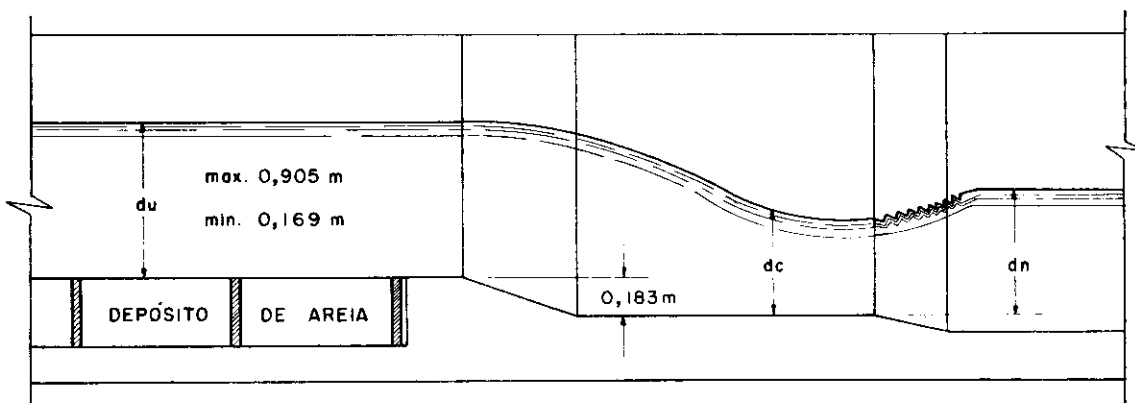
$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{dc}{2} \quad \text{e} \quad dc = \left(\frac{Q^2}{B_T^2 g} \right)^{1/3}$$

Substituindo e resolvendo para Q

$$Q = \left(\frac{8g}{27} \right)^{1/2} B_T \left(du + \frac{V_u^2}{2g} + S \right)^{3/2}$$



PLANO



PERFIL

Fig. 2 — Plano e perfil da caixa de areia.

Fazendo $h_u = \frac{Vu^2}{2g}$ em unidades do sistema métrico

$$Q = 1.705 B_T (du + S + h_u)^{3/2}$$

DERIVAÇÃO DA FÓRMULA PARA «S»

A fórmula para o valor de «S» é determinada igualando-se a velocidade no canal de montante para condições de vazão máxima e mínima.

Velocidade de Montante:

$$V_{max} = \frac{Q_{max}}{(Bu) (du_{max})} = V_{min} = \frac{Q_{min}}{(Bu) (du_{min})}$$

Entretanto:

$$\frac{Q_{max}}{Q_{min}} = \frac{du_{max}}{du_{min}}$$

Profundidade de Montante:

Da fórmula,

$$Q = 1.705 B_T (du + S + hu)^{3/2}$$

$$du_{max} = \left(\frac{Q_{max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - (S + hu_{max})$$

$$du_{min} = \left(\frac{Q_{min}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - (S + hu_{min})$$

$$\frac{du_{max}}{du_{min}} = \frac{\left(\frac{Q_{max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - (S + hu_{max})}{\left(\frac{Q_{min}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - (S + hu_{min})} = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$$

Fazendo:

$$Qr = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} \quad e \quad \frac{Q_{max}}{Qr} = Q_{min}$$

$$hu_{max} = hu_{min} = .005$$

pois a velocidade nas vazões máxima e mínima deve ser igual a 0,32 m/s.

Resolvendo para «S», chegamos a

$$(S + .005) = \left(\frac{Q_r^{1/3} - 1}{Q_r - 1} \right) \left(\frac{Q_{\max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3}$$

e substituindo por

$$K = \frac{Q_r^{1/3} - 1}{Q_r - 1}$$

$$S = K \left(\frac{Q_{\max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - .005$$

O valor de «K» depende apenas da razão entre a vazão máxima e a mínima. Para simplificar o uso da fórmula, valores de «K» foram tabelados (Tabela 1) para uma faixa de valores de Q_r de

4,5 a 7,0, por centésimos. As potências de 2/3 foram também incluídas como a Tabela 2 para facilitar os cálculos.

A seleção da largura da garganta, B_T , deverá determinar a largura e a profundidade no canal de montante da caixa de areia, bem como o valor de «S». Um estreitamento maior (menor valor de B_T) resultará num canal mais estreito e mais profundo. Pode-se fazer rapidamente os cálculos para várias larguras de garganta, com o fim de determinar uma faixa de valores para a máxima profundidade de montante e largura do canal. Um valor final de B_T pode então ser escolhido dependendo da carga disponível a montante bem como para se chegar um projeto equilibrado. Usando uma calha Palmer-Bowlus, o projetista não fica limitado a determinadas dimensões de calha, mas é livre para escolher a garganta que melhor sirva a sua necessidade particular.

TABELA 1

Valores do coeficiente «K» para projeto de caixas de areia

$$K = \frac{Q_r^{1/3} - 1}{Q_r - 1} \quad Q_r = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$$

Q_r	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
4.5	.1860	.1858	.1856	.1854	.1853	.1851	.1849	.1847	.1846	.1844
4.6	.1842	.1840	.1838	.1837	.1835	.1833	.1831	.1830	.1828	.1826
4.7	.1825	.1823	.1821	.1819	.1818	.1816	.1814	.1813	.1811	.1809
4.8	.1808	.1806	.1804	.1803	.1801	.1799	.1798	.1796	.1794	.1793
4.9	.1791	.1789	.1788	.1786	.1785	.1783	.1781	.1780	.1778	.1777
5.0	.1775	.1773	.1772	.1770	.1769	.1767	.1765	.1764	.1762	.1761
5.1	.1759	.1758	.1756	.1755	.1753	.1752	.1750	.1749	.1747	.1746
5.2	.1744	.1742	.1741	.1739	.1738	.1737	.1735	.1734	.1732	.1731
5.3	.1729	.1728	.1726	.1725	.1723	.1722	.1720	.1719	.1717	.1716
5.4	.1715	.1713	.1712	.1710	.1709	.1707	.1706	.1705	.1703	.1702
5.5	.1700	.1699	.1698	.1696	.1695	.1693	.1692	.1691	.1689	.1688
5.6	.1687	.1685	.1684	.1682	.1681	.1680	.1678	.1677	.1676	.1674
5.7	.1673	.1672	.1670	.1669	.1668	.1666	.1665	.1664	.1662	.1661
5.8	.1660	.1658	.1657	.1656	.1655	.1653	.1652	.1651	.1649	.1648
5.9	.1647	.1646	.1644	.1643	.1642	.1641	.1639	.1638	.1637	.1635
6.0	.1634	.1633	.1632	.1631	.1629	.1628	.1627	.1626	.1624	.1623
6.1	.1622	.1621	.1619	.1618	.1617	.1616	.1615	.1613	.1612	.1611
6.2	.1610	.1609	.1607	.1606	.1605	.1604	.1603	.1601	.1600	.1599
6.3	.1598	.1597	.1596	.1594	.1593	.1592	.1591	.1590	.1589	.1588
6.4	.1586	.1585	.1584	.1583	.1582	.1581	.1579	.1578	.1577	.1576
6.5	.1575	.1574	.1573	.1572	.1571	.1569	.1568	.1567	.1566	.1565
6.6	.1564	.1563	.1562	.1561	.1560	.1558	.1557	.1556	.1555	.1554
6.7	.1553	.1552	.1551	.1550	.1549	.1548	.1547	.1545	.1544	.1543
6.8	.1542	.1541	.1540	.1539	.1538	.1537	.1536	.1535	.1534	.1533
6.9	.1532	.1531	.1530	.1529	.1528	.1527	.1526	.1525	.1524	.1523
7.0	.1522									

TABELA 2

Potência 2/3 dos números

No.	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.000	.046	.074	.097	.117	.136	.153	.170	.186	.201
.1	.215	.229	.243	.256	.269	.282	.295	.307	.319	.331
.2	.342	.353	.364	.375	.386	.397	.407	.418	.428	.438
.3	.448	.458	.468	.477	.487	.497	.506	.515	.525	.534
.4	.543	.552	.561	.570	.578	.587	.596	.604	.613	.622
.5	.630	.638	.647	.655	.663	.671	.679	.687	.695	.703
.6	.711	.719	.727	.735	.743	.750	.758	.765	.773	.781
.7	.788	.796	.803	.811	.818	.825	.832	.840	.847	.855
.8	.862	.869	.876	.883	.890	.897	.904	.911	.918	.925
.9	.932	.939	.946	.953	.960	.966	.973	.980	.987	.993
1.0	1.000	1.007	1.013	1.020	1.027	1.033	1.040	1.046	1.053	1.059
1.1	1.065	1.072	1.078	1.085	1.091	1.097	1.104	1.110	1.117	1.123
1.2	1.129	1.136	1.142	1.148	1.154	1.160	1.167	1.173	1.179	1.185
1.3	1.191	1.197	1.203	1.209	1.215	1.221	1.227	1.233	1.239	1.245
1.4	1.251	1.257	1.263	1.269	1.275	1.281	1.287	1.293	1.299	1.305
1.5	1.310	1.316	1.322	1.328	1.334	1.339	1.345	1.351	1.357	1.362
1.6	1.368	1.374	1.379	1.385	1.391	1.396	1.402	1.408	1.413	1.419
1.7	1.424	1.430	1.436	1.441	1.447	1.452	1.458	1.463	1.469	1.474
1.8	1.480	1.485	1.491	1.496	1.502	1.507	1.513	1.518	1.523	1.529
1.9	1.534	1.539	1.545	1.550	1.556	1.561	1.566	1.571	1.577	1.582
2.0	1.587	1.593	1.598	1.603	1.608	1.613	1.619	1.624	1.629	1.634
2.1	1.639	1.645	1.650	1.655	1.660	1.665	1.671	1.676	1.681	1.686
2.2	1.691	1.697	1.702	1.707	1.712	1.717	1.722	1.727	1.732	1.737
2.3	1.742	1.747	1.752	1.757	1.762	1.767	1.772	1.777	1.782	1.787
2.4	1.792	1.797	1.802	1.807	1.812	1.817	1.822	1.827	1.832	1.837
2.5	1.842	1.847	1.852	1.857	1.862	1.867	1.871	1.876	1.881	1.886
2.6	1.891	1.896	1.900	1.905	1.910	1.915	1.920	1.925	1.929	1.934
2.7	1.939	1.944	1.949	1.953	1.958	1.963	1.968	1.972	1.977	1.982
2.8	1.987	1.992	1.996	2.001	2.006	2.010	2.015	2.020	2.024	2.029
2.9	2.034	2.038	2.043	2.048	2.052	2.057	2.062	2.066	2.071	2.075
3.0	2.080	2.085	2.089	2.094	2.099	2.103	2.108	2.112	2.117	2.122
3.1	2.126	2.131	2.135	2.140	2.144	2.149	2.153	2.158	2.163	2.167
3.2	2.172	2.176	2.180	2.185	2.190	2.194	2.199	2.203	2.208	2.212
3.3	2.217	2.221	2.226	2.230	2.234	2.239	2.243	2.248	2.252	2.257
3.4	2.261	2.265	2.270	2.274	2.279	2.283	2.288	2.292	2.296	2.301
3.5	2.305	2.310	2.314	2.318	2.323	2.327	2.331	2.336	2.340	2.345
3.6	2.349	2.353	2.358	2.362	2.366	2.371	2.375	2.379	2.384	2.388
3.7	2.392	2.397	2.401	2.405	2.409	2.414	2.418	2.422	2.427	2.431
3.8	2.435	2.439	2.444	2.448	2.452	2.457	2.461	2.465	2.469	2.474
3.9	2.478	2.482	2.486	2.490	2.495	2.499	2.503	2.507	2.511	2.516
4.0	2.520	2.524	2.528	2.532	2.537	2.541	2.545	2.549	2.553	2.558
4.1	2.562	2.566	2.570	2.574	2.579	2.583	2.587	2.591	2.595	2.599
4.2	2.603	2.607	2.611	2.616	2.620	2.624	2.628	2.632	2.636	2.640
4.3	2.644	2.648	2.653	2.657	2.661	2.665	2.669	2.673	2.677	2.681
4.4	2.685	2.689	2.693	2.698	2.702	2.706	2.710	2.714	2.718	2.722
4.5	2.726	2.730	2.734	2.738	2.742	2.746	2.750	2.754	2.758	2.762
4.6	2.766	2.770	2.774	2.778	2.782	2.786	2.790	2.794	2.798	2.802
4.7	2.806	2.810	2.814	2.818	2.822	2.826	2.830	2.834	2.838	2.842
4.8	2.846	2.850	2.854	2.858	2.862	2.865	2.869	2.873	2.877	2.881
4.9	2.885	2.889	2.893	2.897	2.901	2.904	2.908	2.912	2.916	2.920

EXEMPLO DE UM PROJETO

Dados:

$$Q_{max} = 0.351 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{min} = 0.0656 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_r = \frac{Q_{max}}{Q_{min}} = 5.35,$$

da Tabela (1)

$$K = 0.1722$$

Velocidade a montante para Q_{max} e $Q_{min} = 0.32 \text{ m/s}$

$$S = K \left(\frac{Q_{max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - .005$$

$$du_{max} = \left(\frac{Q_{max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - (S + .005)$$

$$B_u = \frac{Q_{max}}{(.32) (du_{max})}$$

Usando uma faixa de valores para B_T pode-se calcular S , du_{max} e B_u . Neste exemplo tomou-se B_T como 0.15, 0.20 e 0.25 m. Os cálculos são como abaixo:

B_T	$\left(\frac{Q_{max}}{1.705 B_T} \right)$	$\left(\frac{Q_{max}}{1.705 B_T} \right)^{2/3}$	S	du_{max}	B_u
.15 (.18)	1.372 (1.143)	1.2350 (1.093)	.2077 (.183)	1.0223 (.905)	1.073 (1.212)
.20	1.029	1.0195	.1706	.8439	1.300
.25	.823	0.8785	.1463	.7273	1.508

Q	$\frac{Q}{.3069}$	$\left(\frac{Q}{.3069} \right)^{2/3}$	du	Vu
.0656 (min)	.214	.357	.169	.320
.08	.261	.408	.220	.300
.12	.391	.535	.347	.285
.16	.521	.648	.460	.287
.20	.652	.752	.564	.293
.24	.782	.849	.661	.300
.28	.912	.940	.752	.307
.32	1.043	1.029	.841	.314
.351 (max)	1.143	1.093	.905	.320

Imagine que a profundidade de montante é controladora e que um valor de du_{max} de aproximadamente 0.9 m não deva ser excedido. Interpolando se chega a um valor de $B_T = 0.18 \text{ m}$. Cálculos de S , du_{max} e B_u para o valor escolhido de $B_T = 0,18 \text{ m}$ figuram na tabela acima. As dimensões finais da calha são como segue abaixo, e aparecem na Figura (2).

$$B_T = 0,18 \text{ m}$$

$$S = 0,183 \text{ m}$$

$$B_u = 1,212 \text{ m}$$

PROFUNDIDADES E VELOCIDADES DE MONTANTE

Valores da profundidade e da velocidade de montante podem ser determinados para valores intermediários de Q como segue:

$$du = \left(\frac{Q}{1.705 B_T} \right)^{2/3} - (S + .005)$$

$$Vu = \frac{Q}{B_u du}$$

$$du = \left(\frac{Q}{.3069} \right)^{2/3} - .188$$

$$Vu = \frac{Q}{1.212 du}$$

Observa-se que a velocidade a montante varia de um mínimo de 0,285 m/s até 0,32 m/s, valor escolhido para as vazões máxima e mínima.

OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Comprimento das Caixas de Areia: o comprimento da caixa de areia deve ser suficiente para manter um período de retenção de cerca de um minuto, isto é, deve ter aproximadamente 18 m, baseado numa velocidade de 0,3 m/s. Teoricamente, uma relação comprimento-profundidade máxima de 15:1 pode ser determinada, em função da velocidade de sedimentação das partículas de areia. Dando uma margem de segurança de 50%, o comprimento da caixa seria 22,5 x a máxima profundidade. Para a caixa do exemplo dado, o comprimento seria $22,5 \times (0,9) = 20$ m, de acordo com este critério. Este valor é mais ou menos o estimado anteriormente, de 18 m.

Acúmulo e Limpeza da Areia: normalmente se prevê dois canais, de forma que um possa ser retirado de serviço e limpo enquanto o outro está em operação. Deve-se colocar comportas nas extremidades dos canais, a fim de permitir a estanqueidade antes da limpeza. O acúmulo de areia é assegurado no canal baixando-se o seu nível de fundo. O volume necessário para este acúmulo de areia depende de sua concentração no esgoto e da frequência das limpezas. Em algumas caixas de areia se coloca uma série de chicanas de alumínio no fundo da zona de acúmulo de areia, e

com o topo coincidindo com o nível do fundo do canal de escoamento, de forma que este não venha a sofrer perturbações.

Hidráulica de jusante: se se deseja uma operação adequada, a calha não deve trabalhar afogada, isto é, a profundidade da lâmina no canal a jusante da calha deve ser tal que d_n (veja Figura 2) não exceda $0.7 (d_u + S)$ em qualquer vazão.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja reconhecer a cooperação oferecida por várias entidades em tornar possível trazer esta informação à atenção dos profissionais da Engenharia.

O presente artigo é o resultado de dados colhidos para um curso abreviado, patrocinado através de um programa conjunto do BNH, ABES e USAID/Brasil.

REFERÊNCIAS

- GLOYNA, E. F. — Waste Stabilization Ponds — Monograph Series. World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1971.
- LEE, M. & BABBITT, H. E. — «Constant Velocity Grit Chamber with Parshall Flume Control» — Sewage Works Journal, Vol. 18, No. 4, p. 646, July 1946.
- LUDWIG, Russel G. — «Medidor de Vazão de Esgotos Palmer-Bowlus», Revista D.A.E. No. 88, Dezembro 1972.