

Proposição de uma metodologia para o dimensionamento de sifões invertidos em sistemas sanitários

MILTON TOMOYUKI TSUTIYA

Engenheiro, coordenador de Planejamento da Superintendência de Planejamento Técnico da Diretoria de Engenharia da Sabesp, professor do Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica-Universidade de São Paulo

PEDRO ALÉM SOBRINHO

Gerente da Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Cetesb, professor do Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica-Universidade de São Paulo

Por ser uma obra de custo relativamente elevado e apresentar dificuldade de limpeza e de desobstrução, o sifão invertido somente deve ser utilizado após um estudo comparativo com outras alternativas. Entretanto, em determinadas situações o sifão invertido é uma solução adequada, tanto no aspecto técnico como econômico, embora signifique um ponto singular no sistema de coleta e transporte de esgotos que exige cuidados especiais por parte da operação.

INTRODUÇÃO

No projeto de obras para coleta, e transporte de esgotos sanitários é freqüente a necessidade de se transpor obstáculos tais como, córregos, rios, galerias de águas pluviais, adutoras, linhas de metrô, galerias de cabos elétricos ou de comunicações, etc.

A transposição desses obstáculos poderá ser feita por cima ou por baixo. Para a transposição por cima, há a necessidade de elevar-se o líquido utilizando-se estações elevatórias de esgotos.

Para transpor o obstáculo por baixo pode-se simplesmente aprofundar a tubulação mantendo-se o escoamento em conduto livre, ou aprofundar a tubulação e, após o obstáculo, elevá-la novamente até atingir uma cota apenas ligeiramente inferior à cota da tubulação logo a montante do aprofundamento para vencer o obstáculo. Neste caso, o escoamento se dá em conduto forçado, e a obra de transposição do obstáculo é denominada de "sifão invertido" ou "falso sifão" (Figuras 1 e 2).

Por ser uma obra de custo relativamente elevado e apresentar dificuldade de limpeza e de desobstrução, o sifão invertido somente deve ser utilizado após um estudo comparativo com outras alternativas. Entretanto, em determinadas situações o sifão invertido é uma solução adequada, tanto no aspecto técnico como econômico, embora signifique um ponto singular no sistema de coleta e transporte de esgotos que exige cuidados especiais por parte da operação.

HIDRÁULICA DO SIFÃO INVERTIDO

O sifão invertido, em perfil, apresenta aproximadamente a forma de um U, interligando duas câmaras. Em sua entrada existe uma câmara cuja função é encaminhar o fluxo para o sifão e à sua saída, uma outra, que orienta o fluxo efluente para a canalização de jusante.

Entre essas câmaras, o escoamento se dá por gravidade, em conduto forçado, sendo o nível de água na câmara de entrada superior ao da câmara de saída. A ligação entre as câmaras é feita através de uma ou mais tubulações. Os conceitos hidráulicos aplicáveis são, portanto, aqueles dos condutos forçados.

Para os cálculos da perda de carga distribuída, atualmente recomenda-se o uso da fórmula Universal com o coeficiente de rugosidade uniforme equivalente $K = 2\text{mm}$. Se for utilizada a fórmula de Hazen-Williams recomenda-se utilizar o coeficiente de Hazen-Williams $C = 100$. Para a fórmula de Manning recomenda-se o valor do coeficiente de Manning $n = 0,015$.

Para o cálculo da perda de carga localizada pode ser utilizada a seguinte expressão:

$$\Delta H_L = \sum K_s \frac{V^2}{2g}$$

onde:

- ΔH_L = perda de carga localizada;
- $\sum K_s$ = somatória dos coeficientes de perda de carga localizada;
- V = velocidade média na seção;
- g = aceleração da gravidade.

Na figura 3 são apresentadas as perdas de carga em um sifão invertido.

VELOCIDADES

O objetivo fundamental de um projeto de sifão, consiste em garantir uma condição de escoamento que, pelo menos uma vez por dia, propicie a autolimpeza das tubulações ao longo do período de projeto. Para isso, é necessário a determinação minuciosa das vazões de esgoto afluentes ao sifão.

Como as obstruções no sifão invertido são mais difíceis de serem removidas do que em coletores de esgoto, devem ser tomados cuidados especiais para evitar sua formação.

A maioria dos trabalhos publicados a respeito de sifões invertidos indicam que escoamento no sifão com velocidade igual ou superior a 0,9 m/s além de impedir a deposição de material sólido (areia) na tubulação, é capaz de arrastar a areia já depositada.

Se a velocidade igual a 0,9 m/s é capaz de arrastar a areia sedimentada na tubulação, a ocorrência de valores de velocidade igual ou superior a 0,9 m/s, pelo menos uma vez por dia, é capaz de propiciar a autolimpeza do sifão, impedindo assim a formação de depósito de material sólido que venha a obstruir a tubulação.

Assim, um critério racional para o dimensionamento de sifões invertidos é a imposição de se ter em qualquer época uma velocidade maior ou igual a 0,9 m/s para a vazão máxima de esgotos de uma dia qualquer; portanto, sem incluir o coeficiente do dia de maior contribuição $k=1$, no cálculo desta vazão máxima.

A imposição de um velocidade mínima de 0,9 m/s, recomendada por alguns autores para as vazões mínimas de esgotos, não é um critério de dimensionamento adequado e leva a valores excessivos da perda de carga no sifão para as vazões máximas. Isto em muitos casos inviabiliza o uso de sifões invertidos.

Um critério de dimensionamento, que vem sendo adotado com êxito pela Sabesp, é o de se garantir uma velocidade igual ou superior a 0,6 m/s, para a vazão média, ao longo de todo o período de projeto. Este critério leva a resultados próximos daqueles obtidos pelo uso do critério considerado racional de se garantir a autolimpeza com velocidade de 0,9 m/s para a vazão máxima de um dia qualquer. Isto ocorre porque esta vazão máxima dos esgotos é obtida multiplicando-se a vazão média (exceto a de infiltração) pelo coeficiente da hora de maior contribuição, K_2 , normalmente admitido com o valor de $K_2 = 1,5$.

A velocidade máxima é função das características do material do sifão e da carga disponível e, de um modo geral, não deverá ser maior que 3,0 a 4,0 m/s.

DIÂMETRO MÍNIMO

Considerando que, para tubulações de pequeno porte, menor o diâmetro maior a possibilidade de obstrução, é recomendável que o diâmetro mínimo do sifão invertido seja igual ao diâmetro mínimo do coletor de esgoto. É prática usual a adoção do diâmetro mínimo de 150mm.

Portanto, recomenda-se para diâmetro mínimo o valor de 150mm.

NÚMERO DE TUBULAÇÕES

O sifão invertido deverá ter, no mínimo, duas tubulações, a fim de possibilitar o isolamento de uma delas sem prejuízo de funcionamento, quando for necessária a execução de reparos ou desobstrução.

No caso de instalação onde há grandes de vazão, o número de tubulações poderá ser aumentado convenientemente de modo a garantir a manutenção de velocidade adequadas ao longo do tempo.

PERFIL DO SIFÃO

As perdas de cargas e a facilidade de limpeza são dois aspectos que devem ser considerados para a definição do perfil de um sifão.

O perfil que tem sido normalmente utilizado é o que se assemelha a um trapézio com a base menor para baixo e sem a base maior. Empregar-se também sifões com perfil em U, dependendo do espaço disponível para sua implantação.

Na figura 4 são apresentados diversos perfis esquemáticos de um sifão.

Conforme mostra a Figura 4, os tubos de um sifão podem ser construídos obliquamente como em (a), verticalmente como em (d), misto como em (b) e (c) e com câmara de limpeza como em (e).

Embora a escolha do perfil seja função das condições locais e do espaço disponível para a sua implantação, é de fundamental importância que se procure projetar o sifão com ângulos suaves que permita a utilização de equipamentos mais simples de limpeza e desobstrução.

CÂMARAS VISITÁVEIS

O sifão invertido deve ser projetado com duas câmaras visitáveis: câmara de montante ou de entrada e câmara de jusante ou de saída.

A câmara de montante é projetada de maneira a encaminhar o escoamento para as canalizações que constituem o sifão propriamente dito e a câmara de jusante, destinada a induzir o efluente para o coletor de jusante, evitando-se refluxos de águas para as tubulações do sifão que não estiverem sendo utilizadas.

A distribuição do fluxo para as tubulações na câmara de montante, poderá ser feita através de vertedores laterais ou através da operação de stop-logs ou comportas.

Geralmente tem sido utilizada a alternativa de stop-logs que possui a vantagem de poder melhor distribuir as vazões, de modo a manter sempre uma velocidade mínima de autolimpeza. Por outro lado essa alternativa tem a desvantagem de requerer a entrada de pessoas na câmara de montante para efetuar a operação dos stop-logs.

A utilização do vertedor lateral (figura 5) tem a vantagem de dispensar a entrada freqüente de pessoas na câmara, porém, ocasiona maior perda de carga, pois pode ser considerado um obstáculo submerso, quando o escoamento passa sobre ele. Quando utilizado o vertedor lateral, devem ser tomados os devidos cuidados quanto às velocidades para que atendam às condições de autolimpeza.

As câmaras de montante e de jusante devem ser projetadas com dimensões adequadas, de modo que permitam o acesso e a movimentação de pessoas e equipamentos.

VENTILAÇÃO

Quantidades consideráveis de ar e gases são arrastadas pelo escoamento dos esgotos nos coletores funcionando em conduto livre. Entretanto, esse fluxo é interrompido na câmara de montante do sifão invertido, uma vez que o escoamento no sifão se dará em conduto forçado.

Devido a essa interrupção, haverá um acúmulo de ar e gases que poderá dar origem a uma pressão positiva na câmara de montante, de modo a provocar o escape de gases com odor desagradável, através de orifícios e frestas dos tampões de acesso a esta câmara.

Se a câmara de montante for completamente vedada, os gases passarão a caminhar em sentido inverso ao do escoamento, até conseguir escapar através de poços de visita a montante do sifão. Neste caso, todo o oxigênio na câmara é exaurido e gases — principalmente o sulfídrico, que desprende do líquido devido ao aumento de turbulência, ocasionado pelo dispositivo de controle de vazão — se concentram, podendo trazer sérios problemas de odor. Com o acúmulo de sulfetos na câmara de entrada, este local se torna um ambiente altamente tóxico, que pode levar à morte de operadores que visitam a câmara sem a devida máscara de proteção.

Para minimizar tais problemas, pode-se interligar a câmara de montante à de saída, por meio de tubulação, de modo que os gases sejam transferidos para a câmara de jusante e arrastados pelo fluxo de esgotos a jusante do sifão. Dependendo da localização da câmara de mon-

tante, os gases poderão ser lançados na atmosfera, desde que as condições ambientais do local não sejam afetadas. Neste caso, não haverá a necessidade de interligação da câmara de montante com a câmara de jusante.

A retirada de ar é feita através de tubulação com diâmetro variando de um décimo até a metade do diâmetro do sifão. Quando se interliga as duas câmaras, essa tubulação geralmente é localizada paralelamente às tubulações do sifão.

EXTRAVASOR

A possibilidade de ocorrência de acidentes, quebras, entupimentos etc., que podem interromper o funcionamento do sifão, requer a instalação de dispositivos de extravasão ou de descarga.

Quando o sifão destina-se à travessia de um curso d'água, pode-se prever uma canalização extravasora na câmara de montante, com cota suficiente para o lançamento dos esgotos no rio. Esta solução só não é utilizada nos casos em que, a manutenção da qualidade da água no corpo receptor a tornar inviável e desde que as canalizações afluentes possam ser extravasadas em outros locais.

MATERIAIS

Para o sifão invertido podem ser utilizados tubos de ferro dúctil, concreto armado, aço ou plástico.

Nos casos em que o sifão é construído sobre leitos de cursos d'água, deve-se verificar o seu peso ou ancorar as tubulações, para prevenir sua flutuação, condição que pode ocorrer durante o período de construção ou quando do seu esvaziamento para reparos.

Os tubos leves geralmente são revestidos com uma camada de concreto, para evitar seu deslocamento, e às vezes para sua proteção.

CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Uma das principais preocupações ligadas ao uso de sifões invertidos se refere a eventuais necessidades de desobstrução dos mesmos, particularmente quando ocorre o acúmulo de sólidos mais pesados, como pedras, que resistem ao arraste hidráulico e resulta na necessidade de utilização de equipamentos mecanizados de limpeza.

Um equipamento de limpeza de sifões invertidos bastante eficiente (e atualmente usado em São Paulo) é o Bucket-Machine. Este equipamento é provido de um motor, que é responsável pelo acionamento de uma roldana que enrola e desenrola um cabo de aço que tem, na outra extremidade uma caçamba que é arrastada pelo interior das canalizações, raspando a soleira e recolhendo o material sedimentado. Existem caçambas de diferentes tamanhos, sendo a sua escolha dependente do diâmetro das canalizações do sifão invertido e também das dimensões das câmaras de montante e de jusante.

Na Figura 2 é apresentada uma concepção de sifão invertido para a utilização do "Bucket-Machine".

EXEMPLO DE CÁLCULO PROJETO DE UM SIFÃO INVERTIDO

Elaborar o projeto de um sifão invertido com os seguintes dados:

a – Vazões de projeto

As vazões afluentes ao sifão ao longo dos anos, será de acordo com os valores mostrados na Figura 6.

Pela Figura 6, têm-se as vazões para cada etapa do projeto que são mostradas na Tabela 1.

b – comprimento do sifão: 40m

c – características do coletor que aflui ao sifão:

– diâmetro: 800 mm

– declividade: 0,0036 m/m

– cota da soleira do coletor afluente: 384,00 m

Solução.

1. Cálculo das tubulações do sifão invertido

Admitindo-se que o sifão invertido será constituído de 3 tubulações (1, 2 e 3) de modo que, a tubulação 1 atenderá a etapa imediata, a tubulação 2 mais a tubulação 1, atenderão a primeira etapa e a tubulação 3 e as demais atenderão a segunda etapa, serão determinados a seguir os seus diâmetros considerando-se para a vazão média, velocidade superior a 0,6 m/s (para a vazão máxima horária de um dia qualquer, velocidade igual ou superior a 0,9 m/s).

– Determinação do diâmetro da tubulação 1 para atender ao início de operação do sifão.

Para a vazão média de 80 l/s

$$S_1 = \frac{Q_1}{V} = \frac{0,080}{0,60} = 0,133 \text{ m}^2$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,133}{\pi}} = 0,412 \text{ m}$$

Adotando-se o diâmetro comercial mais próximo, resulta $D_1 = 400$ mm. Alternativamente, para vazão máxima horária de um dia qualquer, de 111 l/s.

$$S_1 = \frac{0,111}{0,90} = 0,123 \text{ m}^2 \text{ que também resulta em } D_1 = 400 \text{ mm}$$

– Determinação do diâmetro da tubulação 2 para atender à primeira etapa, em primeira aproximação.

Para $Q_{med} = 200$ L/s

$$Q_2 = 200 - 80 = 120 \text{ L/s}$$

$$S_2 = \frac{Q_2}{V} = \frac{0,120}{0,60} = 0,200 \text{ m}^2$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 S_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,200}{\pi}} = 0,505 \text{ m}$$

Adotando-se o diâmetro comercial mais próximo resulta $D_2 = 500$ mm. Alternativamente, para a vazão máxima horária de um dia qualquer de 283 L/s.

$$Q_2 = 283 - 111 = 172 \text{ L/s}$$

$$S_2 = \frac{0,172}{0,90} = 0,191 \text{ m}^2, \text{ que também resulta em } D_2 = 500 \text{ mm}$$

– Determinação do diâmetro da tubulação 3 para atender a segunda etapa, em primeira aproximação.

Para $Q_{med} = 328 \text{ L/s}$

$$S_3 = \frac{Q_3}{V} = \frac{0,128}{0,60} = 0,213 \text{ m}^2$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{4S_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,213}{\pi}} = 0,521 \text{ m}$$

Adotando-se o diâmetro comercial mais próximo resulta $D_3 = 500 \text{ mm}$. Alternativamente, para a vazão máxima horária de um dia qualquer, de 446 L/s .

$$Q''_3 = 446 - 283 = 163 \text{ L/s}$$

$$S_3 = \frac{0,163}{0,90} = 0,181 \text{ m}^2, \text{ que também resulta em } D_3 = 500 \text{ mm}$$

2. Cálculo da curva característica e a forma de se operar o sifão.

Para se determinar a curva característica do sifão são calculadas as perdas de carga, que se compõe de perdas de carga localizadas e perdas de carga distribuídas.

- Perda de carga localizada
- Perda de carga localizada = $1,90 \frac{V^2}{2g}$
- Perda de carga distribuída

As tubulações do sifão serão de ferro dúctil classe k-7.

As perdas de carga serão calculadas pela fórmula universal com coeficiente de rugosidade uniforme equivalente (K) igual a $2,0 \text{ mm}$.

Considerando que o comprimento do sifão é de 40 metros , as perdas de carga totais serão determinadas através das tabelas 3 e 4.

Na figura 7 foram traçadas as curvas características do sifão, determinando-se a curva de perdas de carga para a tubulação de 400 mm e de 500 mm e suas respectivas velocidades.

O traçado da curva de perda de carga para a associação das tubulações foi feito graficamente, considerando-se para uma determinada perda de carga a soma de vazões de cada tubulação.

Pela distribuição das vazões ao longo do período de projeto e considerando-se as velocidades de autolimpeza nas diversas tubulações do sifão, pode-se admitir uma perda de carga máxima de $0,35 \text{ m}$.

A forma de operar o sifão de modo a manter velocidades adequadas é apresentada na Figura 7 e na Tabela 5.

Pelo que se observa na Tabela 5, a condição crítica de operação do sifão situa-se na fase inicial, onde a velocidade para a vazão média é de $0,64 \text{ m/s}$. Para a vazão máxima horária de um dia qualquer de 111 L/s ao início da operação a velocidade será de $0,88 \text{ m/s}$. Pelo exposto no item 3, para essa velocidade, pode-se admitir que haverá autolimpeza nas tubulações do sifão.

Considerando-se a forma de operar o sifão e as vazões afluentes, pode-se prever, conforme apresentado na Figura 8, o período de operação das diversas tubulações do sifão (Tabela 6).

3. Níveis de água nas câmaras do sifão

- Câmara de montante

Para a determinação dos níveis de água nas câmaras do sifão foram consideradas as vazões que ocasionam as perdas de cargas máximas ($H=0,35 \text{ m}$), conforme se observa na Figura 7. Na Tabela 7, estão determinadas as cotas dos níveis de água na câmara de montante para essas vazões.

Na figura 9 são apresentados os detalhes da câmara de montante e o nível de água máximo.

- Câmara de jusante

O nível de água na saída do sifão é resultante do nível de água de montante menos as perdas de carga. Considerando as vazões transportadas pelo sifão e que ocasionam as perdas de carga máxima, teremos os níveis de água na câmara de jusante, conforme apresentado na Tabela 8.

A cota do fundo da câmara de jusante será definida de modo a não afogar o coletor efluente do sifão. Como o diâmetro e a declividade do coletor efluente serão iguais aos do coletor afluente à câmara de montante, as alturas de lâminas de água serão iguais.

Assim a cota do fundo da câmara de jusante deverá ser:

$$\text{cota de fundo} = 384,00 - 0,35 = 383,65 \text{ m}$$

Na Figura 8 são apresentados os detalhes da câmara de jusante, inclusive o nível máximo de água.

4. Ventilação do sifão

Será projetada uma tubulação para a ventilação do sifão e será localizada na câmara de montante, pois está-se admitindo que os gases expulsos não afetarão as condições ambientais do local. O seu diâmetro será equivalente a um décimo das tubulações do sifão.

$$1 \phi 400 \text{ mm} \rightarrow S_1 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,40)^2}{4} = 0,126 \text{ m}^2$$

$$- 2 \phi 500 \text{ mm} S_2 = 2 \frac{\pi D^2}{4} = \frac{2 \pi (0,50)^2}{4} = 0,393 \text{ m}^2$$

A área equivalente das tubulações do sifão será de $0,517 \text{ m}^2$.

Portanto a área da tubulação de ventilação do sifão será de $0,0519 \text{ m}^2$ e seu diâmetro será de 250 mm .

Na Figura 11 é apresentado um esquema da solução final do exercício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Ferretti, M.R.J. — “Aspectos operacionais dos sifões”. Sabesp. Relatório interno EPG. Março de 1993.
- 2 — Leme, F.P. — “Sifão no Sistema de Esgotos”. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Tema 1. Vol. II: 201-208. São Paulo, Janeiro de 1971.
- 3 — Machado Neto, J.G.O. — “Utilização de sifões invertidos nos sistemas de esgotos sanitários”. Trabalho apresentado no curso de pós-graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo — PhD-784. Seminário de Saneamento Básico, Novembro de 1978.
- 4 — Metcalf & Eddy, Inc — **Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater**. McGraw-Hill, New York, 1981.
- 5 — Nucci, N.L.R. — “Sifões Invertidos” — In: **Sistemas de Coleta e Transporte de Esgotos Sanitários**. Cap. 10. Curso por correspondência. CETESB, 1986.
- 6 — Otsubo, M. — “Sifão invertido”. Sabesp, Relatório interno. DPU, Abril de 1988.
- 7 — Purschel, W. — **Las redes urbanas de saneamento**. Urmo S.A. de Ediciones, España, 1976.
- 8 — Sen, R.N. — **Water Supply and Sewerage**. Kalyani Publishers. New Delhi, 1981.
- 9 — Water Pollution Control Federation — “Gravity sanitary sewer design and construction”. **Manual of Practice No FD-5**. ASCE. Washington, 1982.

Figura 1
Sifão Invertido. Planta e Corte

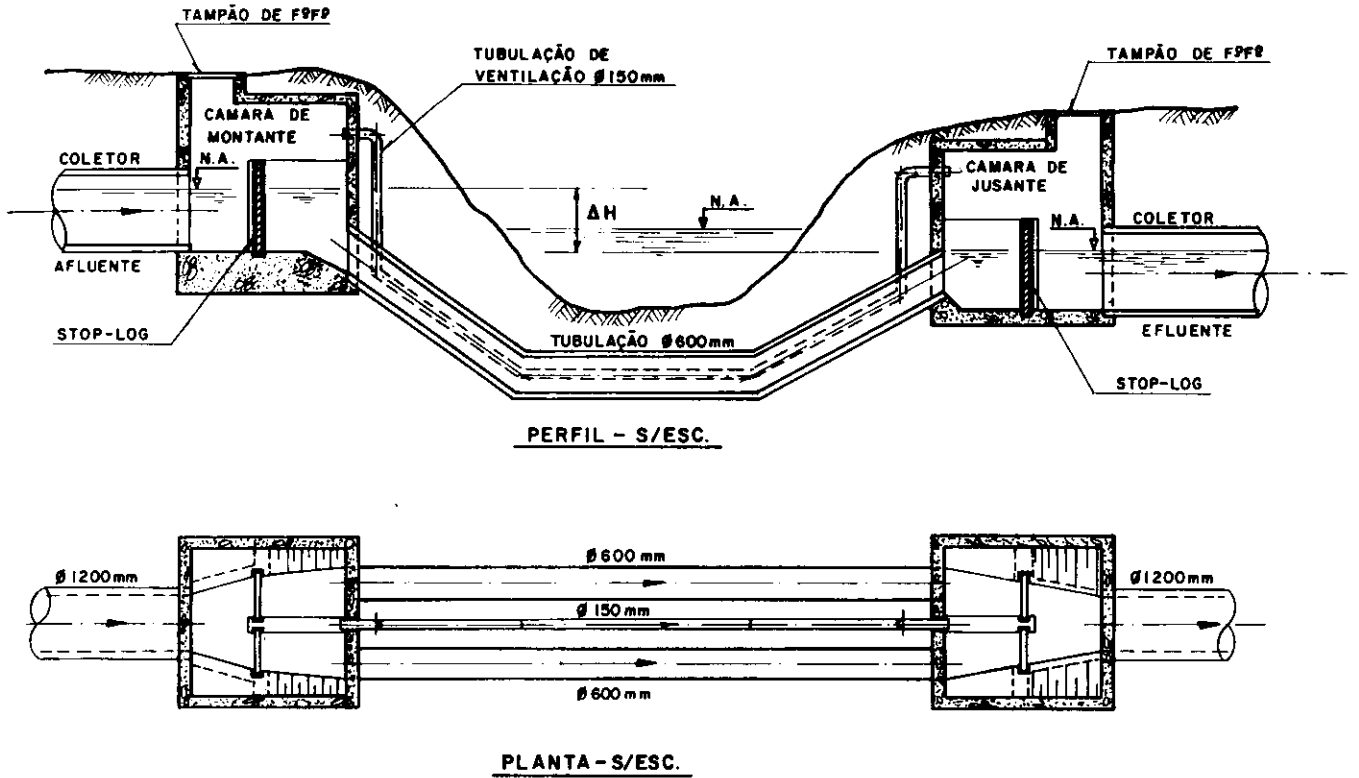


Figura 2
Sifão Invertido. Planta e Corte.
(Fonte: Ferretti, 1993).

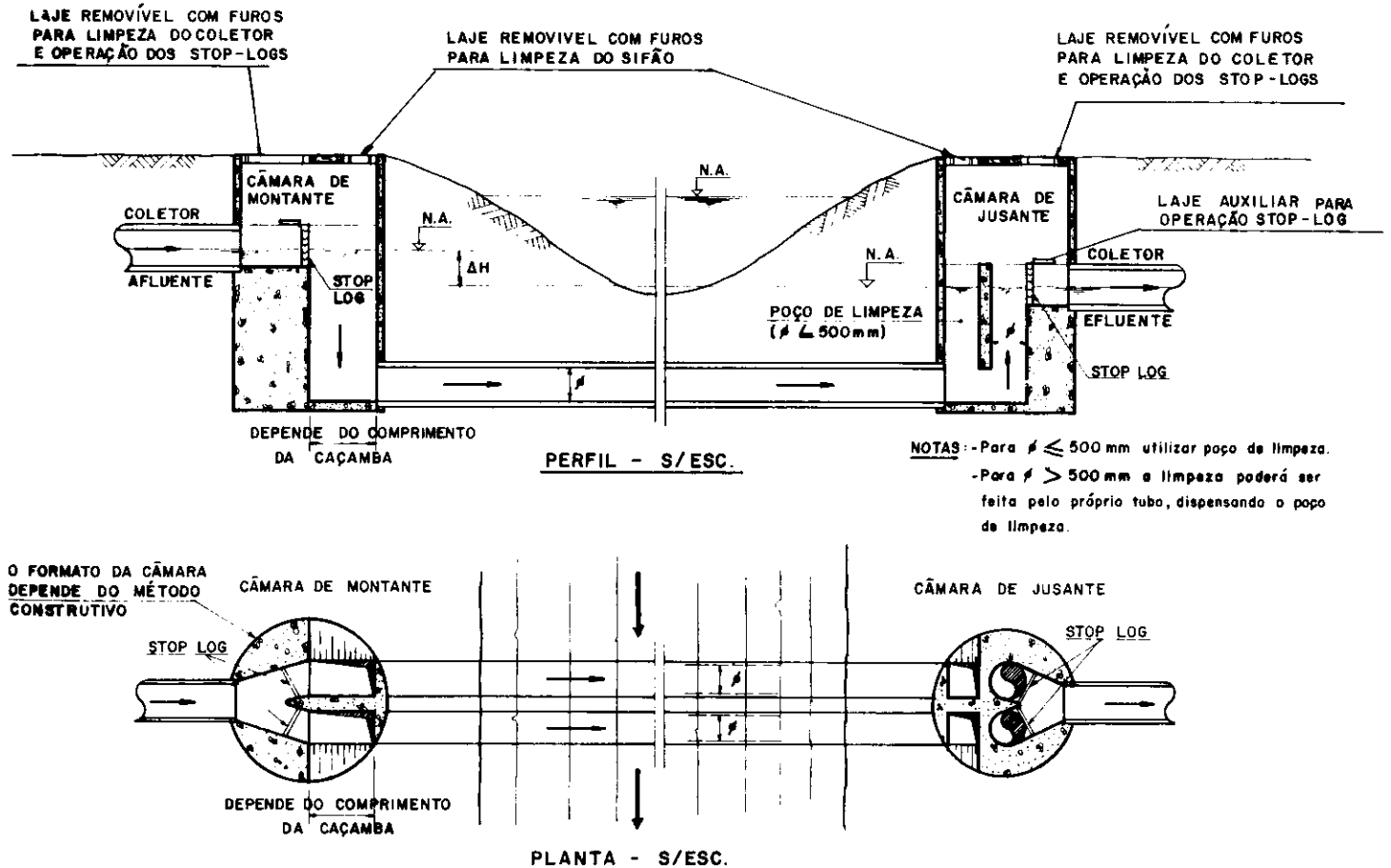


Figura 3
Perdas de carga em um Sifão Invertido.
(Fonte: Otsubo, 1988)

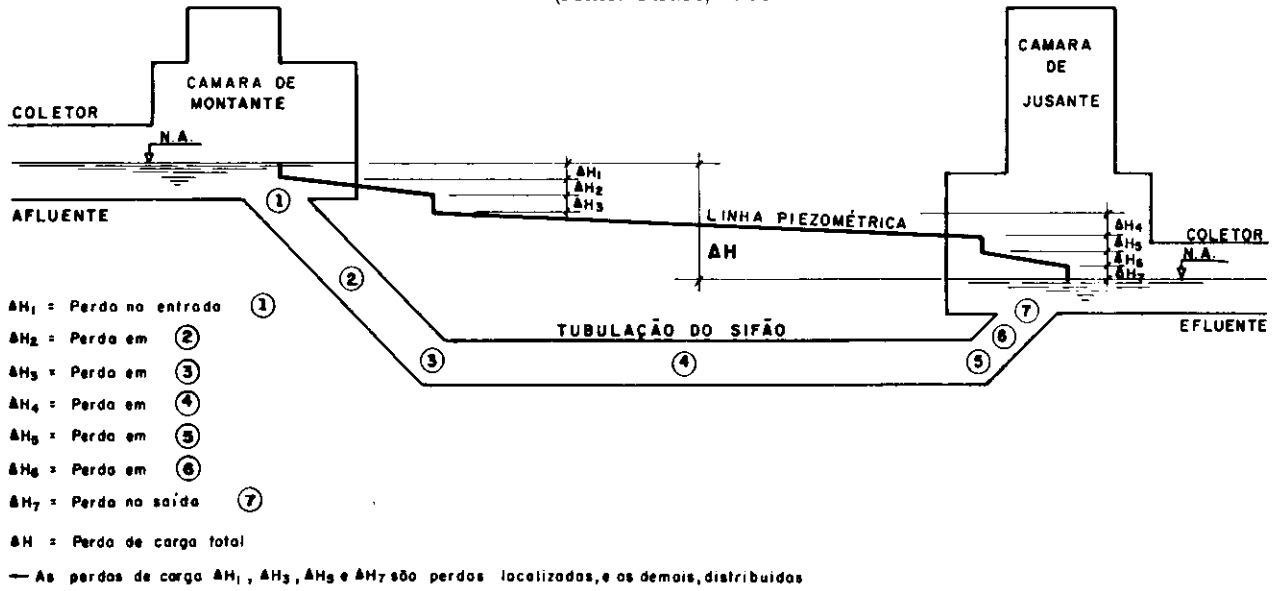


Figura 4
Tipos de perfis de sifões invertidos
(Fonte: Leme, 1971)

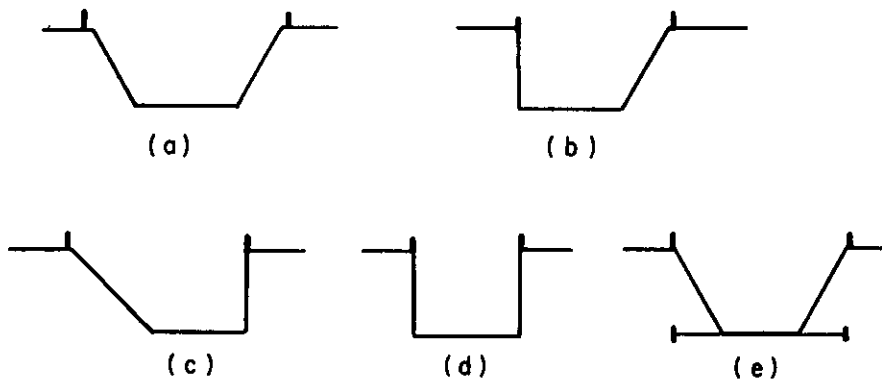


Figura 5
Sifão invertido com distribuição de fluxo através de vertedor lateral
Fonte: (Sen, 1981)

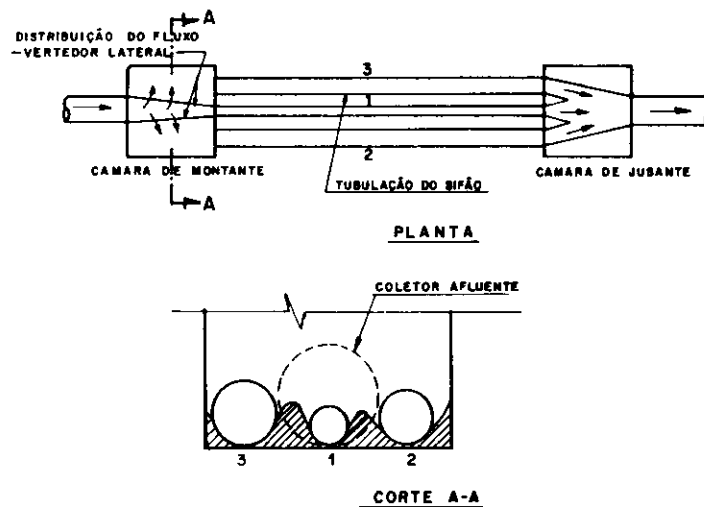


Figura 6
Vazões afluentes ao sifão ao longo dos anos

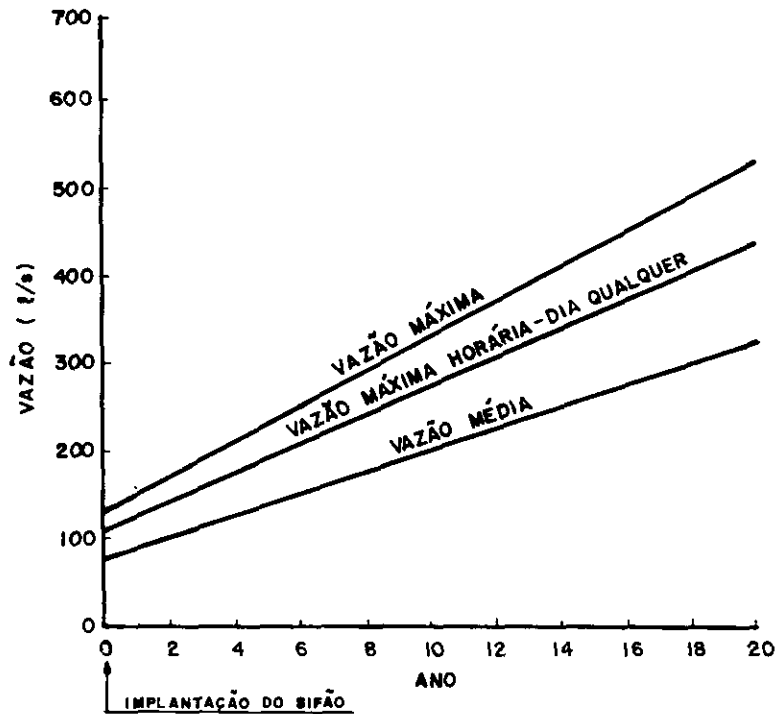


Tabela 1
Vazões afluentes em função das etapas de implantação do sifão

ETAPAS	VAZÕES (L/s)		
	MÉDIA (Q)	MÁXIMA HORÁRIA* DIA QUALQUER	MÁXIMA
Imediata (Implantação)	80	111	130
Primeira Etapa (após 10 anos)	200	283	336
Segunda Etapa (após 20 anos)	328	446	534

* Vazão máxima horária dia qualquer — utilizada para verificação da autolimpeza

Tabela 2
Coeficientes de perda de carga localizada em função das peças do sifão

Peça	Ks
entrada	0,50
2 curvas 45°	0,40
saída	1,00
$\Sigma K_s = 1,90$	

Tabela 3
Perda de carga total em função da vazão para o sifão com tubulação de 400 mm

Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Perdas de carga (m)		
		Localizada	Distribuída	Total
30	0,24	0,01	0,01	0,02
60	0,48	0,02	0,04	0,06
90	0,71	0,05	0,08	0,13
120	0,95	0,09	0,14	0,23
150	1,19	0,14	0,22	0,36
180	1,48	0,20	0,32	0,52
210	1,67	0,27	0,44	0,71

Tabela 4
Perda de carga total em função da vazão para o sifão com tubulação de 500 mm

Vazão (L/s)	Velocidade (m/s)	Perdas de carga (m)		
		Localizada	Distribuída	Total
30	0,15	0,01	0,01	0,02
60	0,31	0,01	0,01	0,02
90	0,46	0,02	0,03	0,05
120	0,61	0,04	0,05	0,09
150	0,76	0,06	0,07	0,13
180	0,92	0,08	0,10	0,18
210	1,07	0,10	0,14	0,24
240	1,22	0,14	0,18	0,32
270	1,37	0,18	0,22	0,40
300	1,52	0,22	0,27	0,49
330	1,68	0,27	0,33	0,60

Figura 7
Curva característica do sifão invertido e suas condições de operação

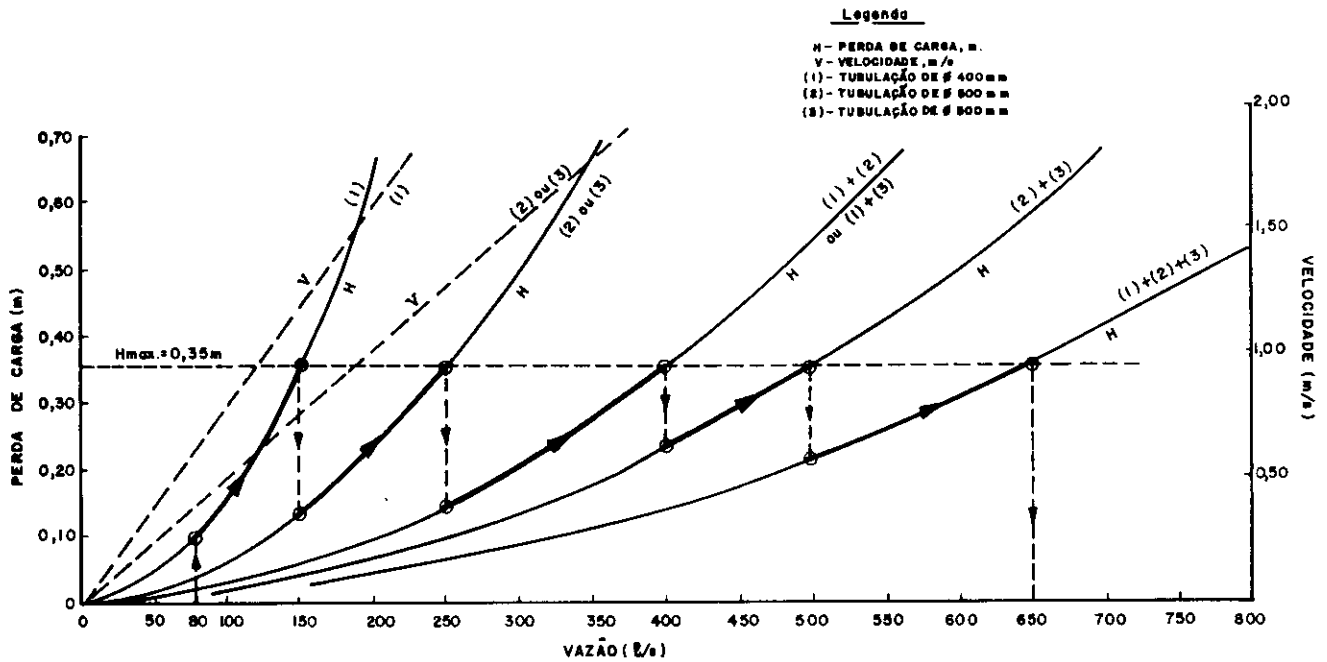


Tabela 5
Variação das velocidades e das perdas de carga nas tubulações do sifão em função do intervalo das vazões

Intervalo de vazões (L/s) em operação	Tubulação	Variação de Velocidades (m)	Variação das perdas de carga (m)
80 - 150	(1)	0,64 - 1,19	0,10 - 0,35
150 - 250	(2) ou (3)	0,76 - 1,27	0,13 - 0,35
250 - 400	(1)+(2) ou (1)+(3)	0,74 - 1,19 no tubo 1 0,80 - 1,27 no tubo 2 ou 3	0,14 - 0,35
400 - 500	(2) + (3)	1,02 - 1,27	0,23 - 0,35
500 - 650	(1)+(2)+(3)	0,90 - 1,19 no tubo 1 0,99 - 1,27 nos tubos 2 e 3	0,21 - 0,35

Figura 8
Determinação do período de operação do sifão em função da vazão

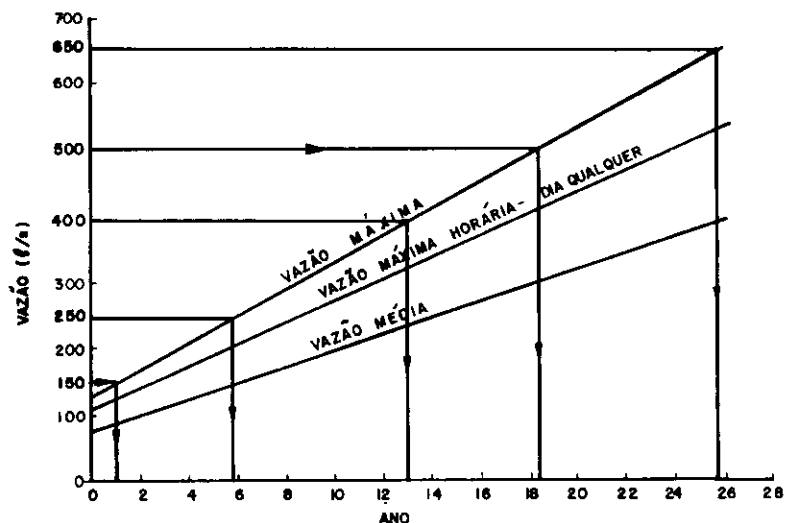


Tabela 6
Período de operação das tubulações do sifão

Tubulação do sifão	Período de operação (anos)
(1)	0 - 1
(2) ou (3)	1 - 5
(1) + (2) ou (1) + (3)	5 - 13
(2) + (3)	13 - 18
(1) + (2) + (3)	18 - 25

Tabela 7
Níveis de água na câmara de montante

Q (L/s)	y/D (m)	Cota do NA na câmara de montante (m)
150	0,30	384,24
250	0,39	384,31
400	0,50	384,40
500	0,57	384,46
650	0,69	384,55

Figura 9
Detalhes da câmara de montante

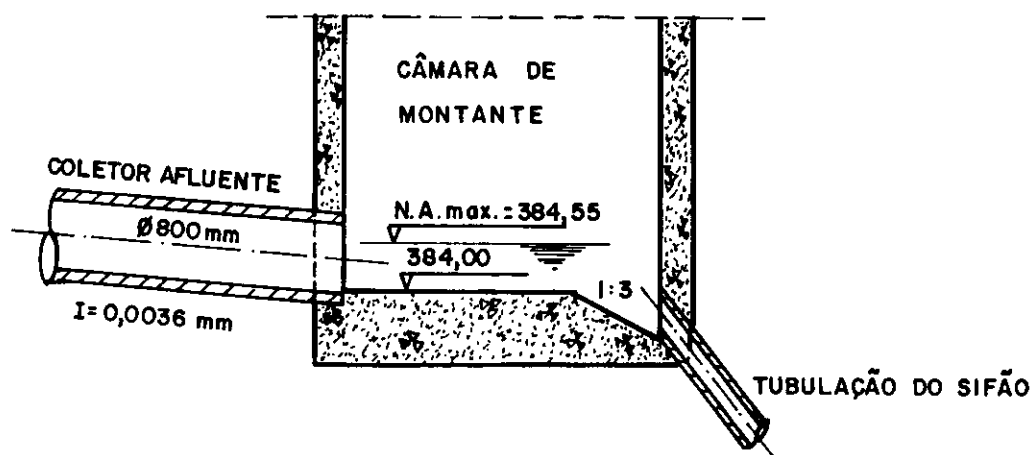


Tabela 8
Níveis de água na câmara de jusante

Q (L/s)	Cota do NA na câmara de montante (m)	Perda de carga (m)	Cota do NA na câmara de jusante (m)
150	384,24	0,35	383,89
250	384,31	0,35	383,96
400	384,40	0,35	384,05
500	384,46	0,35	384,11
650	384,55	0,35	384,20

Figura 10
 Detalhes da câmara de jusante

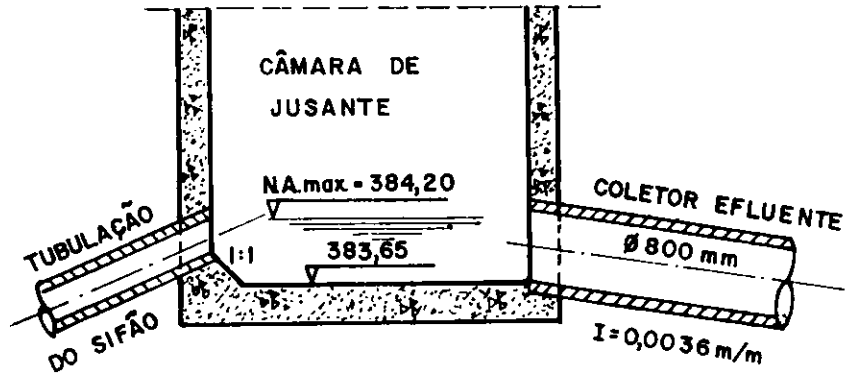


Figura 11
 Projeto do Sifão Invertido

