

CAPÍTULO VIII

SEÇÕES FECHADAS ESPECIAIS

VIII.1. Generalidades

Em sistemas de esgotos a seções fechadas circulares são as mais empregadas devido serem as que consomem menos material em sua confecção, bem como têm menor perímetro molhado e, conseqüentemente, maior raio hidráulico por unidade de área. São, portanto, as seções teoricamente ideais, largamente construídas a partir do emprego de tubos pré-fabricados.

No entanto, para grandes condutos a adoção da seção circular fica condicionada a questões estruturais e físico-geométricas e também a problemas de natureza hidráulica e a processos construtivos como, por exemplo, fundações em terrenos instáveis, espaço disponível para instalação dos condutos, lâminas líquidas muito pequenas, etc.

Observa-se que, de acordo com as circunstâncias, o emprego da seção circular pode se tornar inviável ou até mesmo impossível.

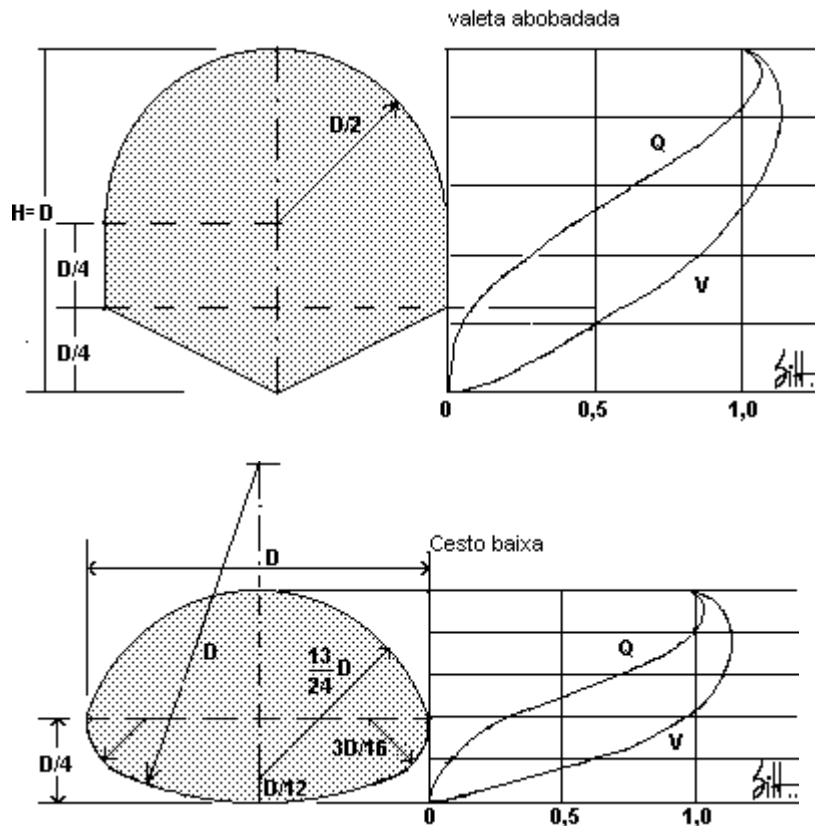
Este capítulo tratará de mostrar algumas seções padronizadas alternativas a circular, denominadas na literatura de "seções fechadas especiais padrão", ou simplesmente "seções especiais", e o cálculo hidráulico de cada uma delas.

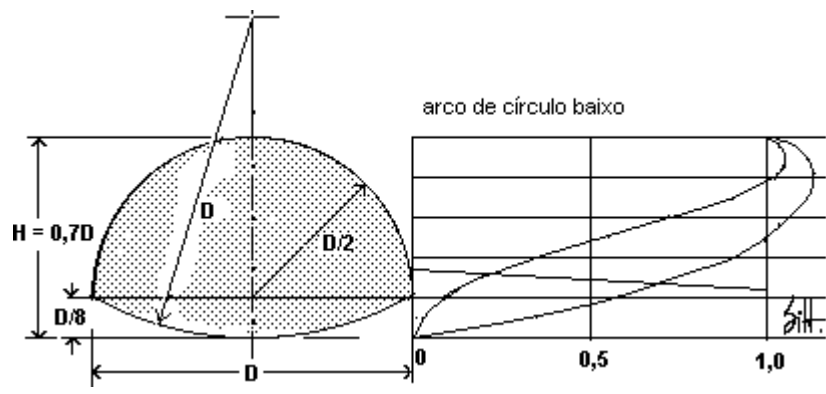
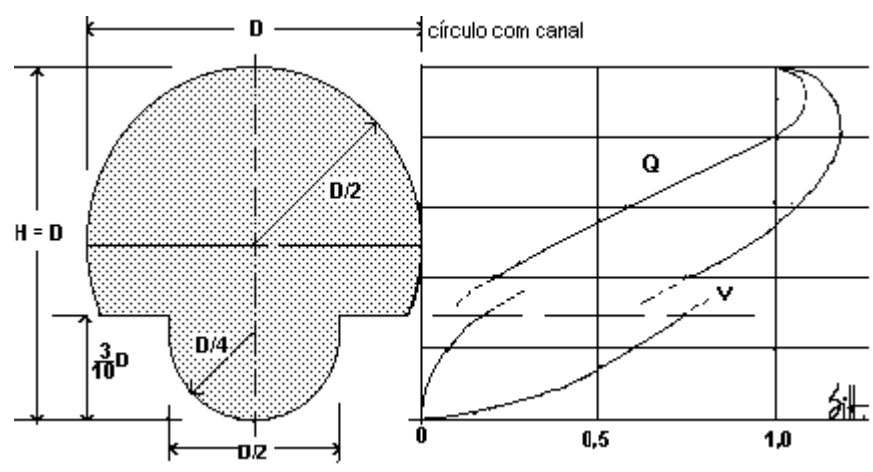
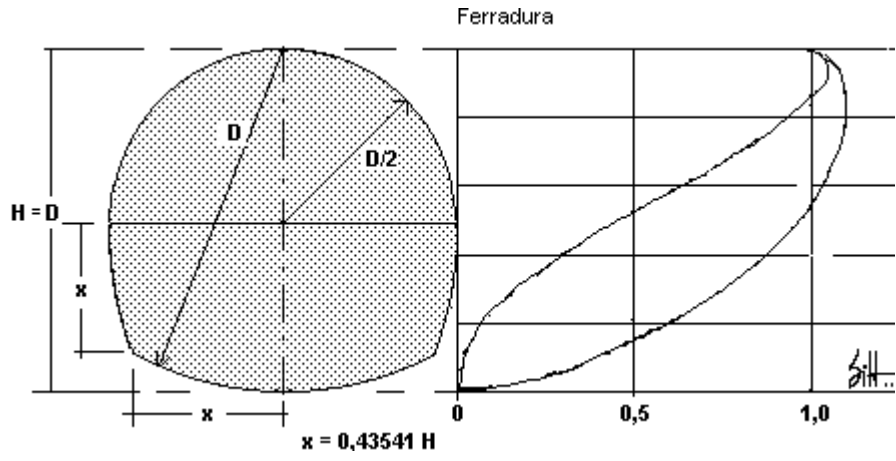
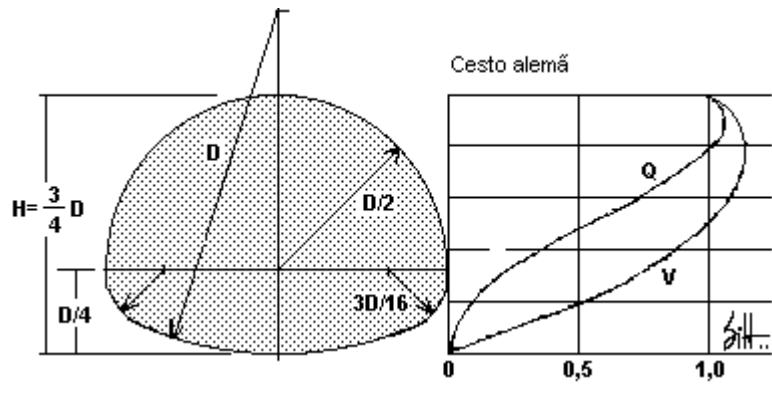
VIII.2. Seções Padronizadas

A seção ideal, em princípio, será a que minimizar as perturbações do escoamento das águas residuárias, assim como problemas correlatos de erosão e de sedimentação, detritos flutuantes, etc, e os custos neles compreendidos desde a implantação até a manutenção, além da acomodação estrutural com o espaço em volta.

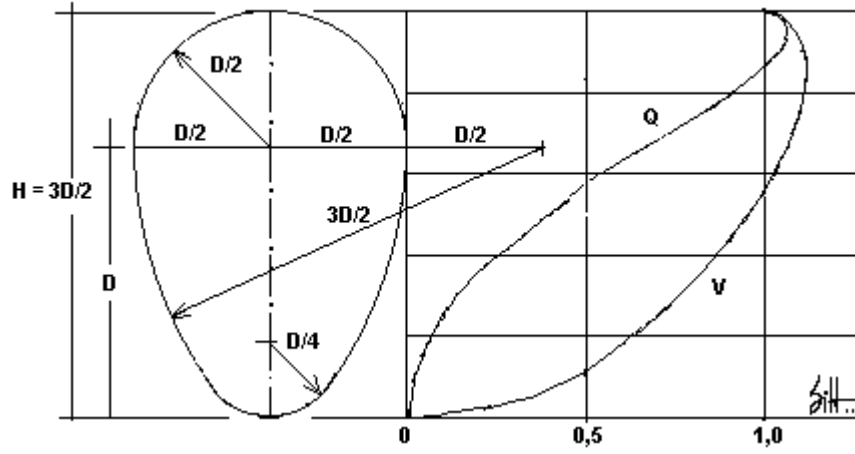
As figuras apresentadas a seguir mostram uma série de seções especiais padronizadas mais freqüentemente citadas na literatura específica.

Algumas destas figuras são acompanhadas da variação hidráulica do escoamento (vazão parcial sobre a da seção plena e da velocidade média parcial também em relação a da seção máxima) com a altura do líquido no interior da seção, numa situação similar à estudada para as seções circulares no Capítulo VI.

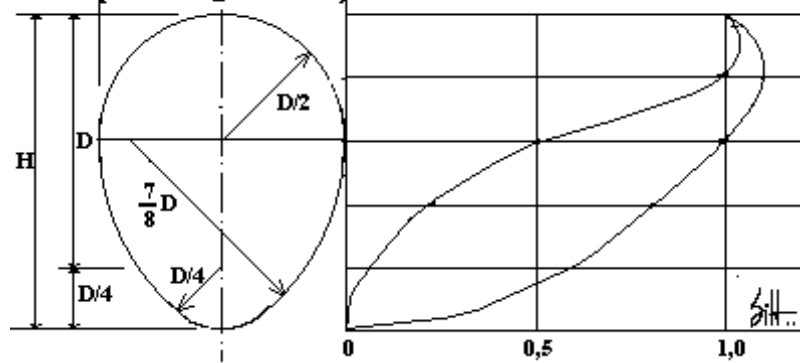




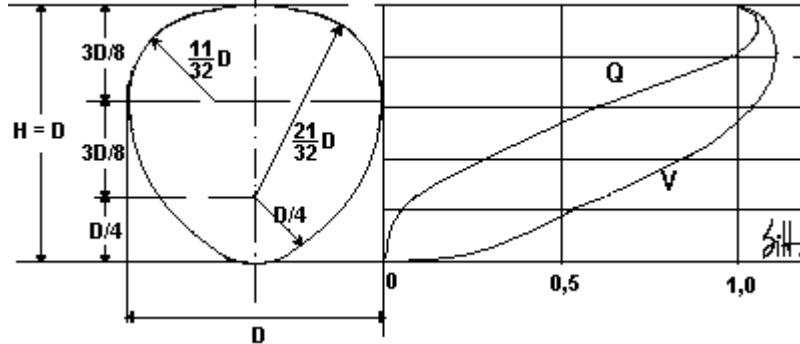
Oval normal ou alemã



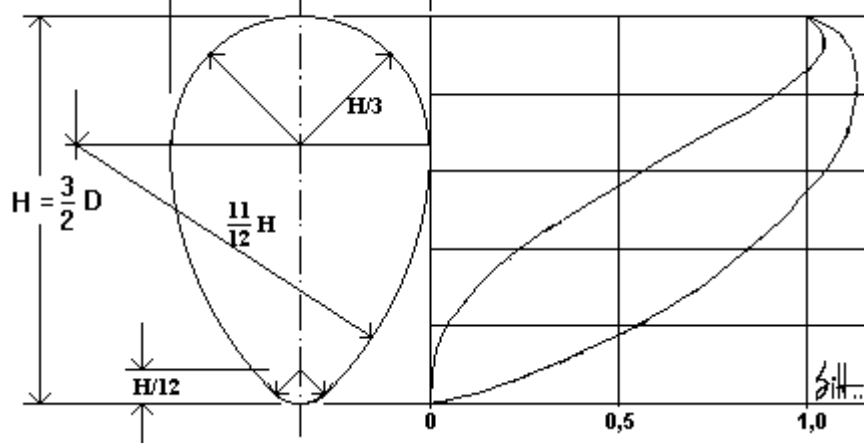
oval larga

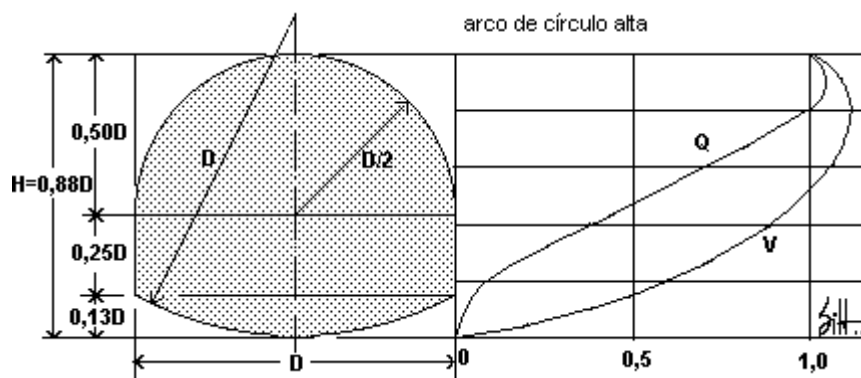
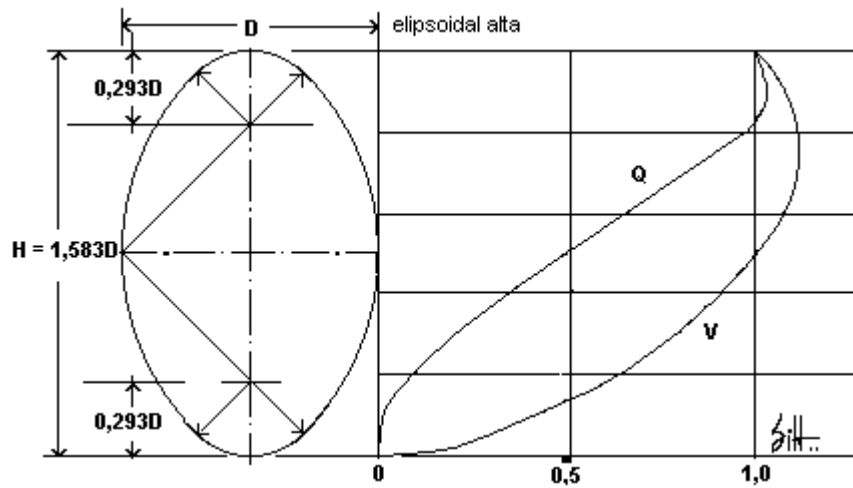
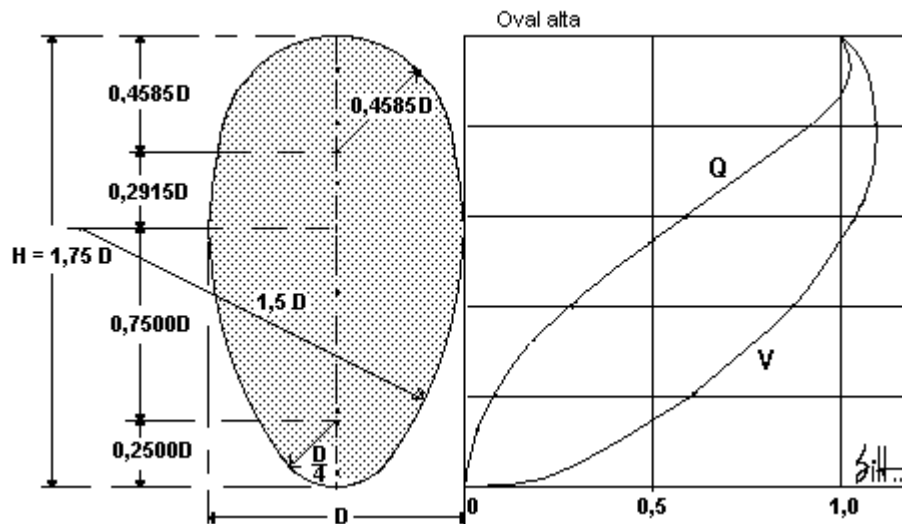
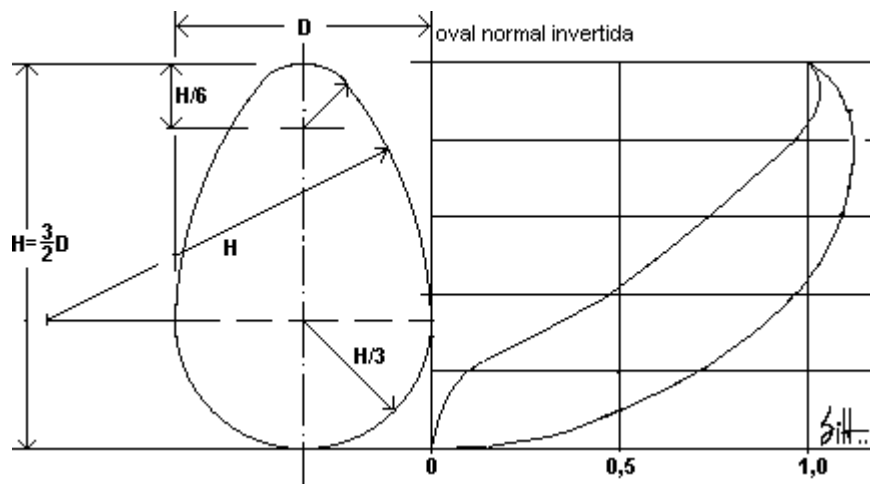


oval baixa



oval de soleira estreita





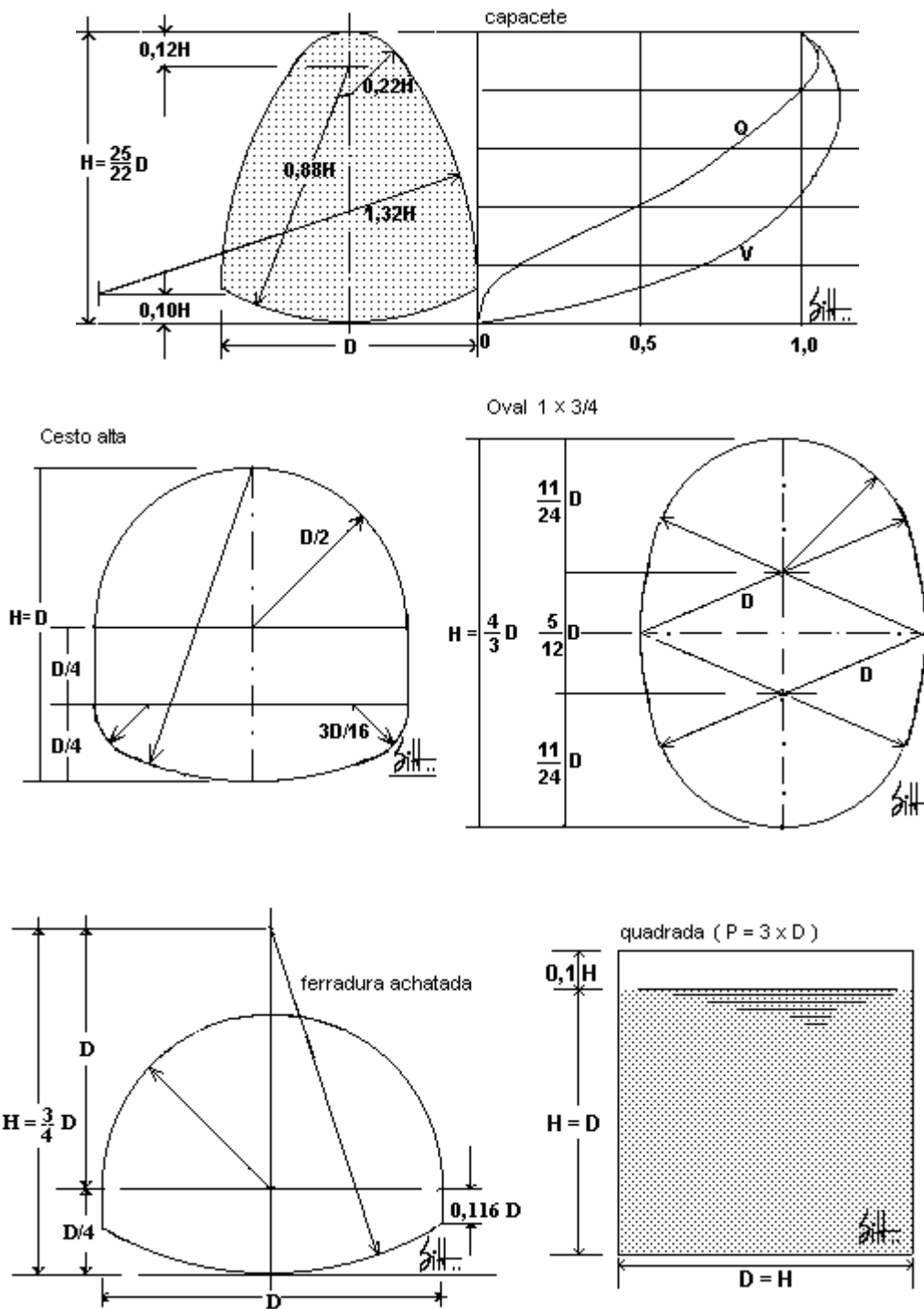


FIG. 8.1 - Exemplos de seções especiais

VIII.3. Cálculo Hidráulico

O cálculo hidráulico de uma seção especial pode se tornar possível a partir do conceito de "conduto equivalente", relacionando-se a seção em estudo com a circular equivalente, partindo da consideração que cálculos hidráulicos de seções circulares são de maior domínio pela extensa literatura disponível.

Define-se como "conduto equivalente" aquele que transporta a mesma vazão escoando totalmente cheio, em condições livres, na mesma declividade. Assim, por definição, chamando-se de " Q_0 " a vazão a seção plena de um conduto de seção circular e " Q_e " a vazão da equivalente, tem-se

$$Q_e = Q_0 \text{ ou } A_e \cdot V_e = A_0 \cdot V_0$$

ou seja, pela expressão de Manning,

$$A_e \cdot (R_e^{2/3} \cdot I_e^{1/2}) / n_e = A_0 \cdot (R_0^{2/3} \cdot I_0^{1/2}) / n_0$$

Como, por definição $I_e = I_0$ e admitindo $n_e = n_0$, simplifica-se a expressão anterior para

$$A_e \cdot R_e^{2/3} = A_0 \cdot R_0^{2/3}$$

Substituindo-se os valores da seção circular em função do diâmetro, encontra-se, para $A_0 = 0,785 \cdot D_0^2$ e $R_0 = D_0/4$, a expressão

$$A_e \cdot R_e^{2/3} = 0,3115 D_0^{8/3}$$

O valor de "D_o" pode ser determinado através dos procedimentos já conhecidos, a partir da vazão a seção plena e da declividade da canalização, eliminando-se esta incógnita. As expressões para determinação de A_c e R_c são encontradas na Tabela VIII.1. em função da dimensão horizontal máxima "D" da seção em cálculo.

TABELA VIII.1. Dimensões Hidráulicas de Seções Especiais

Forma da Seção	D/H	A(xD ²)	P(xD)	R(xD)
1.Arco de círculo				
- alto	1,13	0,734	3,118	0,235
- baixo	1,58	0,484	2,618	0,185
- com canal	1,00	0,711	3,284	0,216
2.Capacete	0,88	0,847	3,441	0,246
3.Circular	1,00	0,785	3,142	0,250
4.Elipsoidal alta	0,63	1,205	4,062	0,297
5.Ferradura				
- normal	1,00	0,847	3,338	0,254
- achatada	1,33	0,599	2,850	0,210
6.Formato de Cesto				
- alemão	1,33	0,593	2,820	0,210
- alto	1,00	0,845	3,301	0,256
- baixo	1,60	0,484	2,584	0,187
7.Oval (ou ovóide)				
- alto	0,57	1,370	4,430	0,309
- baixo	1,00	0,775	3,143	0,247
- estreito	0,67	1,115	3,920	0,284
- invertido	0,67	1,149	3,965	0,290
- largo	0,80	0,960	3,516	0,273
- normal (alemão)	0,67	1,149	3,965	0,290
- 1 x 3/4	0,75	1,075	3,735	0,288
8.Pentagonal*	1,00	0,833	3,533	0,236
9.Quadrada				
- quatro lados	1,00	1,000	4,000	0,250
- três lados	1,00	1,000	3,000	0,333
10.Retangular*	1,50	1,500	5,000	0,300
11.Semi-elíptica	1,00	0,813	3,340	0,243
12.Valeta abobadada	1,00	0,769	3,200	0,240

* podendo ser calculada com relações diferentes.

VIII.4. Características Estruturais

As seções especiais requerem, em função de suas dimensões, cálculo estrutural minucioso e bastante complexo, pelas condições intrínsecas de hiperestabilidade. Este cálculo requer, a priori, a avaliação das cargas e esforços solicitantes envolvendo esforços de carregamento e de apoio, tais como peso próprio, peso do líquido, pressões hidrostáticas, cargas de aterro, sobrecargas fixas e móveis, variações de temperatura e reações de apoio.

O desenvolvimento destes cálculos extrapolam o nível desta publicação e deverão ser buscados, no caso de projetos, na literatura relativa a cada assunto, como normas para cálculo de estruturas, teorias de Mecânica dos Solos, comportamento de cargas permanentes e acidentais, linhas de influência, etc.

A recomendação básica para efeito de dimensionamento é reduzir a possibilidade de fissuras para evitar infiltrações e, conseqüentemente, a ação agressiva dos componentes das águas residuárias contra o material estrutural.

Resumidamente pode se expor os seguintes comentários:

Retangular - é a mais utilizada para moldagem "in loco" face a grande simplicidade de execução e reduzido custo de montagem das formas e armaduras, não sendo particularmente indicada para trabalhar sob pressão interna, porém funciona bem para aterros de média e baixa altura e não apresenta problemas de fundações com qualquer tipo de solo podendo até mesmo dispensar laje de fundo em casos de apoio na rocha; **Ferradura** - é de fácil execução e se aproxima do comportamento hidráulico da circular sendo freqüentemente empregada em bueiros e passagens sob aterros; **Oval** - devido a seu formato trabalha, principalmente a compressão e apresenta praticamente todas as vantagens hidráulicas da seção circular em escoamento livre e, apesar das dificuldades de execução, é sensivelmente vantajosa nos casos de grandes cargas verticais com pequenas pressões laterais; **Arco** - substitui com vantagem a oval no caso de grandes dimensões, sendo que do ponto de vista estrutural é inconveniente o emprego de arcos abatidos, sendo nestes casos mais indicados a semi-elíptica ou parabólicas.

VIII.5. Escolha da Seção

VIII.5.1. Fatores Determinantes

A adoção de seções especiais está ligada a uma série de fatores determinantes, primeiro da inviabilidade da seção circular e, a seguir, do tipo de seção a empregar.

Estes fatores podem ser agrupados em três blocos:

- **fatores hidráulicos;**
- **fatores econômicos;**
- **fatores físico-geométricos.**

Normalmente é uma análise sob estes três pontos de vista que define o tipo de seção a empregar, embora apenas um fator seja suficiente para mostrar a inviabilidade do emprego de seção circular para a canalização em estudo.

VIII.5.2. Fatores Hidráulicos

Não raramente pode-se deparar com vazões iniciais de projeto muito pequenas em relação as máximas previstas. Isto acarretaria lâminas muito baixas para as vazões mínimas implicando em escoamento com arrastes insuficientes para autolimpeza das canalizações, no caso de emprego de seção circular.

A solução para o problema é aumentar a lâmina líquida para melhorar as condições de "afogamento" e, conseqüentemente, do escoamento. Isto será conseguido, logicamente, com o estreitamento da corrente reduzindo seu espalhamento e ampliando sua altura. Seções ovais (também chamadas de ovóides), arco com canal, valeta abobadada ou pentagonal podem, por exemplo, ser recomendadas para estudo de uma solução neste caso. Inversamente seções quadrada, retangular deitada, ferradura, capacete, etc, não podem ser indicadas para a situação, mas se prestam muito bem para os casos onde as oscilações de vazão sejam pequenas.

VIII.5.3. Fatores Econômicos

O custo da canalização depende essencialmente de suas características estruturais e do método construtivo. Seções circulares de grande porte (acima de 2,0m de diâmetro) geralmente requerem moldagem "in loco", pois a aquisição de tubos pré-fabricados se torna inviável a partir do transporte. Por outro lado a construção "in loco" requer mão de obra especializada desde a armação, tornando a seção circular mais dispendiosa em relação às outras.

O material a escavar também poder ter importância decisiva na definição da seção a construir. Seções mais altas e menos estreitas requerem valas mais profundas e menos largas em oposição ao que requerem as achatadas.

Em terrenos muito duros deve-se implantar seções de maior largura em relação a altura, pois aqui interessa reduzir os custos de escavações. Da mesma forma terrenos instáveis requerem mais largura para melhor distribuição do peso próprio e sobrecargas nas fundações. Também quando se pretende evitar complicações com o lençol freático, principalmente durante a abertura das valas, aliviando a construção e facilitando o cálculo estrutural no caso de empuxos, deve-se optar por seções que tornem a canalização "mais rasa".

Uma seção retangular é um exemplo clássico de economia estrutural e de facilidade construtiva, principalmente na execução das armaduras, formas e moldagem "in loco".

VIII.5.4. Fatores Físico-Geométricos

Frequentemente o desenvolvimento de um projeto é limitado em sua concepção por problemas físicos e geométricos que surgem como desafio ao projetista. Isto ocorre com mais frequência em grandes centros urbanos e com grandes condutos.

Nas grandes cidades o número de obras subterrâneas em funcionamento tais como canais, galerias, túneis, metrô, condutos de energia e de telefone, canalizações de gás, etc, restringem o espaço subterrâneo disponível para passagem de novos condutos. Neste caso é comum têm-se faixas subterrâneas disponíveis reduzidas, onde só podem ser instaladas seções de menor dimensão horizontal em relação a altura quando a expansão vertical não é problema.

Na situação oposta ter-se-iam espaços mais profundos já ocupados restando disponível a camada mais superficial do local. Neste caso a opção inverter-se-ia e as seções onde prevalecem a largura em relação a altura é que seriam as viáveis.

Da mesma forma limitações nas cotas mínimas de lançamento a jusante implicam em seções achatadas, visto que o emprego, por exemplo, da seção circular poderia implicar em profundidades insuficientes para embutimento da canalização ou o aprofundamento da vala provocaria o afogamento da extremidade de jusante com retornos inconvenientes nos trechos finais.

VIII.6. Exemplos

1. Encontrar a dimensão principal de uma seção oval padrão alemão capaz de transportar uma vazão de 5m³/s sob uma declividade de 0,1%.

Solução:

Empregando Manning, $n = 0,013$, encontra-se $D_o^{8/3} = 6,60$.

Pela Tabela XV.1, para oval normal, $A_c = 1,149D^2$ e $R_c = 0,290D$, logo $1,149D^2 \times (0,29D)^{2/3} = 0,3115 \times 6,60$ de onde encontra-se $D = 1,70m$, de qual valor desenha-se a seção hidráulica equivalente, obedecendo aos traçados indicados.

2. Encontrar a vazão e a velocidade média de escoamento numa seção de valeta abobadada na nascente da abóbada. $I_e = 0,007m/m$ e $D_e = 3,0m$.

Solução:

a) Pela Tabela XV.1. $D = H$, $A = 0,769D^2$, $P = 3,2D$ e $R = 0,24D$; então: $D = H = 3,0m$, $A = 6,92m^2$, $P = 9,6m$ e $R = 0,72m$.

b) Para se encontrar valores parciais de vazão e velocidade necessita-se dos correspondentes à seção plena para, a seguir, empregar a relação entre estes valores na figura anexa a seção em estudo a partir do coeficiente h/H (na nascente da abóbada $h/H = 0,5$).

- Velocidade Plena: $V_e = (1/0,013) \times (0,72)^{0,67} \times 0,007^{0,50} = 5,17m/s$

- Vazão Plena: $Q_e = A_e \cdot V_e = 6,92 \times 5,17 = 35,78m^3/s$ e com $h/H = 0,50$ lê-se $Q/Q_e = 0,47$ e $V/V_e = 0,975$

c) Assim $Q = 0,47 \times 35,78 = 16,82m^3/s$ e $V = 0,975 \times 5,17 = 5,04m/s$.

VIII.7. Exercícios

1. Definir "seção fechada padrão".
2. Citar situações em que a seção circular poderia se tornar inviável. E situações onde seu emprego seria impossível.
3. Dar uma definição para "dois condutos equivalentes".
4. Desenhar a seção calculada no exemplo do item XV.3.
5. Como poderia acontecer a corrosão bacteriana nas seções especiais ?
6. Por que a seção retangular é a mais comum das seções especiais ?
7. Por que as seções ovais são mais indicadas para casos de grandes cargas verticais? e pequenos esforços laterais?
8. Por que os arcos abatidos são pouco recomendáveis para substituição dos ovóides?
9. Quais os fatores que determinam o tipo de seção especial a empregar ?
10. Por que um só fator é suficiente para mostrar a inviabilização da seção circular no caso específico? Exemplifique.
11. Citar fatores hidráulicos de importância na definição do tipo de seção a instalar.
12. Idem para fatores econômicos e físico-geométricos.
13. Repetir o exemplo do item XV.3 para as demais seções da Tabela XV.1.
14. Desenhar as seções calculadas no exercício anterior.
15. Determinar a velocidade média e a vazão de uma seção tipo capacete de 1,8m de largura e declividade de 0,08%.
16. Determinar as dimensões de um emissário de esgotos sanitários em arco de círculo com canal, para transporte de uma vazão $5,0\text{m}^3/\text{s}$ sob uma declividade de 0,08%. Desenhar a seção.
17. Repetir o exercício XV.7.16 para quando a seção for (a) ferradura achatada (b) formato de cesto alemão (c) oval invertida (d) oval larga e (e) quadrada.
18. Comparar a capacidade de uma seção circular de diâmetro D com as seguintes seções de idêntica dimensão horizontal:
 - a) ovóide alta;
 - b) elipsoidal alta;
 - c) cesto alta;
 - d) quadrada de quatro lados;
 - e) retangular $H/D = 1,50$.
19. Repetir o exercício anterior para $h/H = 0,5$, ou seja, para circular a meia seção. Desenhar as figuras.
20. Encontrar a altura do esgoto e a velocidade média de escoamento de 270 l/s em uma seção em ferradura de largura igual a $1,2\text{m}$, sob declividade de $0,002\text{m/m}$. E se a seção fosse oval de soleira estreita? ou quadrada?