

# As relações de Superfície nos Tanques Imhoff Retangulares

J. C. DIAS DE MORAES

Engenheiro Químico e Sanitarista  
Seção de Tratamento de Águas  
Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo

1 — *Introdução*: existem três relações muito importantes nos tanques Imhoff, as quais estão ligadas entre si. Estando ligadas entre si, não podem ser escolhidas tôdas elas arbitrariamente. Além disso para algumas destas relações, geralmente, as repartições públicas de engenharia sanitária estabelecem valores extremos limites. Sendo assim, os valores limites para as outras relações ficam implicitamente determinados.

As três relações a serem estudadas neste trabalho são exclusivamente entre as dimensões horizontais da câmara de espuma, da câmara de sedimentação e do tanque todo.

Êste trabalho se aplica aos tanques Imhoff retangulares com uma só câmara de sedimentação, a qual é centrada em relação às duas câmaras de espuma. Detalhes esquemáticos encontram-se na Fig. N.º 1.

Apesar de nos termos restringido ao caso mais simples, de uma só câmara de sedimentação, êste trabalho pode, com ligeiras alterações, ser aplicado a outros tipos de tanque Imhoff retangulares, como por exemplo, os que têm duas câmaras de sedimentação e três de espuma.

Não obstante êste trabalho já ter sido apresentado, com ligeiras modificações, ao IV Congresso Inter-Americano de Engenharia Sanitária, realizado em São Paulo, em 1954, achamos necessária a sua publicação como introdução a um segundo trabalho, que será também publicado na Revista D.A.E., pois a compreensão do último depende em grande parte da do primeiro.

2 — *Relação  $\rho$* : chamamos de  $\rho$  a relação entre as áreas horizontais de saída dos gases das câmaras de espuma, e a área horizontal da câmara de digestão do lodo. Esta relação, para os tanques Imhoff retangulares, é dada por:

$$\rho = \frac{S_e}{S} = \frac{2 L B_1}{L B} = \frac{2 B_1}{B} \quad (1)$$

$S_e$  = área total das câmaras de espuma

$S$  = área horizontal do tanque Imhoff.

Entretanto:

$$B = 2 B_1 + B_2 \quad (2)$$

que fornece em (1):

$$\rho = \frac{1}{1 + \frac{B_2}{2 B_1}} \quad (3)$$

Chamando de  $K$

$$K = \frac{B_2}{2 B_1} \quad (4)$$

vem finalmente:

$$\rho = \frac{1}{1 + K} \quad (5)$$

ou

$$K = \frac{1 - \rho}{\rho} \quad (6)$$

3 — *Relação  $\varepsilon$* : chamamos de relação  $\varepsilon$  à relação entre o comprimento e a largura da câmara de sedimentação:

$$\varepsilon = \frac{L}{B_2 - 2 a_2} \quad (7)$$

Como a largura das paredes da câmara de sedimentação é muito pequena, em relação à largura desta câmara, poderemos desprezá-la, fazendo  $a_2 = 0$ . Então vem:

$$\varepsilon = \frac{L}{B_2} \quad (8)$$

Esta relação está estreitamente ligada à relação  $\rho$ .

Sendo  $S_s$  a área horizontal da câmara de sedimentação, a relação  $\rho$  pode ser definida por:

$$\rho = \frac{S - S_s}{S} = 1 - \frac{S_s}{S} \quad (9)$$

porém

$$B_2 = \frac{S_s}{L} \quad (10)$$

que substituído em (8) dá:

$$S_s = \frac{L_2}{\varepsilon} \quad (11)$$

como

$$S = L B \quad (12)$$

vem, substituindo (11) e (12) em (9), finalmente:

$$\rho = 1 - \frac{L}{\varepsilon B} \quad (13)$$

4 — *Relação  $\theta$* : chamando de  $\theta$  a relação entre o comprimento e a largura do tanque Imhoff teremos:

$$\theta = \frac{L}{B} \quad (14)$$

a qual substituída em (13) nos fornece a equação geral de ligação entre  $\rho$ ,  $\varepsilon$  e  $\theta$ :

$$P = 1 - \frac{\theta}{\varepsilon} \quad (15)$$

5 — *Discussão*: as fórmulas (6) e (15) podem ser submetidas a uma série de discussões muito interessantes.

Faremos a sua discussão, principalmente, a luz das "Instruções para Elaboração de Projetos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários", feitas pelo ilustre e saudoso engenheiro Fernando de Barros Ferraz, e adotadas oficialmente pelo Departamento de Obras Sanitárias de São Paulo, da Secretaria da Viação e Obras Públicas de São Paulo. Envolveremos na nossa discussão algumas idéias sobre o provável custo mínimo dos tanques

Imhoff retangulares. Estas idéias serão melhor desenvolvidas no nosso segundo trabalho relacionado com este assunto.

6 — *Valores Limites de  $\rho$* : as “Instruções” estabelecem o valor mínimo de  $\rho$ , o qual é de:

$$\rho_{\min} = 0,20 \quad (16)$$

com a condição de que:

$$B_1 \min = 0,50 \text{ m} \quad (16a)$$

mas não estabelecem o seu valor máximo, tanto para  $\rho$  como para a largura da câmara de espuma. Veremos que, para determinados casos, o valor máximo de  $\rho$  fica implicitamente fixado.

7 — *Valores Limites de  $\varepsilon$* : as “Instruções” estabelecem três classes de valores limites para  $\varepsilon$  com relação aos tanques retangulares, a saber:

a — para tanques com inversão do escoamento na câmara de sedimentação:

$$\varepsilon_{\min} = 3 \quad (17)$$

$$\varepsilon_{\max} = 6 \quad (17a)$$

b — para tanques sem inversão de escoamento na câmara de sedimentação, e um só poço de digestão:

$$\varepsilon_{\min} = 2 \quad (18)$$

$$\varepsilon_{\max} = 3 \quad (18a)$$

c — para tanques com mais de um poço de digestão, e necessariamente com inversão do escoamento na câmara de sedimentação:

$$\varepsilon_{\min} = 2 \quad (19)$$

$$\varepsilon_{\max} = 6 \quad (19a)$$

8 — *Outros Valores Limites*: os valores limites de  $\theta$  não são especificados nas “Instruções”. Entretanto, veremos que para certos casos particulares eles poderão ser estabelecidos.

Julgamos que seria útil que se estabelecessem os valores extremos de  $\theta$ , para os quais os tanques ficassem em tórno de uma forma geométrica econômica, uma vez que, valores muito grandes ou muito pequenos de  $\theta$  tornam os tanques muito longos ou muito largos, formas essas perimetralmente anti-econômicas.

9 — *Valores de Limites de  $B_2$* : para o valor mínimo de  $\rho$  em (16) decorre imediatamente na (6) um valor máximo para  $K$ :

$$K_{\max} = \frac{10, - 0,2}{0,2} = 4 \quad (20)$$

vindo na (4) um valor máximo para  $B_2$ :

$$B_2 \max = 2 K_{\max} B_1 = 2 \times 4 B_1 = 8 B_1 \quad (21)$$

Isto quer dizer que a largura da câmara de sedimentação será sempre igual ou menor do que  $8 B_1$ , pelas “Instruções”:

$$B_2 \leq 8 B_1 \quad (22)$$

Por outro lado, como o valor mínimo de  $B_1$  na (16a) é de 0,50 m, vem na equação (4):

$$B_2 \min = 2 K B_1 \min = 2 \times 0,50 K = K \quad (23)$$

mostrando que aquela largura deve ser igual ou maior do que o valor de  $K$ , pelas “Instruções”:

$$B_2 \geq K \quad (24)$$

Combinando a (22) com a (24) vem finalmente:

$$8 B_1 \geq B_2 \geq K \quad (\text{em metros}) \quad (25)$$

Sí tomarmos para os membros extremos respectivamente os valores mínimo (da esquerda) e máximo (da direita), teremos:

$$B_2 = 4,0 \text{ m} \quad (25a)$$

que é uma condição de mínimo, e que pode ser expressa por: "nos tanques Imhoff retangulares, de uma só câmara de sedimentação, para os quais sejam adotados, simultaneamente, os valores mínimos para a câmara de espuma previstos nas "Instruções", o valor da largura da câmara de sedimentação será de quatro metros".

Verifica-se, imediatamente, que para valores maiores do que 0,20 para  $\rho$ , mas com  $B_1 = 0,50$  m, a largura da câmara de sedimentação toma valores menores do que quatro metros, fato este muito encontrado nos projetos desta ordem para as nossas cidades do interior. Sí, contudo, para  $\rho = 0,20$ , tomarmos valores de  $B_1 > 0,50$  m, a largura da câmara de sedimentação adquirirá valores maiores do que quatro metros. Na prática de projetos verifica-se isto: para tanques Imhoff pequenos  $\rho$  adquire valores bem maiores do que 0,20, e para tanques grandes  $\rho$  toma valores tendentes para 0,20.

Assim, para  $B_1 > 0,50$  m e  $\rho > 0,20$  a referida largura poderá ser igual, menor ou maior do que quatro metros, dependendo dos valores de  $\rho$  e de  $B_1$ .

10 — *Tanques com Inversão do Escoamento*: combinando as condições (16) (17) e (17a) vem para o valor de  $\theta$  em (15):

$$\theta = \varepsilon (1 - \rho) = 3 (1,0 - 0,2) = 2,4 \quad (26)$$

$$\theta = 6 (1,0 - 0,2) = 4,8 \quad (26a)$$

mostrando que para  $\rho_{\min}$  o tanque fica longo, e, portanto, anti-econômico. Estes tanques raramente são construídos, pelo fato de aumentarem substancialmente o seu custo intrínseco. Além disso, requerem a construção do sistema de inversão do escoamento na câmara de sedimentação. Com esta inversão há um aumento do custo da obra, além de dificultar a operação do tanque. A grande vantagem dos tanques Imhoff é a simplicidade da operação, funcionando quase que pela própria natureza, e qualquer complicação na sua operação deve ser sempre evitada, para que êles cumpram bem com a sua finalidade.

Para este caso, no sentido dos tanques não ficarem extremamente longos, faz-se necessário dar valores bem maiores para  $\rho$  do que o seu valor mínimo.

O estabelecimento do valor de  $\rho$  é, geralmente, feito por um critério vagamente econômico, de tal modo que  $\theta$  fique próximo da unidade.

11 — *Tanques sem Inversão do Escoamento*: combinando as condições (16), (18) e (18a) vem para  $\theta$  em (15):

$$\theta = \varepsilon (1 - \rho) = 2 (1,0 - 0,2) = 1,6 \quad (27)$$

$$\theta = 3 (1,0 - 0,2) = 2,4 \quad (27a)$$

Neste caso, para o valor mínimo de  $\varepsilon$  o tanque se aproxima da forma mais econômica. No caso de um único tanque, a máxima economia seria obtida para

$$\rho = 0,5 \quad (28)$$

fornecendo

$$\theta = 2 (1,0 - 0,5) = 1 \quad (29)$$

que é o quadrado.

Para o valor máximo de  $\varepsilon$ , a forma quadrada (um só tanque) seria obtida para um valor mais alto de  $\rho$ , ou seja de 0,667.

Estes tanques só poderão ter um único poço tronco-piramidal de digestão.

12 — *Tanques com mais de um Poço de Digestão*: combinando as condições (16), (19) e (19a) teremos para  $\theta$ :

$$\theta = 2 (1,0 - 0,2) = 1,6 \quad (30)$$

$$\theta = 6 (1,0 - 0,2) = 4,8 \quad (30a)$$

recaindo, no menor valor de  $\varepsilon$ , no caso anterior, porém, com o inconveniente da inversão do escoamento na câmara de digestão, e com piores condições dadas no caso estudado no parágrafo 10.

Em todos os casos estudados para os valores máximos de  $\varepsilon$ , sempre há o recurso de se aumentar  $\rho$ , porém, parece-nos inconveniente se adotar grandes valores de  $\rho$ , pelo fato de levar o tamanho da câmara de espuma a valores excessivos, conduzindo ao seu volume per capita a um valor além do normalmente adotado pelos projetistas norte-americanos.

Dêste modo, o valor máximo de  $\rho$  deveria ser limitado pelo valor limite superior do volume da câmara de espuma per capita. Entretanto, êste limite superior é discutível. Neste mesmo caso, ainda para o valor máximo de  $\varepsilon$  o tanque conserva uma forma anti-econômica.

As "Instruções" não prevêm valores limites para o volume da câmara de espuma per capita.

13 — *Caso do Tanque Isolado*: para um só tanque isolado estruturalmente do resto da instalação, a forma perimetral mais econômica é a quadrada.

Disto decorre imediatamente que:

$$\theta = 1 \quad (31)$$

que, combinado com as condições (19) e (19a), vem para:

$$\rho = 1 - \frac{\theta}{\varepsilon} = 1,0 - \frac{1}{2} = 0,5 \quad (32)$$

$$\rho = 1,0 - \frac{1}{6} = 0,833 \quad (32a)$$

O segundo valor de  $\rho$  é alto, devendo fornecer um valor grande para o volume da câmara de espuma per capita. Neste caso deve-se ficar em tôrno do valor mínimo de  $\varepsilon$ .

No caso de um só tanque sem inversão do escoamento, e com um só poço de digestão, os valores de  $\rho$  seriam:

$$\rho = 1,0 - \frac{1}{2} = 0,5 \quad (33)$$

$$\rho = 1,0 - \frac{1}{3} = 0,667 \quad (33a)$$

havendo pequena oscilação entre os valores máximo e mínimo de  $\rho$ . Êste talvez seja o tanque mais econômico de todos.

14 — *Caso de Tanques Geminados*: a fórmula que fornece as dimensões linearmente mais econômicas, para um agrupamento lateral de "n" tanques retangulares geminados, é a seguinte:

$$B = \frac{n + 1}{2n} L \quad (34)$$

substituindo L dado em (14) vem:

$$\theta = \frac{2n}{n + 1} \quad (35)$$

que substituído em (15) fornece:

$$\rho = 1 - \frac{2n}{\varepsilon (n + 1)} \quad (36)$$

Para as condições extremas de  $\epsilon$  dadas por (19) e (19a) vem:

$$\rho_1 = 1 - \frac{n}{n+1} \quad (37)$$

$$\rho_2 = 1 - \frac{n}{3(n+1)} \quad (37a)$$

Para  $n = 1$  recaímos no caso anterior.

Para  $n = 2$ , caso muito comum nas nossas pequenas cidades do interior, em que os planos de saneamento são geralmente executados em duas etapas, temos:

$$\rho_1 = -\frac{2}{3} = 0,333 \quad (38)$$

valor êste perfeitamente satisfatório. Neste caso, não há necessidade de se fazer a inversão do escoamento, porém, deve haver um único poço tronco-piramidal de digestão. E, temos para o valor máximo de  $\rho$ :

$$\rho_2 = 1 - \frac{2}{3 \times 3} = 0,778 \quad (38a)$$

sendo já um valor bem alto. Êste caso convém ser abandonado na prática.

Para  $n = 3$  temos:

$$\rho_1 = 1 - \frac{3}{4} = 0,25 \quad (39)$$

$$\rho_2 = 1 - \frac{3}{3 \times 4} = 0,75 \quad (39a)$$

O primeiro valor está próximo do limite mínimo de  $\rho$ , sendo contudo aceitável; o segundo ainda está alto.

O caso da três tanques geminados também é realmente comum nas nossas cidades do interior.

Para  $n = 4$  teremos:

$$\rho_1 = 1 - \frac{4}{5} = 0,20 \quad (40)$$

$$\rho_2 = 1 - \frac{4}{3 \times 5} = 0,733 \quad (40a)$$

O valor mínimo de  $\epsilon$  leva ao valor mínimo de  $\rho$ , no caso de termos quatro tanques geminados. Isto mostra que, além de quatro tanques perimetralmente mais econômicos não se pode usar o valor mínimo de  $\epsilon$ , pois sí assim for, o valor de  $\rho$  não fica mais satisfeito. Para  $n \geq 5$  deve-se então pesquisar o valor de  $\epsilon$  para um dado valor de  $\rho$  que satisfaça às "Instruções". Para o valor mínimo de  $\rho$  teremos para:

$$\epsilon = \frac{2n}{(1-\rho)(n+1)} = \frac{2n}{0,8(n+1)} \quad (41)$$

$$\epsilon = 2,5 \frac{n}{n+1} \quad (41a)$$

Por meio da (41a) determina-se  $\epsilon$ , dando valores para  $n$  maiores ou iguais a cinco. Para valores menores do que cinco os valores de  $\epsilon$  serão diferente dos indicados pelas (19) e (19a).

Na (40a) o valor de  $\rho_2$  igual a 0,733 ainda está muito alto.

15 — *Discussão Final da Equação (36)*: a equação (36) pode tomar a seguinte forma:

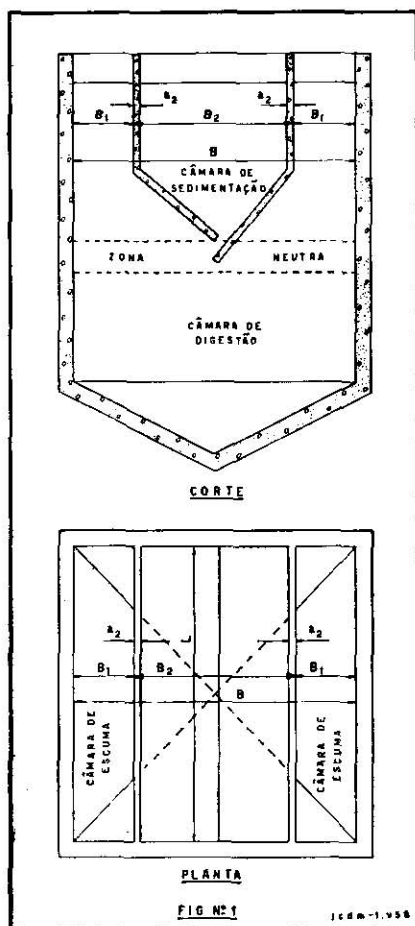
$$\rho = 1 - \frac{2}{\epsilon \left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad (42)$$

Nesta equação, com "n" muito grande vem:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho = 1 - \frac{2}{\varepsilon} \quad (43)$$

mostrando que o valor de  $\rho$  vai depender somente de  $\varepsilon$ . Já vimos que para valores de  $n \geq 5$  a relação  $\rho$  deixa de satisfazer as "Instruções" para o valor mínimo de  $\varepsilon$ . Agora vemos que há um segundo valor mínimo de  $\varepsilon$  abaixo do qual as "Instruções" não são satisfeitas, quando  $n$  é muito grande. Este valor limite é dado por:

$$\varepsilon = \frac{2}{1 - \rho} = \frac{2}{1,0 - 0,20} = 2,5 \quad (44)$$



Então, para um grande agrupamento de tanques Imhoff geminados, do tipo estudado, que satisfaça a condição de máxima economia perimetral, o valor mínimo de  $\varepsilon$  é 2,5. Dêste modo, verifica-se que, a partir de cinco tanques, o valor mínimo de  $\varepsilon$  dado nas "Instruções" não permite se fazer tanques de forma perimetral mais econômica.

16 — *Tanque Imhoff mais Econômico*: este parágrafo serve de introdução a um trabalho que deverá ser publicado nesta revista, e que se refere ao tanque Imhoff mais econômico.

A equação (36) mostra as relações que existem entre o número de tanques, e as relações  $\varepsilon$  e  $\rho$ , para um conjunto de "n" tanques Imhoff geminados e perimetralmente mais econômicos. Entretanto, há um outro fator muito importante na determinação do custo mínimo destes tanques. Quando a superfície total horizontal do tanque varia, a profundidade da câmara de digestão varia em sentido contrário, pelo fato do volume de digestão ser constante para uma determinada população base do tanque. Grandes superfícies horizontais condicionam tanques chatos, e pequenas superfícies horizontais condicionam tanques muito

altos. Estas duas formas são anti-econômicas. Tais variações são reguladas em parte por: a) zona neutra, de altura constante; b) profundidade do poço tronco-piramidal de digestão, cuja altura diminui ou aumenta respectivamente de acôrdo com a diminuição ou aumento da superfície horizontal. Assim, a altura do poço de digestão varia no mesmo sentido da variação da superfície horizontal, sendo, pois um fator contrário ao achatamento excessivo do tanque.

O alargamento da câmara de sedimentação também condiciona o aumento da profundidade da sua parede inclinada, e, portanto, do tanque.

17 — *Conclusões Gerais*: podemos concluir o seguinte, para os tanques Imhoff retangulares e de uma só câmara de sedimentação:

- a — há uma equação definida entre as relações das dimensões horizontais da superfície dos tanques;
- b — a discussão desta equação à luz das normas sanitárias do Estado de São Paulo, mostra que, para alguns valores limites especificados nas mesmas, os tanques resultantes serão de forma anti-econômica;
- c — a mesma discussão mostra que para determinados casos se obtém valores aquém ou além dos valores limites especificados nas referidas normas;
- d — o tanque Imhoff ou um conjunto de tanques Imhoff geminados mais econômicos, dependem de duas grandezas fundamentais: a relação  $\theta$  entre o comprimento e a largura do tanque, e a relação  $\epsilon$  (ou  $\rho$ ), entre o comprimento e a largura da câmara de sedimentação (ou entre a largura total do tanque e a largura total das saídas das câmaras de escuma);
- e — torna-se interessante se efetuar uma revisão das normas, neste ponto, dadas nas "Instruções para Elaboração de Projetos de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários", do Departamento de Obras Sanitárias de São Paulo.

## S U M Á R I O

O Autor neste trabalho estuda a relação existente entre a área da superfície horizontal das câmaras de escuma e a área da superfície horizontal total dos tanques Imhoff, a relação entre o comprimento e a largura da sua câmara de sedimentação, e a relação entre o comprimento e a largura de todo o tanque, estabelecendo uma equação geral de ligação entre estas relações.

Aplica esta equação às normas sanitárias do Estado de São Paulo, e sugere que sejam feitas modificações nestas mesmas normas.

À luz desta equação discute rapidamente o problema dos tanques Imhoff mais econômicos.

O estudo aplica-se à tanques Imhoff retangulares com uma só câmara de sedimentação.

## S U M M A R Y

### THE SURFACE RELATIONS OF THE RECTANGULAR IMHOFF TANKS

The Author studies in this paper the rate of the horizontal surface of the scum chambers to the overall surface of the Imhoff tanks, the rate of the length to the width of its sedimentation chamber, and the rate of the length to the width of the overall tank. He establishes a general equation among these three rates.

He applies this general equation to the São Paulo State sanitary instructions, and suggests that some changes must be done in these instructions.

He discusses, at lighth of this equation, the problem of the minimum cost of the Imhoff tanks.

The study is applied to the one sedimentation rectangular Imhoff tanks.