

Pesquisa Sobre as Principais Características das Rêdes Públicas de Distribuição de Água, Visando sua Estimativa de Custo (*)

GUILLERMO A. ACOSTA ALVAREZ

MANOEL HENRIQUE C. BOTELHO**

1 — PRELIMINARES

Desde algum tempo vem sendo norma das várias entidades financiadoras de obras de saneamento, a realização, como primeira medida para a concessão de um empréstimo, de um estudo preliminar de viabilidade econômico-financeira da obra a ser empreendida.

Este estudo determinará as diretrizes a serem seguidas para a solução do problema sanitário, estimará o custo total das obras, indicará os benefícios a advirem para a comunidade servida e finalmente estudará como poderão os financiadores se ressarcir do empréstimo.

Do exposto, conclui-se que uma correta estimativa de custo de tôdas as obras a empreender, constitui parte importantíssima de um estudo de viabilidade econômico-financeira. Assim sendo, o profissional especializado em saneamento é colocado diante do problema de como orçar, em nível de estudo preliminar, obras de considerável porte e elevado custo, com poucos e às vêzes precários dados. Em situações como esta, o engenheiro é obrigado a analisar casos semelhantes em porte e complexidade ou a suprir esta falta de dados com elementos provenientes da sua experiência profissional.

No que se refere especificamente ao problema de abastecimento de água, a prática nos mostra que partes do sistema podem ter seus custos avaliados com relativa facilidade, enquanto que a estimativa de outras apresenta significativa dificuldade.

Quando o custo de uma obra puder ser explicitado em função de algumas variáveis de fácil determinação, o problema estará levantado. Assim, por exemplo, o custo de um sistema adutor de água, pode ser estimado em função de três variáveis principais: comprimento de tubulação, diâmetro nominal e pressão máxima de serviço. Outro exemplo frisante é constituído pelas estações de tratamento de água convencionais, que podem ter seus custos facilmente estimados, desde que se estabeleça uma relação custo — vazão média de trabalho.

Outras obras podem ter seus custos levantados com pouco mais de incerteza face ao grande número de variáveis intervenientes e a dificuldade em determiná-las convenientemente. Um exemplo disto são os reservatórios, cujo custo é função da sua forma, capacidade, elevação, características geotécnicas do local de implantação e outros. Análogo raciocínio podemos aplicar às estações de captação de água, onde, entre outros fatores formadores do custo, temos: barragens de elevação de nível (quando necessárias), tomada

(*) Trabalho apresentado no XI Congresso da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária — Quito - Equador — Julho de 1968.

(**) Engenheiros da PLANIDRO — Consultores de Engenharia Hidráulica e Sanitária Ltda. — São Paulo - SP.

de água, desarenadores, poços de sucção, casas de bombas, capacidade dos conjuntos elevatórios, equipamento elétrico e outros.

Em um sistema de abastecimento de água, sem dúvida alguma, o maior problema na determinação do custo está na rede de distribuição, seja na implantação ou ampliação. Geralmente, a rede de distribuição constitui 40 a 60% do custo total do sistema (AZEVEDO NETTO — 2), valôr considerável, levando em conta o valôr da inversão.

A grande dificuldade na estimativa de custo desta obra prende-se ao fato de serem inúmeros os elementos influentes nas características gerais da rede de distribuição de água. Entre êstes elementos, podemos citar: configuração da cidade atendida, a sua densidade demográfica, extensão total de ruas, tipo de urbanização, número de reservatórios do sistema, a existência de anéis de refôrço da rede distribuidora sem ligações prediais, rês duplas, critérios usados pelo projetista, etc.

Face a essa situação, o único caminho a seguir na realização de estudos preliminares, seria o de comparar projetos com certa semelhança. Esta tarefa imporã a cada profissional a formação de um grande arquivo de projetos de rês de distribuição para mero efeito comparativo. Outra possibilidade seria a de ter em mãos um estudo estatístico de rês públicas de distribuição de água já projetadas, que relacionasse as características mais importantes da rede de distribuição, estabelecendo as suas principais variáveis, visando a sua estimativa de custo. Êste estudo estatístico sugerido constitui a finalidade do presente trabalho.

2 — OBJETIVOS DA PESQUISA:

O presente estudo se baseia na análise estatística de dados coletados pelos autores, e tem como principais objetivos:

- a) avaliar a extensão total da rede de distribuição necessária para atender a uma população de projeto P, ocupando uma área A e densidade demográfica D, que se considerará completamente atendida.
- b) determinar a distribuição porcentual média dos diversos diâmetros comerciais de tubos na rede avaliada.

3 — COLETA DE DADOS E SELEÇÃO DOS MESMOS:

A coleta de dados, realizada pelos autores, foi efetuada nos arquivos do "DEPARTAMENTO DE OBRAS SANITÁRIAS DA SECRETARIA DOS SERVIÇOS E OBRAS PÚBLICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO", órgão estatal de coordenação de obras de saneamento e em arquivos de várias firmas de projeto e consultoria sediadas em São Paulo.

Inicialmente foram examinados cerca de duzentos e cinquenta projetos de rês públicas de distribuição de água, dos quais foram selecionados cento e trinta e um.

O critério adotado na seleção dêstes projetos foi o de uniformizar as suas principais características, como sejam:

- consumo médio diário "per capita" — 200 l/hab. x dia.
- coeficiente de maior consumo diário — $k_1 = 1,25$.
- coeficiente de maior consumo horário — $k_2 = 1,50$.
- diâmetro comercial mínimo dos tubos componentes da rede de distribuição — 50mm.

Nos projetos analisados foi também rotina o fato de encontrar as características seguintes:

- volume de reserva de água igual a um têtço do máximo consumo diário.
- cálculo da rede de distribuição pelo método de Hardy-Cross, e em alguns casos pelo método do seccionamento.
- adoção dos seguintes diâmetros comerciais de tubos: 50-75-100-125-150-200-250-300-350-400-450 e 500mm.
- população de projeto a ser completada em média vinte anos depois da elaboração do mesmo.

4 — CRITÉRIOS SEGUIDOS NO PRESENTE ESTUDO:

4.1 — Divisão em grupos:

Considerando os objetivos puramente práticos de aplicação do presente trabalho, isto é, o de estimar em função de uma dada população de projeto P e da densidade demográfica D da área abrangida pela rede de distribuição, a extensão total da rede necessária e a distribuição percentual dos diversos diâmetros comerciais de tubos, tomou-se o cuidado de dividir o estudo em função da população de projeto:

Foram assim determinados quatro grupos:

- Primeiro Grupo — 0 a 5 000 habitantes.
- Segundo Grupo — 5 001 a 15 000 habitantes.
- Terceiro Grupo — 15 001 a 50 000 habitantes.
- Quarto Grupo — 50 000 habitantes.

Entre os projetos selecionados, a menor população de projeto encontrada foi de 620 habitantes, sendo que a maior população foi de 507 000 habitantes.

O Primeiro Grupo compreende as chamadas cidades “muito pequenas”. Em geral, os projetos correspondentes a este grupo se referiam à implantação da rede de distribuição, pois cidades deste porte não contavam anteriormente com serviços públicos desta natureza.

No Segundo Grupo estão as cidades denominadas comumente “pequenas”, referentes a projetos de população atendida maior que 5 000 e menor ou igual a 15 000 habitantes. Em alguns casos o projeto significava a implantação do sistema distribuidor, mas, em geral os projetos correspondentes a este grupo eram relativos à reforço, modificação ou ampliação do sistema. No último caso, os dados computados para a formulação do presente estudo no referente à extensão total da rede, compreendem a rede projetada incluindo a existente em bom estado de funcionamento.

O Terceiro Grupo compreende as cidades “médias”, cujos projetos analisados indicavam populações abastecidas futuras entre 15 000 e 50 000 habitantes. Em raríssimos casos os projetos analisados, correspondentes a este grupo, eram referentes à implantação do sistema distribuidor de água.

Quase que na totalidade dos casos observados, os projetos se referiam à ampliação, reforço ou modificação da rede existente. É válida para este caso a observação feita para o grupo anterior, no referente ao significado de extensão total da rede projetada.

No Quarto Grupo se situam as “grandes” cidades, cujos projetos de rede distribuidora de água assinalavam populações abastecidas maiores que 50 000 habitantes. Entre os projetos analisados, a maior população a ser atendida foi de 507 000 habitantes, população estimada para o fim das duas décadas posteriores à elaboração dos mesmos.

Não houve interesse em estender o estudo para valores de população maiores que os indicados, devido a que:

- em caso de cidades com população mais numerosa existe a possibilidade adicional de dividir o traçado da rede em várias zonas de distribuição que com certeza deverão resultar.
- existem grandes dificuldades no sentido de se obter um significativo número de projetos dessa magnitude.
- para cidades maiores, os custos devem ser estimados com uma maior aproximação.

4.2 — Tratamento Estatístico:

Como se fez menção no ítem 1, são inúmeros os fatores que influem no traçado de uma rede de distribuição e em consequência na sua extensão. Entre elas, podemos citar:

- população abastecida,
- área servida,
- tipo de urbanização observada na área a ser atendida,
- outras já citadas.

Ao limitar o estudo apenas em função da população abastecida e da área servida (consequentemente da densidade demográfica), o problema resulta de fácil determinação, constituindo-se esta limitação numa hipótese simplificadora para a rápida solução do mesmo. Levando em consideração a difícil avaliação das demais variáveis em nível de estudo preliminar, esta simplificação nos conduz a um critério prático e aproximado.

Esta pesquisa poderia ser levada a níveis mais avançados com a simples introdução de outras variáveis intervenientes, como seja, o tipo de urbanização, extensão média das ruas e outras. No entanto, isto nos conduziria a um estudo de caráter um pouco acadêmico, o que não teria sentido, uma vez que em nível de estudo preliminar o engenheiro não conseguirá obter estimativa aproximada dessas variáveis.

Os resultados obtidos com a simplificação, face, a estimativa aproximada a que se destina o presente trabalho e a impossibilidade de se adotar outros critérios, podem ser qualificados como perfeitamente utilizáveis.

O estudo de caráter estatístico que se expõe a seguir foi efetuado para cada grupo já mencionado.

Inicialmente, o conjunto de pontos (x, y) correspondentes à função $K = f(P)$ foi colocado em gráfico para ter uma idéia da lei de variação. Cada ponto do gráfico foi associado à densidade demográfica D do projeto representado. Onde:

K — extensão de rede distribuidora necessária para servir a um habitante, medida em metros.

P — população atendida pela rede distribuidora.

D — densidade demográfica da área atendida, expressa em habitantes por hectare.

Com estes elementos se pode sentir que existe uma função matemática $K = f(P, D)$ associada a uma grande variedade estatística que se supõe aleatória, que na verdade reflete a influência das variáveis não levadas em consideração no presente estudo.

Em virtude da existência de “nuvens” de pontos que simplesmente indicavam leis estatísticas de correlação entre K e P , os autores acharam pouco razoável preocupar-se com curvas interpoladoras de grande complexidade matemática tanto de cálculo como de manuseio. Procurou-se então unicamente traçar retas médias que representassem o conjunto de fenômenos em jogo. Na sequência do estudo se comprovará que é este um critério válido, prático e que oferece apreciável aproximação.

Para cada conjunto de pontos foi traçada a “reta média”, obtida pelo MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS, que deverá interpretar o comportamento dos pontos considerados.

Traçada a “reta média”, foram considerados máximos os pontos situados acima da reta e mínimos os pontos situados abaixo da mesma. Para cada conjunto de pontos (máximos e mínimos) determinados pela “reta média”, foi ajustada uma reta, utilizando-se também o MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS. Desta forma, originaram-se duas novas retas: “reta média dos máximos” e “reta média dos mínimos”.

Verificando a densidade demográfica correspondente a cada ponto situado nas proximidades das três retas determinadas conseguiu-se associar a cada reta uma densidade demográfica média D_m .

Para comprovar a validade da função $K = f(P)$ foi calculado para cada grupo o correspondente coeficiente de correlação. Como é sabido, o coeficiente de correlação mede de como a variável “y” é função de “x”, neste caso, como K é função de P .

Quando o coeficiente de correlação é igual à unidade, significa total dependência, e quando igual a zero completa independência entre as variáveis consideradas. Valores intermediários significam que K é função de P e de outras variáveis que também influem na sua determinação. Cabe ressaltar que o estudo estatístico foi realizado por computação eletrônica, para o que contamos com a colaboração do Eng. Walter Del Picchia.

5 — ANÁLISE DE CADA GRUPO — RESULTADOS OBTIDOS:

5.1 — Primeiro Grupo ($P \leq 5\,000$ habitantes).

Para o estudo deste grupo foram utilizados trinta e cinco valores representativos, correspondentes ao mesmo número de projetos.

O coeficiente de correlação encontrado foi de 0,05, valor praticamente nulo. Isto significa que nas cidades "muito pequenas" a variação das características urbanas é de tal ordem que chegam a destruir o critério estatístico adotado. Nestas cidades é comum encontrar grandes áreas centrais desocupadas, maior dispersão da população e outras características não observadas em cidades maiores.

O valor médio de K obtido foi de 2,3 metros de tubo por habitante.

Se bem que estatisticamente não exista a função $K = f(P)$, foi traçada a "reta média" de todos os pontos para dar uma idéia da variação de K com P (Gráfico I).

É de se notar que a inclinação da reta obtida indicada que K decresce com o crescer de P, fato verificado em todas as outras "retas médias".

Para este grupo, a distribuição porcentual média de diâmetros comerciais resultou ser a seguinte:

d (mm)	%
50	74
75	7
100	8
125	4
150	4
200	2
Outros	1
Total	100%

5.2 — Segundo Grupo (5 000 hab. < P ≤ 15 000 hab.)

Foram analisados neste grupo trinta e oito projetos. O coeficiente de correlação obtido para todos os pontos, levando em consideração a função $K = f(P)$ foi de 0,28. Este valor que em outros estudos de caráter estatístico pode ser considerado baixo, neste caso pode ser interpretado como um valor perfeitamente utilizável, tendo em vista:

- a facilidade de coleta e manuseio das variáveis consideradas frente à dificuldade de determinação das outras variáveis.
- que o objetivo do presente trabalho é o de oferecer informações aproximadas sobre as características de redes públicas de distribuição de água.
- o fato de ser a lei $K = f(P)$ uma lei eminentemente estatística, onde entram inúmeras variáveis de difícil avaliação, entre elas por exemplo, os critérios adotados pelo projetista.

O Gráfico II mostra as três retas cuja determinação já foi explicada: a "reta média" a "reta média dos máximos" e a "reta média dos mínimos". Note-se que a inclinação da "reta média" da função $K = f(P)$ mostra o decréscimo de K com o crescer de P. Isto se explica facilmente. As cidades cujos projetos correspondem a este grupo tem características urbanísticas semelhantes. A tendência é de terem todos os terrenos da zona central ocupados. Com a valorização dos mesmos a extensão das frentes de lotes diminui provocando uma maior aglomeração. Crescendo a cidade esta tendência se acentua, originando o decréscimo de K com o crescer de P.

O valor médio achado para K foi de 2,0 metros de tubulação por habitante. A densidade demográfica média associada a cada reta resultou: para a "reta média" 90 habitantes por hectare, para a "reta média dos mínimos" 105 Hab./ha. e para a "reta média dos máximos" 70 hab./ha.

Neste grupo foi verificada a seguinte distribuição porcentual de diâmetros comerciais:

d (mm)	%
50	74
75	8
100	6
125	2
150	4
200	3
250	2
Outros	1
Total	100%

5.3 — Terceiro Grupo (15 000 hab. < P ≤ 50 000 hab.)

Nêste grupo foram pesquisados trinta e cinco projetos. O valôr achado para o coeficiente de correção foi de 0,19. Aplica-se nêste caso raciocínio idêntico ao aplicado no estudo do segundo grupo.

A inclinação da “reta média” correspondente a êste grupo indica também o decrescer de K com o crescer de P.

A “reta média dos máximos” tomou neste caso uma interessante disposição mostrando que K cresce com o crescer de P. Sòmente neste grupo foi verificado êsse fenômeno. Os autores interpretam essa discrepância em relação aos outros valôres encontrados da seguinte forma: os pontos computados, que depois de prévio estudo foram denominados pontos máximos, correspondem a cass particulares de cidades com área urbana bastante espalhada, com traçados dos mais irregulares resultando desta forma valôres díspares para K. Consequentemente esta reta média dos máximos deve ser encarada com reservas.

As densidades demográficas associadas as retas foram:

- reta média — 100 habitantes por hectare.
- reta média dos mínimos — 130 habitantes por hectare.
- reta média dos máximos — 50 habitantes por hectare.

O valor médio de K determinado foi 1,7 metros de tubulação por habitante.

A distribuição porcentual média de diâmetros foi a seguinte:

d (mm)	%
50	66
75	8
100	9
125	2
150	6
200	4
250	4
Outros	1
Total	100%

O professor Lucas Nogueira Garcez (5) em estudo realizado encontrou a distribuição percentual de diâmetros abaixo indicada que é transcrita para efeito comparativo:

d (mm)	%
50 a 60	68
75	9
100	8
125	5
150	4
200	3
Outros	3
Total	100%

Como pode-se observar, os valores achados pelo professor Garcez aproximam-se bastante dos valores obtidos pelos autores para este grupo.

5.4 — Quarto Grupo (P > 50 000 hab.)

Para este grupo foram analisados trinta e um projetos. O coeficiente de correlação resultou igual a 0,20. Os autores são de opinião que são válidos para este grupo os conceitos emitidos por ocasião do estudo do segundo grupo.

Novamente neste caso a “reta média” indica um decréscimo de K com o crescer de P. As densidades demográficas médias associadas às retas resultaram:

- “reta média” — 140 habitantes por hectare.
- “reta média dos mínimos” — 175 habitantes por hectare.
- “reta média dos máximos” — 110 habitantes por hectare.

O valor médio de K calculado foi de 1,4 metros de tubulação por habitante.

A distribuição percentual média de diâmetros comerciais correspondentes a este grupo é a seguinte:

d (mm)	%
50	64
75	9
100	8
125	3
150	5
200	4
250	4
300	1
Outros	2
Total	100%

6. CONCLUSÕES:

6.1 — É sabido que com o crescer das cidades diminui a extensão “per capita” da rede distribuidora.

Uma das principais finalidades deste estudo era estimar quantitativamente esta variação. Para tal apresentamos abaixo um quadro resumido onde para os diversos quadros analisados é mostrada a variação de K. Para melhor interpretação do referido quadro foi adotada a seguinte convenção:

K1 = Valôr médio da extensão de rede em metros por habitante, considerando todos os valôres do grupo.

K2 = Valôr médio de todos os K de um grupo considerando valôres superiores a K1.

K3 = Valôr médio de todos os K de um grupo, considerando os valôres inferiores a K1.

K4 = Valôr máximo de K, encontrado no grupo.

K5 = Valôr mínimo de K, encontrado no grupo.

K	Primeiro Grupo	Segundo Grupo	Terceiro Grupo	Quarto Grupo
(m. tubo/hab.)	$\{ P \leq 5000 \text{ hab.}$	$\{ 5000 < P \leq 15000 \text{ hab.}$	$\{ 15000 < P \leq 50000 \text{ hab.}$	$\{ P > 50000 \text{ hab.}$
K1	2,3	2,0	1,7	1,4
K2	3,1	2,4	2,3	1,5
K3	1,6	1,4	1,1	0,9
K4	4,0	3,7	3,4	2,4
K5	1,1	0,6	0,6	0,6

6.2 — A presente pesquisa permite também determinar a variação de porcentagem do uso do diâmetro mínimo comercial nas redes de distribuição. Como se esperava com o crescer das cidades diminui a porcentagem de utilização desse diâmetro (50mm).

Apresenta-se a seguir um quadro demonstrativo dessa variação:

	Primeiro Grupo	Segundo Grupo	Terceiro Grupo	Quarto Grupo
Frequência percentual de uso de tubulação de diâmetro mínimo (50mm)	74	74	66	64

6.3 — No que se refere ao uso dos gráficos I, II, III e IV, a determinação de K pode apresentar uma pequena contradição, quando o valôr de P coincide com a população final do gráfico, ou seja coincide com a população inicial do gráfico imediatamente posterior. Nesses casos poder-se-ia obter valôres dispares para K. Recomendam os autores que seja efetuada a média entre os valôres obtidos em cada gráfico.

6.4 — Os dados obtidos referem-se a projetos de redes de distribuição de água para cidades brasileiras executados por firmas projetistas e consultoras nos últimos vinte anos. Seria interessante que fôssem efetuados estudos idênticos para cidades de outros países americanos para confronto dos resultados.

6.5 Os autores tem a certeza de que esta pesquisa é uma honesta contribuição para o conhecimento das características gerais das redes públicas de distribuição de água, mas estão longe de supor que esgote os assuntos tratados. Considerando por outro lado a importância de uma estimativa correta do custo da rede de distribuição face ao seu alto custo porcentual, os autores são de opinião que este estudo deve ser enriquecido e ampliado com a coleta de maior número de dados e com a análise de outras variáveis intervenientes. Assim sendo os autores colocam-se a disposição de todos os sanitaristas para o fornecimento dos dados estatísticos computados para o presente trabalho.

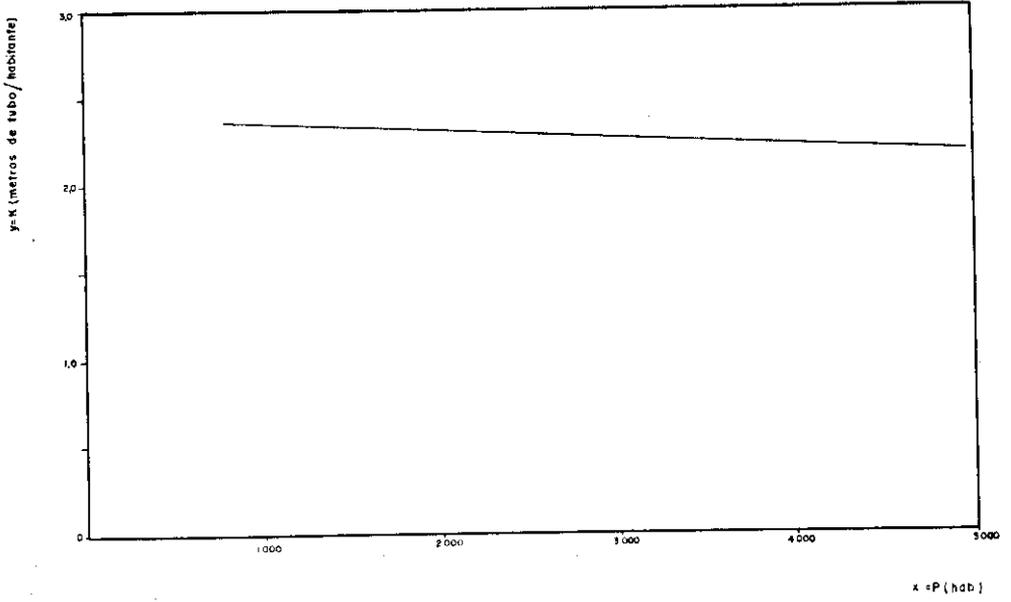


Gráfico I

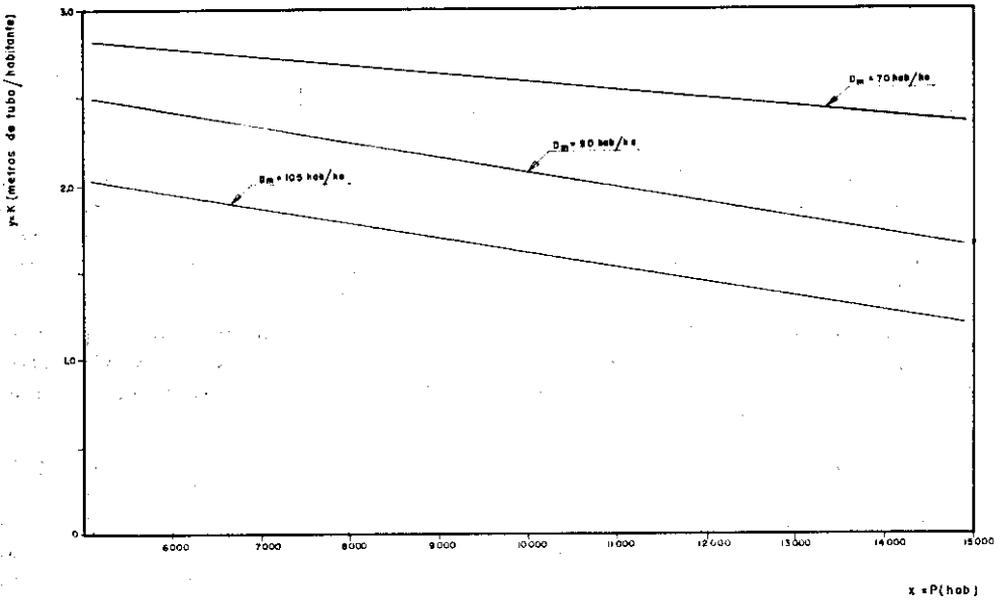


Gráfico II

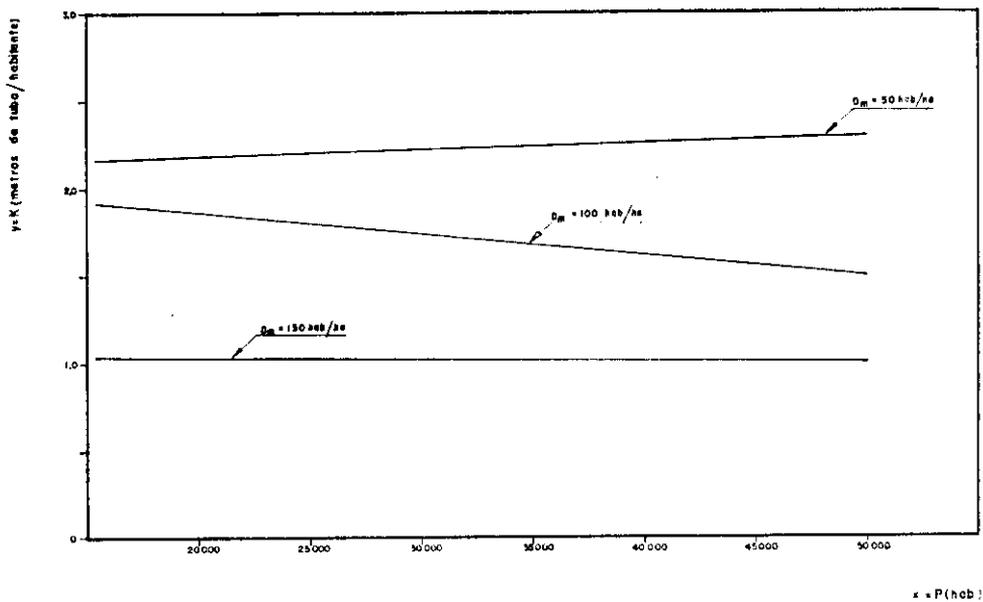


Gráfico III

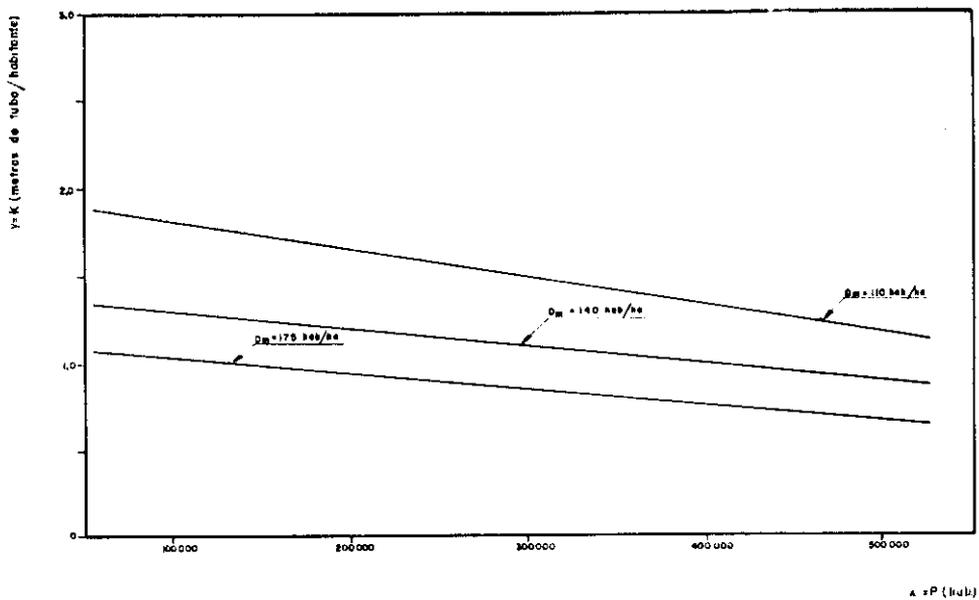


Gráfico IV

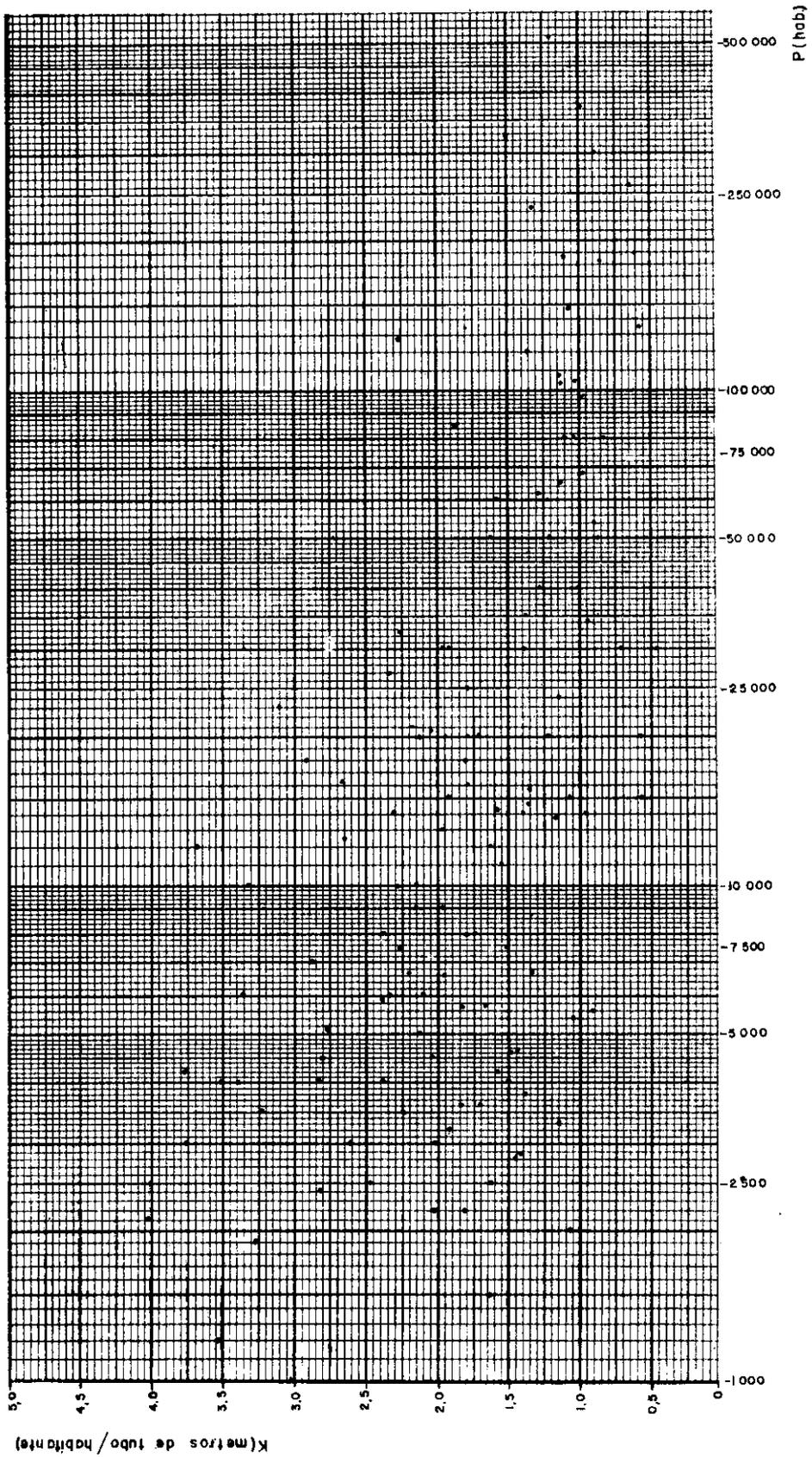


Gráfico V

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:

- 1 — AGUIAR DA SILVA LEME, RUI — "Curso de estatística" — Editora Ao Livro Técnico — Rio de Janeiro — 1963.
- 2 — AZEVEDO NETTO, JOSÉ M. — "Estimativa dos custos de construção" — III Curso de Administración y Financiamiento de Abastecimiento de Agua. — Faculdade de Higiene e Saúde Pública do Estado de São Paulo, São Paulo, Abril — 1961.
- 3 — AZEVEDO NETTO, JOSÉ M. — "Manual de Hidráulica" — Editora Edgard Blucher — São Paulo — 1966.
- 4 — COUTINHO, ATAULPHO — TOURASSE, ENIO — "Custo de obras de abastecimento de água" — III Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária — Curitiba — 1965.
- 5 — GARCEZ, LUCAS NOGUEIRA — "Estimativa dos custos de construção" — Seminário sobre projetos de sistemas públicos de abastecimento de água — Faculdade de Higiene e Saúde Pública do Estado de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Organização Pan-Americana da Saúde e Organização dos Estados Americanos — São Paulo — 1963.
- 6 — MARTINS, JOSE AUGUSTO — "Contribuição para o estudo das canalizações secundárias das Rêdes de distribuição de água potável" — Tese, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo — São Paulo — 1963.
- 7 — MARTINS, JOSÉ AUGUSTO — "Limites de velocidade e pré-dimensionamento de condutos principais das Rêdes de distribuição de água potável. Condições de mínimo custo" — Tese, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo — São Paulo — 1966.
- 8 — SPIEGEL, MURRAY R. — "Estatística" — Editora Ao Livro Técnico — Rio de Janeiro — 1967.
- 9 — YASSUDA, EDUARDO R. — "Contribuição para o estudo das vazões de distribuição em rêdes de água potável" — Tese, Faculdade de Higiene e Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo — 1960.