

II SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
SALVADOR-BAHIA - 26 A 29 DE AGOSTO DE 1986

OTIMIZAÇÃO DAS LINHAS DE RÉCALQUE DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DO PLANO DIRETOR  
DE ESGOTOS DA CIDADE DO SALVADOR

Engº Luiz Carlos Petelinkar  
Engº Murilo Magalhães Oliveira

SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO: COLETA, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

TECNOSAN ENGENHARIA S/A.  
Av. Antonio Carlos Magalhães, 1034  
Edif. Pituba Parque Center - SALVADOR/BAHIA

PETELINKAR, Luiz Carlos e OLIVEIRA, Murilo Magalhães

OTIMIZAÇÃO DAS LINHAS DE RECALQUE DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DO PLANO DIRETOR  
DE ESGOTOS DE SALVADOR

O trabalho apresenta a metodologia utilizada na otimização de linhas de recalque de estações elevatórias de esgoto, estabelecendo-se uma expressão que fornece os diâmetros econômicos. Esta expressão é comentada e comparada com a fórmula de Bresse.

OTIMIZAÇÃO DAS LINHAS DE RECALQUE DAS ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS  
DO PLANO DIRETOR DE ESGOTOS DA CIDADE DO SALVADOR

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi concebido e desenvolvido, visando o pré-dimensionamento de estações elevatórias de esgotos, e otimização de linhas de recalque, pertinentes ao Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de Salvador e Revisão e Atualização do Planejamento de Esgotamento Sanitário existente, no ano de 1984.

O Plano Diretor, analisa no contexto global, três alternativas de esgotamento para a Região Metropolitana de Salvador, sendo que cada alternativa, abrange entre outros estudos, uma série de estações elevatórias e correspondentes linhas de recalque. São objeto de análise, e aplicação da metodologia a ser exposta, apenas as estações elevatórias denominadas de reversão, as quais esgotam uma ou mais sub-bacias, recalcando para uma sub-bacia adjacente situada imediatamente a jusante no sistema de esgotamento proposto.

As elevatórias ditas de elevação no Plano Diretor, não são aqui consideradas, pois apenas procedem a elevação dos esgotos, não possuindo linhas de recalque.

As estações elevatórias e correspondentes linhas de recalque, a serem analisadas, são em número de 35, e têm suas vazões máximas de projeto compreendidas entre 264  $\ell/s$  a 6 930  $\ell/s$ . Em face destes valores, fez-se necessária a adoção de uma análise que procedesse ao cotejamento técnico-econômico entre alternativas, que comparasse custos com aquisição e assentamento de tubulações e os custos com o dispêndio de energia elétrica.

Para tanto, foi elaborada uma metodologia, fundamentada em parâmetros técnicos e econômicos, com o auxílio de equipamento programável.

Em 1984, os valores de custos em cruzeiros foram convertidos para ORTN, referente à do mês maio. Nesta oportunidade, 1986, os custos foram atualizados para cruzados e transformados em OTN.

## 2. METODOLOGIA

A análise técnico-econômica das elevatórias e correspondentes linhas de recalque compreende duas etapas distintas e sequentes.

Inicialmente, são conhecidas:

- . estação elevatória com suas vazões afluentes, máxima e média
- . desnível geométrico a ser vencido
- . extensão da linha de recalque.

As equações que permitem a resolução deste problema, são:

$$Q = v \cdot S = v \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = K \frac{Q^2}{D^5}$$

A fórmula de BRESSE,  $D = K \sqrt[5]{Q}$  permite a obtenção de um diâmetro nominal base, contudo, a gama de valores que pode ser atribuída a K, é muito extensa, 0,7 a 1,5, decorrendo disso uma variação muito extensa nos diâmetros a serem pesquisados.

Esta metodologia, propõe, que com a vazão máxima e uma velocidade de escoamento pré-fixada, se determine o diâmetro nominal que irá servir de base no cotejamento econômico. Definido o diâmetro nominal base, no entorno deste, escolhem-se mais alguns diâmetros nominais, que irão compor o estudo.

Define-se então, para cada diâmetro nominal:

$\Delta H$ (m)	=	perda de carga distribuída
$\Delta h$ (m)	=	perda de carga localizada
H (m)	=	altura manométrica total
BHP (HP)	=	potência consumida pela bomba
N (ud)	=	nº de bombas
P (CV)	=	potência dos motores

modelo dos conjuntos elevatórios.

Destarte, conhecidas as vazões unitárias das bombas e o número de bombas, são caracterizadas as etapas de implantação dos conjuntos elevatórios, definindo-se as correspondentes alturas manométricas.

Concluída a primeira etapa de definição de parâmetros técnicos, a segunda etapa vai definir os valores relativos a dispêndios.

Para tanto, foi empregado processo computacional, onde tem-se como dado de entrada:

- . nome da elevatória e alternativa  $\bar{a}$  que pertence;
- . nome do emissário correspondente;
- . número de alternativas (NA), que define os diferentes diâmetros analisados;
- . ano inicial da 1ª etapa, que identifica o primeiro ano de operação do sistema;
- . número de etapas da estação de recalque (NE), que identifica as etapas de implantação dos conjuntos elevatórios;
- . caracterização destas etapas em função do ano final de operação, vazão total de bombeamento ( $Q_b$ ), e altura manométrica (H);
- . quadro de vazões médias ano a ano e,
- . quadro de custos das tubulações onde são mostradas as diferentes alternativas de implantação das tubulações; com os anos e custos correspondentes em OTN.

Os dados de saída, apresentam consoante as alternativas de diâmetros analisadas, os custos referentes a tubulações, custos com energia e custos totais.

Estes custos, são mostrados em valores presentes, e em OTN, sendo o valor presente obtido a partir da seguinte expressão:

$$VP = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Sendo: VP = fator de redução ao valor presente  
i = taxa de juros anual, considerada igual a 11%  
n = (ano considerado-ano base), sendo o ano base aqui suposto 1987, o ano anterior ao qual o projeto, quando implantado começa a proporcionar incrementos na população beneficiada ou no volume faturável.

### 3. CONDICIONANTES E COMPOSIÇÃO DE CUSTOS

Os condicionantes técnicos e a composição dos custos unitários utilizados na análise técnico-econômica são explicitados no seguimento.

#### 3.1 CONDICIONANTES TÉCNICOS

Os parâmetros técnicos merecedores de explicação acessória à sua obtenção são os seguintes:

- . velocidade de escoamento
- . perda de carga localizada na elevatória
- . perda de carga distribuída no emissário
- . rendimento dos conjuntos elevatórios
- . capacidade tipo e quantidade das bombas

##### 3.1.1 Velocidade de Escoamento

A velocidade de escoamento na linha de recalque, determina o diâmetro nominal base, empregado no cotejamento.

O valor da velocidade utilizado neste estudo é de 2,5 m/s, valor este, que à luz dos resultados obtidos, foi bastante satisfatório como primeira tentativa.

##### 3.1.2 Perdas de Carga Localizadas

As perdas de carga localizadas nos barriletes das estações elevatórias foram supostas constantes e admitidas com o valor de 2,0m.

Em estações elevatórias bem dimensionadas, as perdas de carga localizadas dificilmente superam esse valor pré-estabelecido, configurando-se portanto que o mesmo é bem conservador.

##### 3.1.3 Perdas de Carga Distribuídas

As perdas de carga distribuídas nas linhas de recalque são obtidas a partir

da fórmula universal, com o fator  $f$  explícito da seguinte forma, proposto por P. Konakov, segundo informa Nekrassov:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{K}{3,71 D} + \frac{5,62}{Re^{0,9}} \right)$$

Substituindo-se o valor de  $f$  na fórmula universal:

$$\Delta H = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Tem-se:

$$\Delta H = 0,02 \frac{Q^2}{D^5} L \left[ \log \left( \frac{K}{3,71 D} + 1,8 \times 10^{-5} \frac{D^{0,9}}{Q^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

Sendo:

- $\Delta H$  = perda de carga distribuída (m)
- $Q$  = vazão (m<sup>3</sup>/s)
- $D$  = diâmetro da tubulação (m)
- $K$  = rugosidade uniforme equivalente (m)

Esta expressão é válida para:

$$4 \times 10^3 \leq Re \leq 10^6$$

$$10^{-5} \leq K/D \leq 10^{-2}$$

Foi adotado para  $K$ , o valor de 0,0002m, considerando-se, que as tubulações de recalque são classificadas conforme o material de fabricação, consoante a P-NB-591/77 em:

- . Tubos de ferro fundido novo, com revestimento interno com argamassa de cimento e areia obtida por centrifugação com ou sem proteção de tinta à base de betume.
- . Tubo de aço com revestimento com argamassa de cimento obtida por centrifugação.

A relação K/D para os diâmetros envolvidos neste estudo é a seguinte:

	K/D		K/D
DN 200	0,001000	DN 700	0,000286
DN 250	0,000800	DN 800	0,000250
DN 300	0,000667	DN 900	0,000222
DN 400	0,000500	DN 1000	0,000200
DN 450	0,000444	DE 1320	0,000152
DN 500	0,000400	DE 1372	0,000146
DN 600	0,000333	DE 1524	0,000131

#### 3.1.4 Rendimento dos Conjuntos Elevatórios

O rendimento dos conjuntos elevatórios está relacionado diretamente com a potência do motor e com o custo de energia elétrica, como pode-se observar na composição do supracitado custo, no seguimento.

Estabeleceu-se para esta análise, um rendimento global de 75% para todos os conjuntos motor-bomba, valor este, bastante otimizado.

#### 3.1.5 Capacidade Tipo e Quantidade das Bombas

A capacidade instalada total dos conjuntos elevatórios, deve ser suficiente para recalcar a vazão máxima afluenta à elevatória, além de fornecer garantia de reserva operacional ao sistema.

A escolha da quantidade, capacidade e flexibilidade dos conjuntos elevatórios, será efetuada de modo a atender às evoluções de vazões afluentes às elevatórias, para cada uma das etapas de projeto, e verificadas as condições de operação no início do plano.

Para as elevatórias de elevação, de menor porte, foi adotado um mínimo de dois conjuntos motor-bomba para início de plano, sendo um de reserva. As elevatórias de reversão, de maior porte, comportarão um número maior de conjuntos inicialmente. Estes, serão definidos, principalmente, segundo a disponibilidade das bombas existentes no mercado nacional. Esta mesma disponibilidade de equipamentos, norteará a concepção das elevatórias,



quanto ao emprego de poço úmido ou poço seco. Admite-se apenas nesta análise que as bombas tenham rotação constante.

A pré-seleção dos conjuntos elevatórios será efetuada considerando-se os seguintes parâmetros para determinação das alturas geométricas:

- nível máximo do poço de sucção igual à cota da soleira do interceptor ou coletor tronco afluente;
- nível mínimo do poço de sucção situado um metro abaixo do nível máximo.

### 3.2 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS

A composição de custos unitários, bem como, estabelecimento de critérios, para os serviços de assentamento de tubulações de recalque são apresentados a seguir.

Apresenta-se também a composição para o cálculo dos custos com dispêndio de energia elétrica.

#### 3.2.1 Custos com Energia Elétrica

A potência consumida em cada elevatória, em kWh:

$$P_c = \frac{Q_b \times H}{75 \times 0,75} \times 0,735 = 13,1 \times 10^{-3} Q_b \cdot H \text{ (kWh)}$$

Sendo:

$$\begin{aligned} Q_b &= \text{vazão de bombeamento (l/s)} \\ H &= \text{altura manométrica (m)} \end{aligned}$$

O tempo de bombeamento diário, em horas:

$$T = \frac{Q_i}{Q_b} \times 24 \text{ (h)}$$

Sendo:

$$Q_i = \text{vazão afluente média à elevatória (l/s)}$$

O consumo anual de energia em kWh:

$$E = P_c T = 13,1 \times 10^{-3} Q_b \cdot H \times 24 \frac{Q_i}{Q_b} \times 365$$

$$E = 114,76 Q_i H \text{ (kWh)}$$

A potência instalada, considerando-se um fator de serviço de 1,15:

$$P = 1,15 P_c = 15,07 Q_b \cdot H$$

O custo total de energia no ano "i", por metro de recalque:

$$C_i = 114,76 Q_i C_c + 15,07 \times 10^{-3} Q_b \cdot 12 \cdot C_d$$

Sendo:

$C_c$  = custo de energia de consumo

$C_d$  = custo de energia de demanda

As tarifas de energia elétrica, segundo a portaria nº 18, de 29/01/86 para o sub-grupo A4, de 2,3 KV a 13,8 KV são:

$$C_d = \text{Cr\$ kW } 64 \text{ 773}$$

$$C_c = \text{Cr\$ MWh } 232 \text{ 996}$$

Transformando-se tais valores para cruzados na paridade de Cz\$1,00 igual a Cr\$1.000,00 tem-se:

$$C_d = \text{Cz\$ kW } 64,77$$

$$C_c = \text{Cz\$ MWh } 232,99$$

Passando agora de cruzados para OTN e dolares, tem-se:

$$1 \text{ OTN} = \text{Cz\$}106,40$$

$$\text{US\$}1,00 = \text{Cz\$}13,77$$

$$C_d = \text{OTN kW } 0,609 = \text{US\$ kW } 4,70$$

$$C_c = \text{OTN MWh } 2,190 = \text{US\$ MWh } 16,92$$

Portanto, tem-se:

$$C_i = 0,251 Q_i + 0,110 Q_b \text{ (OTN)}$$

$$C_i = 1,942 Q_i + 0,850 Q_b \text{ (US\$)}$$

### 3.2.2 Custos com Serviços

Inicialmente, apresentam-se os critérios que foram utilizados para quantificar os diferentes serviços, referentes ao assentamento das tubulações.

Foram consideradas tubulações de F9F9 ductil, série K-7, com ponta e bolsa, para as linhas de recalque com diâmetros compreendidos entre 300mm e 1200mm.

Para as linhas de recalque cujos diâmetros ultrapassem a 1200mm, as tubulações são em aço carbono, juntas soldadas, fabricados conforme norma API.

#### 3.2.2.1 Critérios para Composição de Serviços

##### 3.2.2.1.1 Tubulações em F9F9 ductil

###### a) Retirada e reposição de pavimentação

$$\text{Largura da vala} = \text{DN} + 0,80$$

Considerar que 20% da vala é pavimentada

$$\text{Retirada e reposição} = (0,20 \text{ DN} + 0,16) \text{ [m}^2\text{]}$$

###### b) Escavação mecanizada

$$\text{Largura da vala} = \text{DN} + 0,80$$

$$\text{Profundidade da vala} = \text{DN} + 1,0$$

$$\text{Escavação mecanizada} = (\text{DN}^2 + 1,8 \text{ DN} + 0,8) \text{ [m}^3\text{]}$$

###### c) Escoramento tipo descontínuo

$$\text{Profundidade da vala} = \text{DN} + 1,0$$

Admite-se que 70% das valas serão escoradas

$$\text{Escoramento tipo descontínuo} = (1,4 \text{ DN} + 1,4) \text{ [m}^2\text{]}$$

d) Esgotamento de vala

Produção = 1000 m/mês

Horas de bombeamento = 120 h/mês

Número de bombas = 1/500m = 2 bombas

Horas de bombeamento/m =  $\frac{120 \times 2}{1000} = 0,24$  [h]

e) Lastro de brita

Espessura do lastro de brita = 0,15m

Admite-se lastro de brita em toda a extensão da vala

Volume do lastro de brita =  $(0,15 DN + 0,12)$  [m<sup>3</sup>]

f) Transporte do material escavado

Compreende o transporte da brita para o local de assentamento e o transporte do excedente escavado para o bota-fora.

Volume do material transportado =  $\frac{(\pi DN^2 + 0,15 DN + 0,12)}{4}$  [m<sup>3</sup>]

g) Reaterro com apiloamento

Reaterro com apiloamento = vol. de escavação -  $\pi DN^2/4 - 0,15 DN - 0,12$   
=  $(0,21 DN^2 + 1,65 DN + 0,68)$  [m<sup>3</sup>]

h) Tapumes e Sinalização

Considerar tapume e sinalização, com reaproveitamento, em ambos os lados da vala

Tapumes e sinalização = 2,0 [m]

3.2.2.1.2 Tubulações em aço carbono

Os serviços das tubulações de F9F9 dúctil, discriminados nos sub-ítem "a", "b", "c", "d" e "h" são comuns às tubulações de aço.

i) Lastro de brita

Espessura do lastro de brita =  $0,20 + DN/4$

Admite-se lastro de brita em toda a extensão da vala

Volume do lastro de brita =  $(0,25 DN^2 + 0,40 DN + 0,16)$  [m<sup>3</sup>]

j) Transporte do material escavado

Compreende o transporte da brita para o local de assentamento e o transporte do excedente escavado para o bota-fora.

$$\text{Volume do material transportado} = \frac{(\pi DN^2 + 0,25 DN^2 + 0,40DN + 0,16)}{4} [m^3]$$

k) Reaterro com apiloamento

$$\text{Reaterro com apiloamento} = \text{vol. de escavação} - \frac{\pi DN^2}{4} - 0,25$$

$$DN^2 - 0,40DN - 0,16 = (1,40DN + 0,64 - 0,4DN^2) [m^3]$$

l) Proteção Catódica

Os custos com a proteção catódica das tubulações de aço, foram obtidos a partir de orçamentos de projetos existentes, devido à impossibilidade de avaliação mais minuciosa.

Admitiu-se também, um preço único para diferentes diâmetros, por metro linear de tubulação.

m) Assentamento da tubulação

Considerou-se como custo de assentamento, 5% do custo do fornecimento do material.

### 3.2.2.2 Composição de Custos Unitários

A composição de custos unitários de assentamento dos emissários foi elaborada fundamentando-se nas tabelas de preços da PINI SISTEMAS, da EMBASA, e também em tabelas de revistas especializadas, estando incluído nos mesmos, uma taxa de leis sociais de 96,7 %.

Os custos das tubulações foram fornecidos pelos fabricantes.

O quadro 1, Composição de Custos Unitários de Emissários, apresentado no seguimento, mostra para cada diâmetro, conforme o material, de que é constituída a tubulação, os custos considerados.

QUADRO 1 - COMPOSIÇÃO DE CUSTOS UNITÁRIOS DE EMISSÁRIOS

DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	CUSTO UNIT. (OTN)	DN 300		DN 400		DN 450		DN 500		DN 600		DN 700		DN 800		DN 900		DN 1000		DN 1200	
		QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO
Retirada e reposição de pavimento	1,50	0,22	0,33	0,24	0,36	0,25	0,38	0,26	0,39	0,28	0,42	0,30	0,45	0,32	0,48	0,34	0,51	0,36	0,54	0,40	0,60
Escavação mecanizada	0,07	1,43	0,10	1,68	0,12	1,81	0,13	1,95	0,14	2,24	0,16	2,55	0,18	2,88	0,20	3,23	0,23	3,60	0,25	4,40	0,31
Escoramento tipo descontinuo	0,45	1,82	0,82	1,96	0,88	2,03	0,91	2,10	0,94	2,24	1,01	2,38	1,07	2,52	1,13	2,66	1,20	2,80	1,26	3,08	1,30
Esgotamento de vala	0,25	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06
Lastro de brita	1,66	0,17	0,28	0,18	0,30	0,19	0,31	0,20	0,33	0,21	0,35	0,23	0,38	0,24	0,40	0,26	0,43	0,27	0,45	0,30	0,50
Transporte de material escavado	0,05	0,24	0,01	0,31	0,02	0,35	0,02	0,39	0,02	0,49	0,02	0,61	0,03	0,74	0,04	0,89	0,04	1,06	0,05	1,43	0,07
Reaterro com apiloamento	0,27	1,19	0,32	1,37	0,37	1,47	0,40	1,56	0,42	1,75	0,47	1,94	0,52	2,13	0,58	2,34	0,63	2,54	0,69	2,96	0,80
Tapumes e sinalização	0,12	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24
Assentamento da tubulação		1,00	0,20	1,00	0,25	1,00	0,30	1,00	0,36	1,00	0,48	1,00	0,55	1,00	0,63	1,00	0,71	1,00	0,79	1,00	0,95
Fornecimento da tubulação		1,00	6,53	1,00	10,40	1,00	12,50	1,00	14,26	1,00	18,75	1,00	21,96	1,00	29,89	1,00	36,62	1,00	41,55	1,00	52,85
TOTAL ( OTN / m )			8,89		13,00		15,25		17,16		21,96		25,44		33,65		40,67		45,68		57,77

QUADRO RESUMO

DIÂMETRO	CUSTO / m.	
	OTN	DOLAR
300	8,89	68,72
400	13,00	100,49
450	15,25	117,88
500	17,16	132,65
600	21,96	169,75
700	25,44	196,65
800	33,65	260,11
900	40,67	314,38
1000	45,88	354,65
1200	57,77	446,56
1321	60,52	467,82
1372	62,82	485,60
1524	74,92	579,13

DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	CUSTO UNIT. (OTN)	DE 1321		DE 1372		DE 1524	
		QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO	QUANT.	CUSTO
Retirada e reposição de pavimento	1,50	0,42	0,63	0,43	0,64	0,46	0,69
Escavação mecanizada	0,07	4,92	0,34	5,15	0,36	5,87	0,41
Escoramento tipo descontinuo	0,45	3,25	1,4	3,32	1,49	3,53	1,59
Esgotamento de vala	0,25	0,24	0,06	0,24	0,06	0,24	0,06
Lastro de brita	1,66	1,12	1,86	1,18	1,96	1,35	2,24
Transporte de material escavado	0,05	2,49	0,12	2,66	0,13	3,17	0,16
Reaterro com apiloamento	0,27	2,42	0,65	2,48	0,67	2,68	0,72
Tapumes e sinalização	0,12	2,00	0,24	2,00	0,24	2,00	0,24
Assentamento da tubulação		1,00	2,61	1,00	2,71	1,00	3,26
Fornecimento da tubulação		1,00	52,11	1,00	54,12	1,00	65,11
Proteção catódica	0,44	1,00	0,44	1,00	0,44	1,00	0,44
TOTAL ( OTN / m )			60,52		62,82		74,92

## 4. CONCLUSÕES

### 4.1 Retas Características

O cotejamento técnico-econômico dos 35 emissários por recalque, apresentou, consoante as vazões máximas de projeto, os diâmetros mostrados no quadro 2.

Estes 35 pares de valores, plotados em papel logaritmico permitem a assimilação a uma reta, analogamente à fórmula de Bresse, da seguinte forma:

$$D = K Q^a$$
$$\log D = a \log Q + \log K$$

Fazendo:

$$\log D = y$$

$$\log Q = x$$

$$\log K = a$$

Tem-se:  $Y = a x + b$

O quadro 2 mostra também o método de regressão linear proposto, que conduz aos seguintes parâmetros:

$$a = \frac{N (\Sigma x y) - (\Sigma x) (\Sigma y)}{N \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$a = \frac{35 (2,2339) - (0,0386) (-5,8582)}{35 \times 5,6864 - (0,0386)^2} = 0,394$$

$$b = \frac{(\Sigma y) (\Sigma x^2) - (\Sigma x) (\Sigma x y)}{N \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{(-5,8582) (5,6864) - (0,0386) (-5,8582)}{35 \times 5,6864 - (0,0386)^2} = -0,166$$

QUADRO 2 - DIAMETROS ECONÔMICOS E REGRESSÃO LINEAR

Q(m <sup>3</sup> /s)	DN(m)	Log.Q = X	Log.DN=Y	X <sup>2</sup>	X.Y	K
0,26358	0,40	-0,5791	-0,3979	0,3354	0,2304	0,78
0,27501	0,40	-0,5607	-0,3979	0,3144	0,2231	0,76
0,30756	0,40	-0,5121	-0,3979	0,2622	0,2038	0,72
0,31952	0,40	-0,4955	-0,3979	0,2455	0,1972	0,71
0,30308	0,45	-0,5184	-0,3468	0,2687	0,1798	0,82
0,35787	0,45	-0,4463	-0,3468	0,1992	0,1548	0,75
0,36697	0,45	-0,4354	-0,3468	0,1896	0,1510	0,74
0,41750	0,45	-0,3793	-0,3468	0,1439	0,1315	0,70
0,40056	0,50	-0,3973	-0,3010	0,1578	0,1196	0,79
0,43910	0,50	-0,3574	-0,3010	0,1277	0,1076	0,75
0,51170	0,50	-0,2910	-0,3010	0,0847	0,0876	0,70
0,52767	0,50	-0,2776	-0,3010	0,0771	0,0836	0,69
0,52767	0,60	-0,2776	-0,2218	0,0771	0,0616	0,83
0,52767	0,60	-0,2776	-0,2218	0,0771	0,0616	0,83
0,59607	0,60	-0,2247	-0,2218	0,0505	0,0498	0,78
0,62851	0,70	-0,0817	-0,1549	0,0067	0,0127	0,77
0,68464	0,70	-0,0532	-0,1549	0,0028	0,0082	0,74
1,21809	0,70	0,0857	-0,1549	0,0073	-0,0133	0,63
1,31577	0,70	0,1192	-0,1549	0,0142	-0,0185	0,61
1,52728	0,70	0,1839	-0,1549	0,0338	-0,0285	0,57
1,48273	0,80	0,1711	-0,0969	0,0293	-0,0166	0,66
1,48273	0,80	0,1711	-0,0969	0,0293	-0,0166	0,66
1,48273	0,80	0,1711	-0,0969	0,0293	-0,0166	0,66
1,71633	0,80	-0,2346	-0,0969	0,0550	-0,0227	0,61
1,74192	0,80	0,2410	-0,0969	0,0581	-0,0234	0,61
1,82747	0,80	0,2619	-0,0969	0,0686	-0,0254	0,59
1,87662	0,80	0,2734	-0,0969	0,0747	-0,0265	0,58
1,87662	0,90	0,2734	-0,0458	0,0747	-0,0125	0,66
2,04876	0,90	0,3115	-0,0458	0,0970	-0,0143	0,63
2,01040	1,00	0,3033	0,0000	0,0920	0,0000	0,71
2,79850	1,00	0,4469	0,0000	0,1997	0,0000	0,60
4,39611	1,20	0,6431	0,0792	0,4136	0,0509	0,57
5,44419	1,37	0,7359	0,1367	0,5415	0,1006	0,59
5,44419	1,37	0,7359	0,1367	0,5415	0,1006	0,59
6,92690	1,52	0,8405	0,1818	0,7064	0,1528	0,58
		ΣX = 0,0386	ΣY = -5,8582	ΣX <sup>2</sup> 5,6864	ΣX.Y = 2,2339	



Portanto, a equação da reta para os 35 pares de valores considerados é:

$$y = 0,394 x - 0,166$$

Esta equação conduz a:

$$a = 0,394$$

$$b = \log k = - 0,166$$

$$K = 0,68$$

Portanto, a expressão que fornece o diâmetro econômico, para os emissários analisados é a seguinte:

$$D = 0,68 Q^{0,39}$$

Na figura 1, podem ser visualizadas, a reta S que representa a expressão acima, juntamente com as retas B1 e B2. Estas, representam a equação de Bresse,  $D = K\sqrt{Q}$ , respectivamente para K igual 0,7 e 1,5, considerados estes, os extremos valores que K pode assumir na referida fórmula.

## 4.2 Constatações

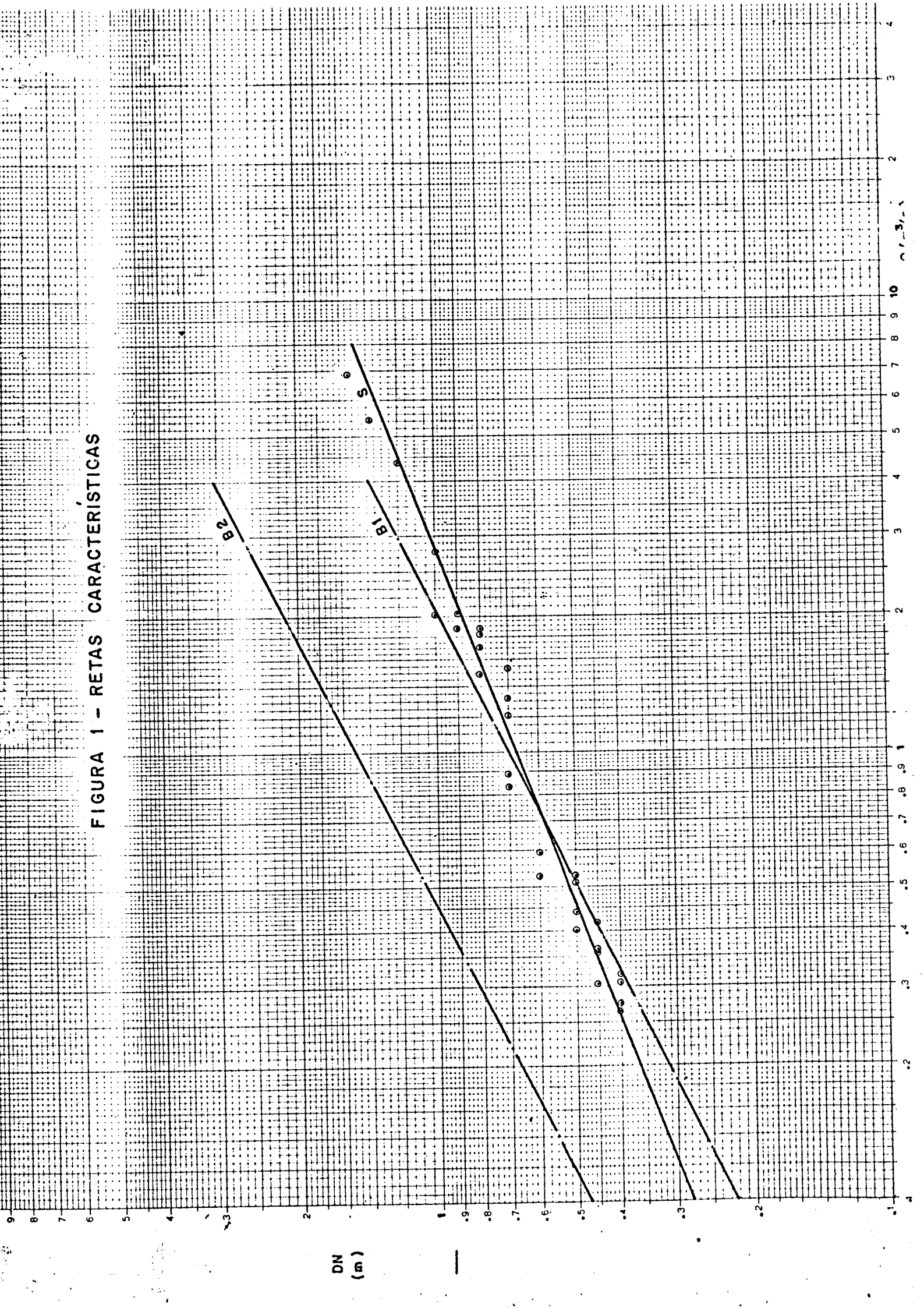
O cotejamento técnico-econômico abrange vazões máximas de projeto compreendidas entre 260 l/s a 6 930 l/s, as quais indicaram diâmetros para as linhas de recalque entre 400mm a 1 500mm.

O universo considerado permite, menos em face da amostragem em si, a qual é limitada, mais devido aos resultados obtidos: uma série de considerações, senão definitivas, porém bastante interessantes;

### 4.2.1 Fator K

Mirando-se a figura 1 observa-se, que os valores obtidos neste estudo, reta S, estão muito próximos da reta B1, ou seja, vazões próximas a 700 l/s indicam o valor de K igual a 0,7; vazões inferiores a 700 l/s sugerem para o K valores ligeiramente superiores a 0,7, atingindo um máximo de 0,83; e vazões superiores a 700 l/s o K assume valores inferiores a 0,7, alcançando um mínimo de 0,57.

FIGURA 1 - RETAS CARACTERISTICAS



Portanto, da amostra de 35 emissários, e para uma gama de vazões bastante ampla, o K da fórmula de Bresse oscila entre 0,57 a 0,83 com uma média igual a 0,68, quando os valores bibliográficos estão entre 0,7 a 1,5.

As velocidades de escoamento correspondentes aos K de 0,57 e 0,83, são respectivamente 3,89 m/s e 1,87 m/s, velocidades estas, também superiores às referenciadas pela bibliografia existente a respeito.

Convém notar, que o K decresce com o aumento da vazão, ou seja, maiores vazões correspondem a velocidades econômicas mais elevadas, e que o valor médio obtido neste estudo, é 0,68.

O quadro 3, mostra o diâmetro econômico obtido, em confronto com a expressão obtida,  $D = 0,68 Q^{0,39}$  e com a fórmula de Bresse com o fator  $K = 0,68$ .

QUADRO 3 - CONFRONTO ENTRE EXPRESSÕES

DIÂMETRO ECONÔMICO (m)	$D = 0,68 Q^{0,39}$	$D = 0,68 \sqrt{Q}$	DIÂMETRO ECONÔMICO (m)	$D = 0,68 Q^{0,39}$	$D = 0,68 \sqrt{Q}$
0,40	0,40	0,35	0,70	0,76	0,78
0,40	0,41	0,36	0,70	0,80	0,84
0,40	0,43	0,38	0,80	0,79	0,83
0,40	0,44	0,38	0,80	0,79	0,83
0,45	0,43	0,37	0,80	0,79	0,83
0,45	0,46	0,41	0,80	0,84	0,89
0,45	0,46	0,41	0,80	0,84	0,90
0,45	0,48	0,44	0,80	0,86	0,92
0,50	0,48	0,43	0,80	0,87	0,93
0,50	0,49	0,45	0,90	0,87	0,93
0,50	0,52	0,49	0,90	0,90	0,97
0,50	0,53	0,49	1,00	0,89	0,96
0,60	0,53	0,49	1,00	1,02	1,14
0,60	0,53	0,49	1,20	1,21	1,43
0,60	0,53	0,52	1,37	1,32	1,59
0,70	0,63	0,62	1,37	1,32	1,59
0,70	0,65	0,64	1,54	1,45	1,79
0,70	0,73	0,75			

#### 4.2.2 Confronto Cruzeiro x Cruzado

O primeiro cotejamento técnico-econômico destas linhas de recalque foi realizado em maio de 1984, com os preços referenciados em QRTN. Desta feita, maio de 1986, os preços foram referenciados em OTN.

Das 35 linhas de recalque analisadas em 1984, no estudo de 1986, 16 delas não sofreram alteração no diâmetro econômico, 10 foram substituídas pelo diâmetro comercial imediatamente superior e 9 foram alteradas por diâmetro comercial inferior.

As linhas que tiveram o diâmetro nominal aumentado foram:

- . 4 delas passaram de DN 0,40m para DN 0,45m
- . 2 delas passaram de DN 0,45m para DN 0,50m
- . 3 delas passaram de DN 0,50m para DN 0,60m
- . 1 delas passou de DN 0,60m para DN 0,70m

As linhas que tiveram o diâmetro nominal diminuído foram:

- . 2 delas passaram de DN 0,80m para DN 0,70m
- . 4 delas passaram de DN 0,90m para DN 0,80m
- . 1 delas passou de DN 1,00m para DN 0,80m
- . 2 delas passaram de DN 1,00m para DN 0,90m

Estes dados, evidenciam a dinâmica do processo, pois decorridos dois anos, cerca de 55% das linhas de recalque analisadas tiveram sua solução econômica modificada. Contudo, convém salientar que dos 24 últimos meses considerados, 21 foram de inflação elevada, e 3 meses apenas de vigência do plano cruzado. Naturalmente, que com o pleno estabelecimento do plano cruzado, os preços tendem a se estabilizar, tornando mais duradouras as soluções econômicas encontradas.

### 4.3 CONCLUSÕES

Este trabalho tenciona, ainda distante de esgotar o assunto, apesar do universo analisado ser bastante restrito, fornecer novos elementos a uma análise técnico-econômica de linhas de recalque, através de uma expressão melhor calibrada, para a amostragem considerada.

Esta expressão devido às suas peculiaridades e limitações, não dispensa, em qualquer tempo, para um estudo mais acurado, uma análise técnico-econômica pelos padrões requeridos pela boa técnica, como se faz usualmente.

## B I B L I O G R A F I A

- 01 GARCEZ, Lucas Nogueira - ELEMENTOS DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E SANITÁRIA  
Edgard Blucher Ltda. - 2ª Edição - 1976
- 02 PIMENTA, Carlito Flávio - CURSO DE HIDRÁULICA GERAL  
Centro Tecnológico de Hidráulica - 3ª Edição - 1978
- 03 NEVES, Eurico Trindade - CURSO DE HIDRÁULICA  
Globo - 6ª Edição - 1979
- 04 SILVESTRE, Paschoal - HIDRÁULICA GERAL  
Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. - 1979
- 05 LEME, Francilio Paes - ENGENHARIA DO SANEAMENTO AMBIENTAL  
Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. - 1982
- 06 MACINTYRE, Archibald Joseph - BOMBAS E INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO  
Guanabara Dois - 1980
- 07 DIVERSOS AUTORES - BOMBAS E SISTEMAS DE RECALQUE  
Cetesb - 1974
- 08 DIVERSOS AUTORES - PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA  
Universidade Federal do Paraná - 1973
- 09 SOUZA, Podalyro Amaral - EQUAÇÕES EXPLÍCITAS DO FATOR "F" DA FÓRMULA  
UNIVERSAL PARA ESCOAMENTOS TURBULENTOS  
Revista DAE - Nº 113 - 1977
- 10 MAGNANI, José Romildo - DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO ECONÔMICO DE ADUTORAS  
E EMISSÁRIOS POR RECALQUE  
Revista Dae - Nº 113 - 1977