

I-311 - AFERIÇÃO DA FÓRMULA DE BRESSE – DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE ADUÇÕES ININTERRUPTAS

Miguel Alvarenga Fernández y Fernández⁽¹⁾

Engenheiro Civil da Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE), formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Salah Ahmad Salah Alassar

Engenheiro Civil da Companhia Estadual de Água e Esgoto (CEDAE), formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Endereço⁽¹⁾: Av. Presidente Vargas 2655 – Cidade Nova – Rio de Janeiro – RJ - CEP: 20210-030- Brasil - Tel.: (21) 2332-3931 - e-mail: miguelyf@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo dimensionar o diâmetro econômico de sistemas adutores fictícios, para uma vida útil de 30 anos, em alguns cenários através de planilhas parametrizadas para aferir o coeficiente da Fórmula de Bresse para nossa atual realidade, Brasil em 2015. Os cenários simulados variam desde características físicas dos sistemas de adução, como comprimento da tubulação (1.000m - 10.000m), desnível geométrico (50m – 100m) e vazão (0,1m³/s – 0,5m³/s), a características econômicas como taxa de juros (8% - 12% a.a.) e custo da energia (R\$0,20/kW.h – R\$0,30/kW.h). O resultado é que para sistemas ininterruptos, trabalhando 24hs/dia e 365dias/ano, o coeficiente da fórmula de Bresser é de 1,0, o que implica aproximadamente em uma velocidade média de escoamento do fluido econômica em 1,5m/s.

PALAVRAS-CHAVE: Diâmetro Econômico, Fórmula de Bresser, Sistemas de Adução.

INTRODUÇÃO

A universalização dos serviços de saneamento no Brasil ainda é um objetivo não alcançado. A demanda por recursos públicos para a ampliação de sistemas de abastecimento de água por concessionárias tem levado os órgãos de controladoria do estado a questionar decisões técnicas da forma como diâmetros de adutoras estão sendo definidos nos projetos que solicitam estes recursos. Só o custo de fornecimento da tubulação é de aproximadamente 70% do custo total de implantação do sistema adutor (CERTOH), logo a definição do diâmetro ideal tem impacto presente referente ao valor a ser disponibilizado e consequentemente na viabilidade econômica do sistema adutor.

Teoricamente uma linha de recalque pode ter qualquer diâmetro. Quanto maior o diâmetro do duto maior será o seu custo de fornecimento e assentamento, mas serão menores as perdas de carga, acarretando assim em um sistema de bombeamento de menor potência, mais barato, e menor consumo de energia. Pelo outro lado, quanto menor for o diâmetro do duto menor será o seu custo de implantação, mas serão maiores as perdas de carga, acarretando assim em um sistema de bombeamento de maior potência, mais caro, e maior consumo de energia.

O cálculo do diâmetro econômico de uma adutora é exato, pois definindo-se o cenário e as características do sistema tem-se uma única solução mínima para um determinado tempo. Porém as indefinições nas fases iniciais de projeto tornam questionável se debruçar sobre um estudo aprofundado econômico.

Desta forma no passado estudou-se fórmulas simplificadas onde se chega a um diâmetro econômico de forma rápida e aceitável. Entre as fórmulas mais populares estão:

- Fórmula de Bresse (usualmente utilizada em instalações de funcionamento contínuo)

$$D = K\sqrt{Q} \quad ; \text{onde}$$

D é o diâmetro em metros

K é a constante (entre 0,7 – 1,5 no Brasil)

Q é a vazão em m³/s

- Fórmula "Americana" (empregada nos Estados Unidos)

$$D = 0,9Q^{0,45} ; \text{onde}$$

D é o diâmetro em metros

Q é a vazão em m³/s

- Fórmula de Vibert (empregada na França)

$$D = K \left(\frac{N \times e}{f} \right)^{0,154} \times Q^{0,46} ; \text{onde}$$

D é o diâmetro em metros

K é a constante (1,55 para 24h de bombeamento e 1,35 para 10h)

N é o número de horas de bombeamento por dia dividido por 24

e é o custo de energia elétrica (kW.h)

f é o custo do ferro dúctil (R\$/kg)

- Fórmula do Funcionamento Descontínuo

$$D = 1,3X^{0,25} \sqrt{Q} ; \text{onde}$$

D é o diâmetro em milímetros

X é o número de horas de bombeamento por dia dividido por 24

Q é a vazão em l/s

METODOLOGIA UTILIZADA

Teoricamente o diâmetro de uma linha de recalque pode ser qualquer para uma mesma vazão. Entretanto existe um diâmetro econômico, que vem da definição de parâmetros como custos de implantação, custos de operação (principalmente energia) e manutenção, taxa de juros e vida útil do sistema. Todos estes custos trazidos a valor presente geram uma curva com um ponto de inflexão mínimo que é o diâmetro econômico.

A fórmula de Bresse tem origem no final do século XIX na França, mas ainda é largamente utilizada no dimensionamento de diâmetros econômicos de adutoras e atualmente a mais aplicada no Brasil.

De acordo com a literatura pesquisada o coeficiente de Bresse (K) pode adotar valores entre 0,7 e 1,5. Esse range possibilita, que para uma mesma adutora com uma vazão definida, uma variação de diâmetros ampla como pode ser visto no exercício apresentado de uma situação real na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise Diâmetro de Adutora variando o Coeficiente de Bresse

Habitantes	Hab	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Consumo per capita	l/hab.dia	250	250	250	250	250	250	250	250
K ₁		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Q _{máx}	l/s	520,8	520,8	520,8	520,8	520,8	520,8	520,8	520,8
Coeficiente de Bresse		0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Diâmetro	Mm	505,18	577,35	649,52	721,69	793,86	866,03	938,19	1.010,36

A boa escolha técnica do diâmetro econômico é importante, pois a implantação de sistemas adutores costuma ser muitas vezes financiada por recursos públicos com subsídios ou até como recursos não reembolsáveis (Fundo Perdido)

O valor do coeficiente de Bresse usual para sistemas ininterruptos no Brasil é de 1,2 (Azevedo Netto). Essa indicação do Azevedo Netto é de referência da década de 1990 utilizada como literatura válida por muitos técnicos da área. Esse valor necessita de aferição de tempos em tempos, pois a realidade dos custos varia.

Com o advento da tecnologia computacional uma aferição da fórmula de Bresse tornou-se possível mesmo que ainda trabalhoso. Montou-se assim uma planilha parametrizada que calcula o diâmetro econômico de uma adutora usando como referência as curvas de custo do CERTOH (ANA). O sistema adutor modelado é composto por tubos ponta e bolsa de ferro fundido dúctil, classe de pressão k7 e coeficiente de Hazen-Williams $c=130$. A estação de bombeamento considerada conta com 2+1 bombas com coeficiente de rendimento do conjunto em 67%.

Foram variados parâmetros como vazão, comprimento, desnível geométrico, juros e custo de energia para avaliar o impacto destes na determinação do diâmetro econômico. Os diâmetros econômicos apresentados são diâmetros nominais comerciais. Quando a diferença entre os custos totais trazidos a valor presente entre diâmetros diferentes ficaram a baixo de 5%, indicou-se todos esses diâmetros como valores econômicos possíveis e compatíveis com uma análise primária.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4 que apresentam cenários onde se mantem a vazão e se variam os demais parâmetros.

Tabela 2 - Diâmetro Econômico (mm) - Vazão 0,10m³/s

Comprimento (m)	Altura Geométrica (m)	Juros a.a.								
		8%			10%			12%		
		Custo da Energia (R\$/kwh)								
		0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30
1.000	50	250	250	300	250	250	250	250	250	250
		300	300	400	300	300	300	300	300	300
		400	400		400	400	400	400	400	400
	100	250	250	250	250	250	250	250	250	250
		300	300	300	300	300	300	300	300	300
		400	400	400	400	400	400	400	400	400
5.000	50	300	300	300	300	300	300	300	300	300
		400	400	400	400	400	400	400	400	400
	100	300	300	300	300	300	300	300	300	300
		400	400	400	400	400	400	400	400	400
10.000	50	300			300	300		300	300	300
		400	400	400	400	400	400	400	400	400
	100	300			300	300		300	300	300
		400	400	400	400	400	400	400	400	400

Tabela 3 - Diâmetro Econômico (mm) - Vazão 0,25m³/s

Comprimento (m)	Altura Geométrica (m)	Juros a.a.								
		8%			10%			12%		
		Custo da Energia (R\$/kwh)								
		0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30
1.000	50	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		500	500	500	500	500	500	500	500	500
	100	400	400	400	400	400	400	400	400	400
		500	500	500	500	500	500	500	500	500
5.000	50	500	500	500	500	500	500	500	500	500
		600	600	600	600	600	600	600	600	600
	100	500	500	500	500	500	500	500	500	500
		600	600	600	600	600	600	600	600	600
10.000	50	500	500	500	500	500	500	500	500	500
		600	600	600	600	600	600	600	600	600
	100	500	500	500	500	500	500	500	500	500
		600	600	600	600	600	600	600	600	600

Tabela 4 – Diâmetro Econômico (mm) - Vazão 0,5m³/s

Comprimento (m)	Altura Geométrica (m)	Juros a.a.								
		8%			10%			12%		
		Custo da Energia (R\$/kwh)								
		0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30	0,20	0,25	0,30
1.000	50	500 600 700	600 700	600 700	500 600 700	600 700	600 700	500 600 700	600 700	600 700
	100	500 600 700	600 700	600 700	600 700	600 700	600 700	600 700	600 700	600 700
5.000	50	700	700	700	600 700	700	700	600 700	700	700
	100	700	700	700	600 700	600 700	700	600 700	700	700
10.000	50	700	700	700	700	700	700	700	700	700
	100	700	700	700	700	700	700	600 700	700	700

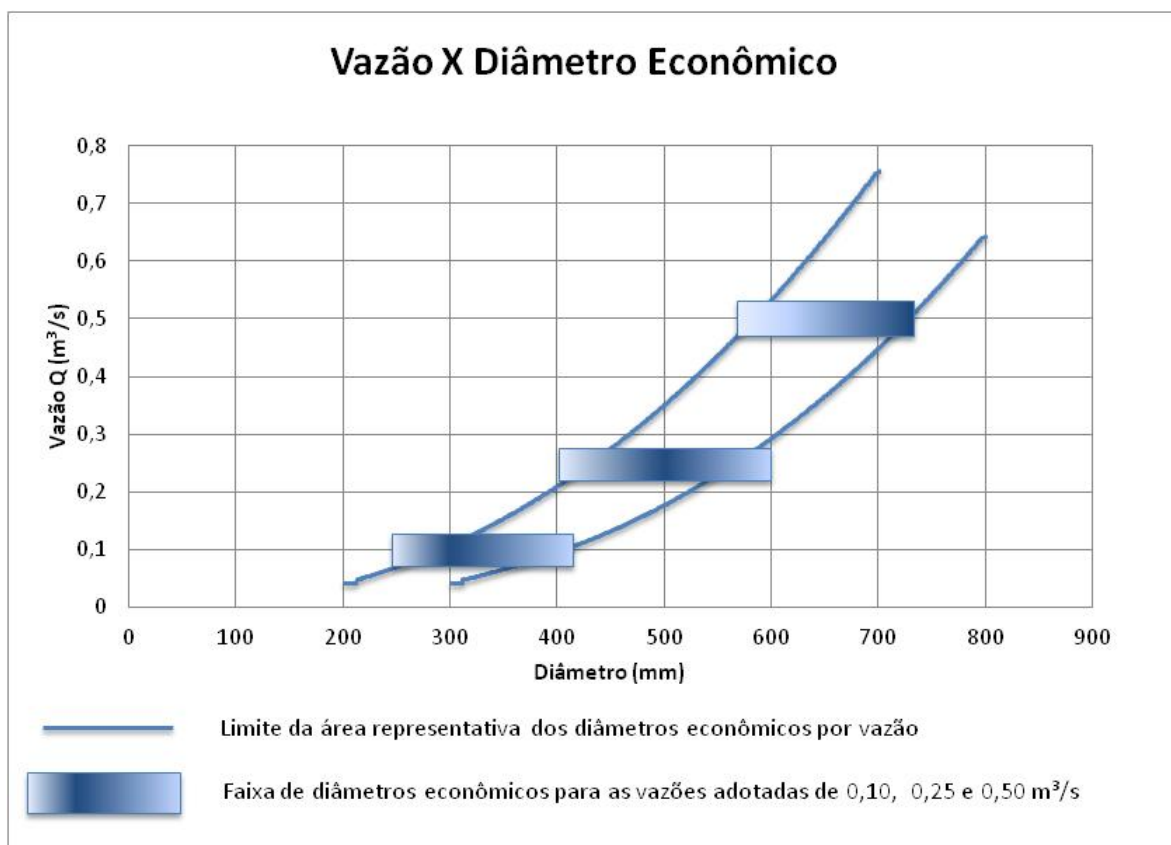


Gráfico 1 – Vazão (m³/s) x Diâmetro econômico (mm)

A Tabela 5 tem como objetivo fazer a correlação entre os diâmetros, os coeficientes de Bresse e as velocidades médias de escoamento, sendo as células sombreadas em cinza referentes aos diâmetros econômicos.

Tabela 5 – Relação Coeficiente de Bresse (k) e Velocidade média do fluxo (v)

Diâmetro D (mm)	Vazão - Q (m³/s)					
	0,1		0,25		0,5	
	k	v (m/s)	K	v (m/s)	k	v (m/s)
200	0,632	3,18	0,400	7,96	0,283	15,92
250	0,791	2,04	0,500	5,09	0,354	10,19
300	0,949	1,41	0,600	3,54	0,424	7,07
400	1,265	0,80	0,800	1,99	0,566	3,98
500	1,581	0,51	1,000	1,27	0,707	2,55
600	1,897	0,35	1,200	0,88	0,849	1,77
700	2,214	0,26	1,400	0,65	0,990	1,30
800	2,530	0,20	1,600	0,50	1,131	0,99
900	2,846	0,16	1,800	0,39	1,273	0,79
1000	3,162	0,13	2,000	0,32	1,414	0,64

Coeficientes de Bresse e velocidades resultantes do diâmetro econômico calculado

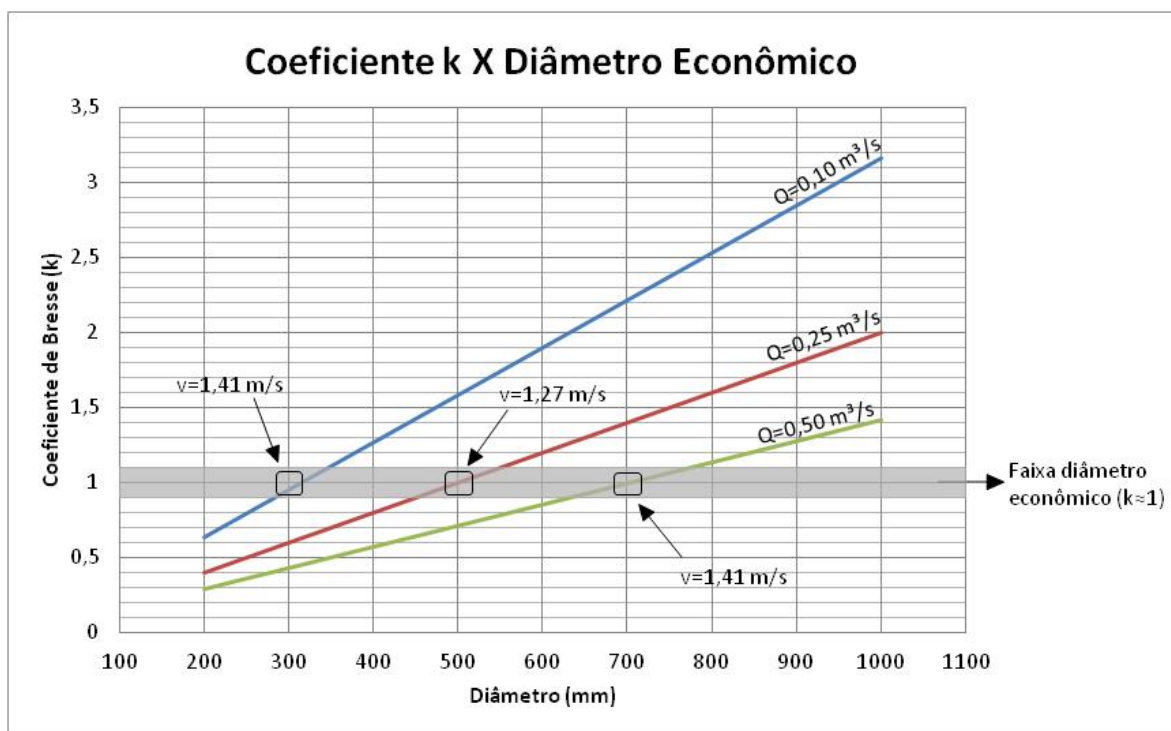


Gráfico 2 – Coeficiente de Bresse (k) x Diâmetro econômico (mm)

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após análise dos Resultados obtidos chegou-se as seguintes conclusões:

- A variação dos desníveis geométricos não impacta significativamente na definição dos diâmetros econômicos;
- O range simulado de variação dos juros (8% a 12% ao ano) e custo da energia (0,20 a 0,30 R\$/kW.h) também não chega a impactar significativamente na definição dos diâmetros econômicos;
- As adutoras com menor comprimento (1.000 m) apresentam maior amplitude de resultados enquanto que as de maior tendem a definir um único diâmetro econômico;
- As adutoras de menor comprimento tendem a viabilizar também como solução diâmetros menores que as de maior comprimento para o mesmo cenário;
- Nos resultados para o cenário da vazão 100l/s o diâmetro nominal 350 mm poderia ser considerado como uma solução válida, pois consta nos catálogos dos fabricantes e está exatamente no intervalo da solução. Porém a experiência mostra que estes diâmetros são de difícil aquisição em pequenas quantidades, tendo sido descartados por esse motivo;

Portanto, conclui-se que o **Coeficiente de Bresse** obtido pelas simulações dos diversos cenários pode ser aproximado a **1,0**. Outra forma de se enxergar o resultado é considerar como solução válida os diâmetros nominais logo abaixo da velocidade média do fluxo de 1,5 m/s.

Recomenda-se o uso da Fórmula de Bresse aferida para estudos de concepção e viabilidade da implantação de sistemas adutores. Uma vez decido prosseguir com o empreendimento, na fase de projeto básico, um estudo de diâmetro econômico detalhado considerando os reais parâmetros deve ser realizado. Adutoras que fujam ao intervalo determinado pelos parâmetros deste artigo podem ser avaliadas pela tendência dos cenários, mas levando em conta que a precisão é reduzida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNANDES, M.F.; ARAUJO, R.; ITO, A.E. Manual de hidráulica; 8.ed. São Paulo: E. Blücher, 2002. 669 p.
GOMES, Herbert P. Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque; Revista de Engenharia Ambiental, ABES, v.6, n.3, p.108 -114. Jul./set.,2001.
2. GOMES, Herbert P. Sistemas de Abastecimento de Água; João Pessoa, 2ª edição, Editora Universitária da UFPB, 2004.
3. ABNT; Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. NBR 12214, Rio de Janeiro - 1992
4. GUIMARÃES, FAUSTO F. C. Caracterização do Diâmetro Econômico de Recalque Considerando-se Tubulações de RPVC. Universidade Católica de Salvador - UCSAL.- 2008,Disponível em <http://pt.slideshare.net/joaoano/dimetro-econmico-da-tubulao-para-irrigao>. Acesso em: 01/09/2014
5. Agência Nacional de Águas (ANA), Certificado de Avaliação da Sustentabilidade da Obra Hídrica (CERTOH).
6. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Banco de Preços de Serviços de Engenharia Consultiva.
7. -Empresa de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro (EMOP), Catálogo de Referência / Boletim Mensal de Custos.
8. - Associação Brasileira de Consultores de Engenharia (ABCE), Manual de Orçamentação Serviços Profissionais de Engenharia Consultiva.
9. Taxa SELIC. ADVFN Brasil, Indicadores Econômicos, disponível em: <http://br.advfn.com/indicadores/taxa-selic> Acesso em: 10/10/2014.