

## I-005 - ADUTORA DE GRANDE PORTE – METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DA CONSTANTE K DE BRESSE

**Hélio Correia da Silva Jhuniór**<sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFU. Doutorando em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

**Marcio Ricardo Salla**<sup>(2)</sup>

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Pós-doutor pela Universidad Politecnica de Valencia, Espanha.

**Maria Lyda Bolaños Rojas**<sup>(3)</sup>

Engenheira Sanitarista pela Universidad del Valle, Univalle, Colômbia. Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

**Endereço**<sup>(1,2,3)</sup>: Avenida João Naves de Ávila, 2121 – Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP: 38400-902 - Brasil - Tel: (34) 3239-4170 - e-mail: marcio.salla@ufu.br

### RESUMO

O dimensionamento de tubulações adutoras usualmente é realizado a partir da equação consagrada de Bresse. Embora conceitualmente simples, esta equação depende da constante  $k$ , que apresenta certa dificuldade na adoção de seu valor pois atrela o custo de material, transporte, mão-de-obra, energia elétrica, operação e manutenção do sistema, variando de acordo com a região e situação econômica. Este estudo traz uma metodologia adaptada para determinação da constante  $k$ , mais restrita e condizente com a realidade, a partir da avaliação real dos custos. O foco do estudo foi uma adutora do sistema de captação de água bruta da cidade de Uberlândia, Minas Gerais, cujo trajetória da adutora tem início no reservatório da Usina Hidrelétrica Capim Branco I e final na estação de tratamento de água. A partir da aplicação da metodologia proposta, os valores obtidos da constante  $k$  entre 0,70 e 0,85, quando comparados aos valores usuais adotados na literatura, representa uma economia financeira acentuada para adutoras de grande porte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diâmetro econômico, Equação de Bresse, Avaliação real dos custos, Constante  $k$ .

### INTRODUÇÃO

As linhas adutoras são tubulações básicas de um sistema público de abastecimento, responsáveis por conduzir água entre as unidades anteriores à rede de distribuição, interligando a captação à estação de tratamento de água (adutora de água bruta), e esta aos reservatórios de água tratada (adutora de água tratada).

De acordo com Porto (2006), o método mais utilizado no dimensionamento econômico do diâmetro  $D$  de adutora baseia-se na equação de Bresse (equação 1). A equação é diretamente dependente da vazão escoada  $Q$  e tem um grau de incerteza elevado, uma vez que a constante  $k$  é calculada a partir de fatores econômicos atrelados à experiência do projetista.

$$D = k.Q^{1/2} \quad (1)$$

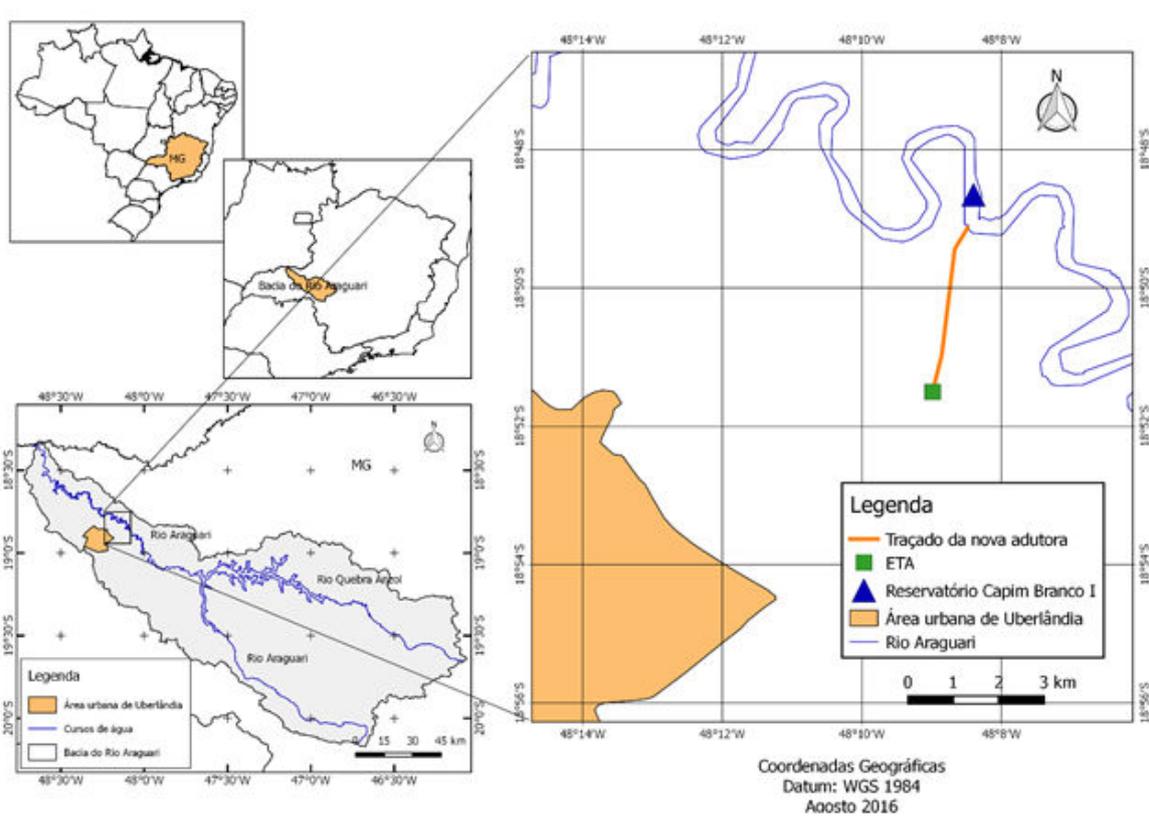
A determinação da constante  $k$  depende dos custos de material, transporte, mão-de-obra, energia elétrica, operação e manutenção do sistema etc., variando de local para local e no tempo, principalmente em regimes econômicos inflacionários. Na área técnica, ou na elaboração de projetos hidráulicos, o valor da constante  $k$  varia entre 0,70 a 1,30 (PORTO, 2006).

Uma das metodologias mais adequados para sua quantificação é a avaliação real dos custos, que se baseia em critérios econômicos, permitindo que adaptações sejam feitas pelos usuários, principalmente no que depende do porte da tubulação analisada.

Para Richter (1983), a adaptação deste método para adutoras de pequeno e médio porte resulta em valores de  $k$  entre 0,78 a 0,97 e 0,80 a 0,90, respectivamente. Freire (2000) obteve diâmetros econômicos com valores de  $k$  entre 1,00 a 1,15 para adutoras de médio a grande porte. Perroni et al. (2011) realizaram o dimensionamento de adutoras por meio do critério da velocidade econômica, resultando em valores médios da constante  $k$  de 1,073 e 1,071, respectivamente, para tubulações de PVC e aço. Ávila (1975) encontrou valores da constante  $k$  entre 0,70 a 1,00 para o mesmo critério. Gomes (2001) utilizou o método da variação linear dos custos das tubulações e o método baseado no peso das tubulações, resultando, respectivamente, em intervalos de 1,00 a 1,25 e 0,75 a 1,00 para a constante  $k$ . Segundo Guimarães (2009), para vazões entre 50 e 150 L/s com tubulação de RPVC, os valores de  $k$  se restringem na faixa de 1,03 a 1,12.

Considerando a gama de valores da constante  $k$  encontrada na literatura, este artigo traz uma metodologia para quantificação de  $k$  através da avaliação real dos custos adaptado para uma adutora de grande porte. Também foi feita uma comparação com outros métodos alternativos também baseados em critérios econômicos.

O objeto de estudo foi o novo sistema de produção de água tratada do município de Uberlândia, cuja captação ocorre junto ao reservatório da Usina Hidrelétrica Capim Branco I, situado na bacia hidrográfica do rio Araguari. A Figura 1 traz a localização geográfica do sistema de adução.



**Figura 1: Localização geográfica do sistema de adução.**

Fonte: adaptado QGIS (2016)

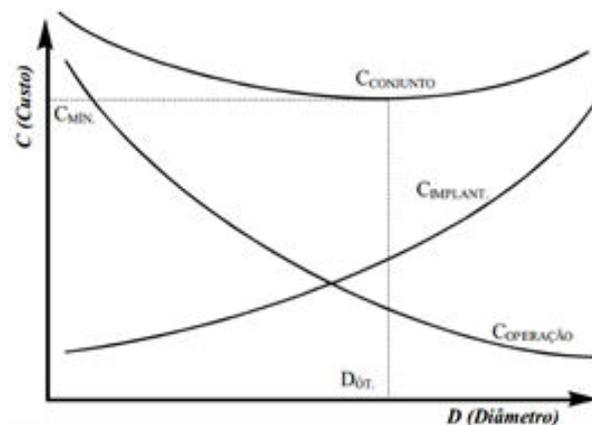
## METODOLOGIA

A metodologia utilizada seguiu a base da avaliação real dos custos, com adaptações e considerações adicionais feitas para a realidade local. Para as comparações dos resultados foram utilizados o método da variação linear dos custos das tubulações e o método baseado no peso das tubulações.

## Avaliação real dos custos

A avaliação real dos custos se baseia na premissa de que o diâmetro mais econômico a ser utilizado na construção de uma adutora consiste no valor cuja soma dos custos anuais de implantação (custos fixos) mais os custos anuais de operação (custos variáveis) é mínimo, conforme descreve a equação (2) e ilustra a Figura 2.

$$C_{adutora} = C_{implantação} + C_{operação} = C_{mínimo} \quad (2)$$



**Figura 1: Variação do custo total da adutora.**

Fonte: Freire (2000)

Os custos de implantação e operação são antagônicos, no qual os diâmetros menores levam a um menor custo de implantação e custos energéticos maiores, enquanto os diâmetros maiores implicam em maiores custos de implantação e menores custos energéticos na operação do sistema elevatório, muito por conta da diminuição na perda de energia.

A metodologia em questão não segue nenhuma lei analítica, mas busca se aproximar o máximo da realidade, encontrando valores onde o custo mínimo já fornece o diâmetro normatizado, não necessitando de aproximações similares a outros métodos da literatura. Assim, este trabalho visou obter a faixa de diâmetros onde os custos são menores, como mostrado na Figura 2 pela curva “*Cconjunto*” e, por meio da equação de Bresse, determinar os respectivos valores da constante *k*.

O custo de implantação é constituído pelos custos com movimentação de terra (escavação de valas, reaterro, bota-fora de material excedente, retirada e reposição de pavimento, regularização do fundo da vala, escoramentos e transporte de entulhos), fornecimento e assentamento das tubulações de recalque, fornecimento e instalação dos conjuntos moto-bomba, fornecimento e instalação de peças especiais (registros de descarga, ventosas, válvula de retenção e válvula aliviadora de pressão ou anti-golpe) e proteção da canalização, tais como blocos de ancoragem e revestimentos anticorrosivos, dependendo do material constituinte.

Algumas das atividades citadas não são comumente utilizadas no método da avaliação real dos custos, sendo a principal adaptação a inclusão dos custos com proteção da tubulação, importante não só no levantamento dos valores iniciais de construção, como também nos gastos com manutenção.

Os custos de operação estão ligados às despesas para manter o sistema em funcionamento, tais como gastos com energia elétrica consumida pelos conjuntos moto-bomba e gastos com manutenção e reparos, inevitáveis a qualquer empreendimento.

Como o sistema adutor tem uma vida útil, deve-se estipular a amortização anual do investimento. O cálculo da amortização *a* obtido por juros compostos, segundo o SAF, é dado pela equação (3).

$$\alpha = \frac{(1+j)^t \cdot j}{(1+j)^f - 1} \quad (3)$$

Na qual:  $j$  é a taxa de juros anual, igual a 11,75% em 2015, segundo dados da Caixa Econômica Federal, em decimal;  $t$  é o período de amortização, considerado igual a vida útil da instalação, em anos.

### Material

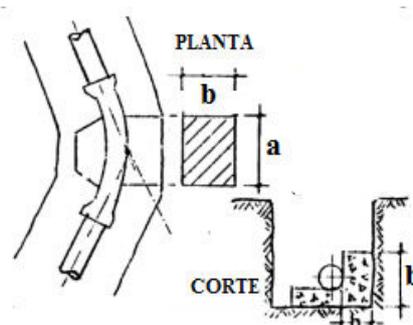
Para uma adutora de recalque, onde a pressão interna nas paredes é elevada, recomenda-se a utilização dos materiais aço e ferro fundido. Optou-se por realizar o cálculo dos custos o material que mais se adequa a situação estudada: o aço.

### Blocos de ancoragem

Blocos de ancoragem são inseridos em pontos pré-determinados nas adutoras, com o intuito de absorver esforços originados nas curvas, peças de derivação, reduções e trechos de grande inclinação, impedindo assim, movimentos indesejáveis nas tubulações. De acordo com especificações da NBR 12215: 1991, na adutora em estudo foram considerados pontos de ancoragem nas mudanças de direção e trechos com inclinações significativas.

Tsutiya (2006) recomenda que, para inclinações verticais, é conveniente ancorar uma canalização quando esta ultrapassa 20% numa canalização aérea e 25% numa canalização enterrada. A maior inclinação encontrada foi de 17,8%, assim não foi necessária a ancoragem de nenhum trecho com inclinação vertical. Para curvas horizontais, comercialmente recomenda-se ancoragem em curvas acima de 11°, para diâmetros de grande porte. Ancoragem horizontal se fez necessária em 7 pontos ao longo do traçado.

Os custos para a construção de blocos de ancoragem são calculados a partir do volume de concreto necessário para sua construção, dependendo assim do seu dimensionamento, conforme esquematizado na Figura 3. Este foi realizado considerando apenas as forças de origem hidráulica e associadas à velocidade e a pressão do fluido no interior do conduto, desprezando o peso do solo acima dos blocos (todas as ancoragens são soterradas). A metodologia utilizada para o dimensionamento seguiu as recomendações de Tsutiya (2006), Netto et al (1998), Germer (1996) e Filippo (2002).



**Figura 3: Esquema do bloco de ancoragem.**

Fonte: Filippo (2002) adaptado

### Movimentação de terra

Para o cálculo dos volumes relacionados aos serviços de movimentação de terra e de disposição da vala onde a tubulação será instalada, foram adotados os critérios definidos pela NBR 12266:1992 e por Filippo (2002).

As dimensões da vala e a disposição do berço de areia estão representadas na Figura 4. Nesta Figura,  $L$  representa a largura da faixa de pavimento a ser removida,  $l$  representa a largura da vala,  $h$  representa a profundidade até a geratriz superior da tubulação,  $y$  e  $b$  representam, respectivamente, a altura e a largura da vala.

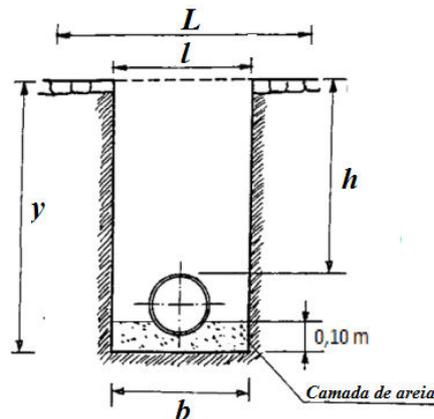


Figura 4: Dimensões da vala  
Fonte: Filippo (2002) adaptado.

O custo total com serviços de movimentação de terra é dado pela equação (4).

$$C_{mov.terra} = (C_{escav} + C_{areia} + C_{pav} + C_{reaterro} + C_{b-f} + C_{ap} + C_{esc} + C_{entulho}) \cdot L_{adutora} \quad (4)$$

Na qual:  $C_{mov.terra}$  é o custo total com movimentação de terra, em R\$;  $C_{escav}$  é o custo total com escavação da vala, em R\$;  $C_{areia}$  é o custo total com berço de areia, em R\$;  $C_{pav}$  é o custo total com demolição e reposição de pavimento, em R\$;  $C_{reaterro}$  é o custo total com reaterro, em R\$;  $C_{b-f}$  é o custo total e com bota-fora, em R\$;  $C_{ap}$  é o custo total com apiloamento, em R\$;  $C_{esc}$  é o custo total com escoramento, em R\$;  $C_{entulho}$  é o custo total com transporte de pavimento removido, em R\$;  $L_{adutora}$  é o comprimento total da tubulação de recalque da adutora, em metros.

### Tubulação e estação elevatória

Os serviços de fornecimento e assentamento das tubulações de recalque, fornecimento e instalação dos conjuntos moto-bomba, fornecimento e instalação de peças especiais foram limitados somente pela busca dos custos envolvidos (mão de obra, materiais e equipamentos necessários), e o levantamento quantitativo dos mesmos, não sendo necessário nenhum dimensionamento. Especificadas cada uma das parcelas para a elaboração dos custos de implantação, o custo total é dado pela equação (5).

$$C_{implantação} = (C_{mov.terra} + C_{ancoragem} + C_{tubulação} + C_{elevatória} + C_{proteção}) \cdot a \quad (5)$$

Na qual  $a$  é o coeficiente de amortização.

### Custos operacionais

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL juntamente com a Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, a operação de uma estação elevatória se enquadra em consumidores de Alta Tensão, tarifas do Grupo A Convencional A4 (2,3 a 25 kV), na modalidade de Serviços Públicos de Água e Esgoto. A estrutura tarifária adotada foi a convencional, caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. Assim, o custo anual com energia de bombeamento é obtido pela equação (6).

$$C_{energia} = Pot \cdot n \cdot (Nh \cdot 365 \cdot C_{consumo} + C_{demanda} \cdot 12) \quad (6)$$

Na qual:  $Pot$  é a potência do conjunto moto-bomba, em kW;  $Nh$  é o número de horas em que a bomba está em funcionamento, igual a 24 horas;  $C_{consumo}$  é a tarifa de energia elétrica devido ao consumo, em R\$/KWh;  $C_{demanda}$  é a tarifa de energia elétrica devido à demanda instalada, em R\$/KW ao mês;  $n$  é o número de sistemas de recalque em paralelo em determinada etapa de operação da adutora.

## Tabelas de custos

Para o levantamento dos custos envolvidos na construção da adutora foram consultados cinco bancos de dados. Estes fornecem valores médios de materiais de construção, mão de obra e equipamentos necessários em uma obra, para uma determinada região. As tabelas de custos consultadas foram: SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil); SETOP (Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas); SEINFRA (Secretaria da Infraestrutura do Governo do Estado do Ceará); ORSE (Orçamento de Obras de Sergipe), exemplificada na Figura 3; COMPOR 90.

O COMPOR 90 é uma ferramenta computacional com um banco de dados formado por mais de 9 mil composições de serviços e insumos, baseados em tabelas de custos e índices da construção como SINAPI, SETOP e ORSE, entre outras.

## Método da variação linear dos custos das tubulações

Segundo Mendiluce (1966 apud Gomes, 2001), este método se fundamenta no princípio de que o custo da tubulação varia linearmente com o diâmetro utilizado na mesma, conforme a equação (7).

$$C(D) = C \cdot D \quad (7)$$

Na qual:  $C(D)$  é o custo da tubulação por metro, em R\$/m;  $C$  é o custo do tubo por metro longitudinal e por metro de diâmetro, em R\$/m·m;  $D$  é o diâmetro do tubo, em metro.

Na determinação de  $C$  são inclusas duas parcelas, uma parcela referente à implantação e outra a operação. Na primeira, além do preço unitário do tubo, também devem estar contidos os gastos com transporte, impostos, escavação, montagem e a amortização do empreendimento. Para os custos operacionais deve ser considerada a energia gasta pela instalação de bombeamento para recalcar a vazão de projeto. A partir das considerações citadas, o método de Mendiluce deduz que o diâmetro mais econômico é fornecido pelas equações (8) e (9).

$$D = 1,913 \cdot \left( \frac{\beta \cdot Nh \cdot p}{C \cdot a \cdot \eta} \right)^{0,166} \cdot \sqrt{Q} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{8 \cdot f}{\pi^2 \cdot g} \quad (9)$$

Nas quais:  $Nh$  é o número anual de horas em que a bomba está em funcionamento, em horas/ano;  $p$  é o preço do kWh, em R\$/kWh;  $a$  é a amortização anual do investimento;  $\eta$  é o rendimento global do conjunto, em decimal;  $Q$  é a vazão bombeada, em m<sup>3</sup>/s;  $f$  é o fator de atrito da tubulação, calculado a partir da equação de Colebrook-White;  $g$  é a aceleração da gravidade local, em m/s<sup>2</sup>.

O método não fornece valores inteiros, sendo recomendado que as aproximações sejam feitas para o diâmetro comercial mais próximo, podendo ser o consecutivo acima ou abaixo. O arredondamento comumente feito para o diâmetro comercial acima, independentemente do valor fracionado mais próximo do diâmetro comercial inferior, leva a maiores custos devido ao preço da tubulação maior levar a despesas maiores.

## Método baseado no peso das tubulações

Segundo Melzer (1964 apud Freire, 2000, p. 40), o método parte do princípio de que o custo da tubulação é proporcional ao seu peso, sendo o peso da tubulação calculado em função da resistência necessária para absorver os esforços da água no interior do conduto, conforme ilustra a equação (10).

$$Peso = \gamma \cdot \pi \cdot \frac{P_{max}}{2 \cdot \sigma} \cdot \left( 1 + \frac{P_{max}}{2 \cdot \sigma} \right) \cdot D^2 \quad (10)$$

Na qual:  $p_{max}$  é a máxima pressão ou pressão de ruptura que a tubulação poderá suportar;  $\gamma$  é o peso específico do material constituinte do tubo;  $\sigma$  é a tensão submetida pelo material;  $D$  é o diâmetro do tubo.

A partir da equação (11) conclui-se que o peso e, conseqüentemente, o custo da tubulação, é proporcional ao quadrado do diâmetro, conforme ilustra a Figura (11).

$$C(D) = C \cdot D^2 \quad (11)$$

Na qual:  $C(D)$  é o custo da tubulação por metro, em R\$/m;  $C$  é o custo do tubo por metro de comprimento, e por metro de diâmetro, em R\$/m<sup>2</sup>·m;  $D$  é o diâmetro do tubo, em m.

O valor de  $C$  depende das mesmas variáveis do método da variação linear dos custos das tubulações, assim como as considerações no custo total do sistema. O método de Melzer deduz que o diâmetro mais econômico é fornecido pela equação (12).

$$D = 1,579 \cdot \left( \frac{\beta \cdot Nh \cdot p}{C \cdot a \cdot \eta} \right)^{0,143} \cdot Q^{0,43} \quad (12)$$

Na qual:  $\beta$  é calculado pela equação (9). O arredondamento também é feito para o diâmetro comercial mais próximo, considerando a mesma justificativa anterior.

## ESTUDO DE CASO

O novo sistema de captação de água de Capim Branco será implantado em três etapas e ampliará em 150% a produção de água tratada para a área urbana de Uberlândia. Segundo o DMAE (2014), o novo sistema de captação de água bruta do reservatório da Usina Hidrelétrica Capim Branco I, situado na bacia hidrográfica do rio Araguari, pretende atender a demanda futura de 2,5 milhões de habitantes a partir da captação e tratamento de uma vazão de 6,0 m<sup>3</sup>/s.

Cada etapa adicionará 2 m<sup>3</sup>/s ao sistema de adução, onde a primeira linha adutora iniciará sua operação no ano de 2017 para o horizonte de projeto de 50 anos (2067), a segunda linha adutora será instalada no ano 2038 para o horizonte de projeto de 29 anos (2067), enquanto que a terceira etapa não tem previsão de implantação, sendo adotado seu início no ano 2052, com horizonte de projeto de 15 anos (2067).

De acordo com o DMAE (2014), na primeira etapa serão implantados quatro conjuntos moto-bomba, mais um reserva, com sistemas em paralelo e cada bomba recalçando uma vazão de 500 L/s. Nas demais etapas serão implantados dois conjuntos moto-bomba (com um adicional de reserva) em paralelo, elevando uma vazão de 1000 L/s cada.

Os dados fornecidos pelo DMAE (2014) para o dimensionamento do sistema adutor foram: vida útil do sistema igual a 50 anos; comprimento da linha adutora igual a 4,7 km; cota do nível da água mínimo na estação elevatória, igual a 623,0 m; cota do nível da água na ETA, igual a 865,0 m; altura geométrica de recalque, igual a 242,0 m.

Para a definição do intervalo de diâmetro adotado no estudo foi utilizada a equação de Bresse (equação 1), considerando os valores mínimo e máximo da constante  $k$  (0,7 e 1,6, de acordo com a literatura) e vazão aduzida de 2 m<sup>3</sup>/s, alcançando os diâmetros de 0,98 m e 2,26 m. Foram adotados os diâmetros comerciais de 900, 1000, 1200, 1500, 1800, 2100 e 2500 mm, de acordo com a NBR 12266:1992.

A partir destes diâmetros foi realizado o levantamento dos gastos e a análise econômica pela avaliação real dos custos, com conseqüente definição do diâmetro ótimo ou econômico. Os resultados foram comparados com o método da variação linear dos custos das tubulações e com o método baseado no peso das tubulações.

## RESULTADOS

Os resultados obtidos pela avaliação real dos custos foram divididos de acordo com os diâmetros analisados. Os custos de cada um dos serviços, juntamente com os custos totais de instalação amortizado para cada um dos diâmetros referentes a primeira etapa do empreendimento, são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Custos totais anuais da implantação da adutora para diâmetros estudados para a primeira etapa – em milhões de reais.**

Diâmetro $D$ (m)	0,9	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5
<b>Movimentação de terra</b>	1,5	1,7	1,8	2,1	2,9	3,2	3,8
<b>Blocos de ancoragem</b>	1,5	1,8	2,8	5,1	8,7	13,7	23,0
<b>Tubulação</b>	7,5	9,4	14,0	22,8	34,0	47,6	69,5
<b>Proteção corrosão</b>	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
<b>Estação elevatória</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Total</b>	11,0	13,3	19,1	30,6	46,3	65,3	97,0
<b>Total amortizado</b>	1,3	1,6	2,3	3,6	5,5	7,7	11,4

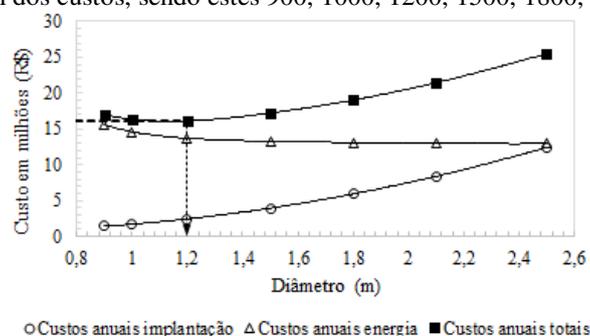
O custo anual da adutora, composto pela soma dos custos de implantação e operação para cada um dos diâmetros na primeira etapa, é apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2: Custos anuais totais da adutora para cada diâmetro estudado para a primeira etapa – em milhões de reais.**

$D$ (m)	Implantação	Operação	Total
<b>0,9</b>	1,3	15,6	16,9
<b>1,0</b>	1,6	14,6	16,2
<b>1,2</b>	2,3	13,7	16,0
<b>1,5</b>	3,6	13,3	16,9
<b>1,8</b>	5,5	13,1	18,6
<b>2,1</b>	7,7	13,1	20,8
<b>2,5</b>	11,4	13,0	24,5

Os resultados das demais etapas se aproximaram dos apresentados na primeira etapa. A Figura 5, traçada a partir da média dos custos com implantação, operação e totais das três etapas analisadas, permite estimar o ponto onde o diâmetro possui o custo mínimo, ou seja, o diâmetro ótimo, sendo este igual a 1200 mm. Pode-se considerar ainda o diâmetro de 1000 mm, cujo valor final se aproxima muito do ótimo, como uma solução econômica também.

Os diâmetros encontrados foram comparados com os obtidos pelo método da variação linear dos custos das tubulações e pelo método baseado no peso das tubulações. O processo de cálculo consistiu em obter os diâmetros econômicos a partir das equações (8) e (12), tendo como diâmetros de anteprojeto os mesmos utilizados pela avaliação real dos custos, sendo estes 900, 1000, 1200, 1500, 1800, 2100 e 2500 mm.



**Figura 5: Custos anuais médios por etapa de construção da adutora de acordo com diâmetro.**

Visando exemplificar os resultados encontrados no processo de cálculo destes métodos comparativos, estão representados na Tabela 3 os diâmetros ótimos resultantes para cada um dos diâmetros de anteprojeto, referente a primeira etapa, pelo método baseado no peso das tubulações.

**Tabela 3: Diâmetros – método baseado no peso das tubulações para a primeira etapa.**

Diâmetro anteprojeto (mm)	Diâmetro encontrado (mm)	Diâmetro ótimo (mm)
900	1067,95	1000
1000	1068,93	1000
1200	1069,90	1000
1500	1069,80	1000
1800	1067,30	1000
2100	1066,84	1000
2500	1068,16	1000

Pode-se concluir, a partir dos resultados obtidos por estes dois métodos, que o diâmetro econômico está entre valores de 1000 e 1200 mm, assim como encontrado pela avaliação real dos custos. Para os diâmetros econômicos de 1000 e 1200 mm tem-se, pela equação (1), os valores da constante  $k$  iguais a 0,70 e 0,85, respectivamente. Para valores usuais de  $k$  entre 0,7 e 1,6, o diâmetro comercial é da ordem de 1500 a 1800 mm, o que representa um acréscimo de 1 a 3 milhões de reais nos gastos anuais com a adutora.

Analisando outro sistema adutor de Uberlândia, o Sistema de produção de água Bom Jardim, constituído pelo mesmo material aqui estudado e recalçando uma vazão de 1200 L/s por linha adutora, ao calcular-se o diâmetro pela fórmula de Bresse, para a restrição de intervalo aqui proposta, chegou-se a valores condizentes com a realidade aplicada, um diâmetro de 960 mm. Entretanto, conforme Richter (1983), Gomes (2001) e Guimarães (2009), para sistemas de menor porte os intervalos da constante  $k$  se alteram.

## CONCLUSÕES

Diante dos vários estudos desenvolvidos com a filosofia de diminuir a incerteza da equação de Bresse, cabe ao projetista adequar os dados destas pesquisas com a situação enfrentada. Assim, pode-se dizer que o estudo da variabilidade da constante  $k$  da equação de Bresse é de difícil conclusão, quanto a valores únicos aplicáveis a todas as situações.

Todavia, como apresentado neste estudo, a análise envolvendo todos os custos de instalação e operação de um sistema, considerando uma gama de diâmetros, é fundamental para a economia em um empreendimento. Independente da aplicabilidade da faixa de valores para a constante  $k$  encontrada, a apresentação de métodos econômicos de dimensionamento de adutoras, como opção à equação de Bresse, pode contribuir para sua maior disseminação no meio acadêmico e profissional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÁVILA, G.S.. *Hidráulica General*. México, Editora Limusa, 1975.
2. ANDRADE, J. B.. *Notas de aula*. Goiânia: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2003.
3. CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais S.A.. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/pt-br/Paginas/homepage.aspx>> Acesso em 28 de novembro de 2014.
4. DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia. Disponível em <<http://www.dmae.mg.gov.br/>>. Acesso em 23 de novembro de 2014.
5. DNIT. *Manual de Pavimentação*. Publicado IPR-719. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. 2006.
6. FILIPPO, S.. *Saneamento Básico I*. Instituto Militar de Engenharia. Apostila. 2002

7. FREIRE, P. K. C.. *Estudo comparativo entre metodologias de dimensionamento econômico de adutoras*. 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
8. GARCEZ, L. N.. *Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária*. 2ª edição, Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1981.
9. GERMER, A. A.. *Blocos de Ancoragem - Metodologia de Dimensionamento*. 1996. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
10. GOMES, H. P.. *Dimensionamento Econômico de Instalações de Recalque*. Revista de Engenharia Ambiental, ABES, v.6, n.3, p.108 -114. jul./set.,2001.
11. GUIMARÃES, F. F. C.. *Caracterização do diâmetro econômico de Recalque considerando-se tubulações de RPVC*. 2009. 15f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2009.
12. NBR 12215. *Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público*. – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1991.
13. NBR 12266. *Projeto e Execução de Valas para Assentamento de Tubulação de Água, Esgoto ou Drenagem Urbana*. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992.
14. NETTO, J. M. A. et al.. *Manual de Hidráulica*. São Paulo, 8ª edição, Editora Edgard Blucher, 1998.
15. ORSE. Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe. Disponível em: <<http://www.cehop.se.gov.br/orse/>>.
16. PERRONI, B. L. T. et al.. *Velocidade econômica de escoamento e custos de energia de bombeamento*. Revista Engenharia Agrícola, v.31, n.3, p.487-496. maio/jun., 2011.
17. PORTO, R. M.. *Hidráulica Básica*. São Carlos, 4ª edição, Editora EESC – USP, 2006.
18. RICHTER, C. A.. *Diâmetro econômico das canalizações de recalque (adaptação e atualização da fórmula de Koch e Vibert)*. Revista DAE, n.133,p.33-34. jun., 1983.
19. SEINFRA. Secretaria da Infraestrutura do Governo do Estado do Ceará. Disponível em <<http://www.seinfra.ce.gov.br/index.php/tabela-de-custos>>.
20. SETOP. *Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas*. Disponível em: <<http://www.transportes.mg.gov.br/>>.
21. SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índice da Construção Civil. Disponível em: <[http://www1.caixa.gov.br/gov/gov\\_social/municipal/programa\\_des\\_urbano/SINAPI/index.a](http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/index.a)>.
22. TSUTIYA, M. T.. *Abastecimento de Água*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 3ª edição, 2006