



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

GRACO JOSÉ FARIAS BARBOSA DE ALMEIDA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS POR
RECALQUE – O EXEMPLO DO SISTEMA TRANSPARAÍBA – SEGMENTO II**

CAMPINA GRANDE

2021

GRACO JOSÉ FARIAS BARBOSA DE ALMEIDA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS POR
RECALQUE – O EXEMPLO DO SISTEMA TRANSPARAÍBA – SEGMENTO II**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Janiro Costa Rêgo

CAMPINA GRANDE

2021

GRACO JOSÉ FARIAS BARBOSA DE ALMEIDA

**CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS POR
RECALQUE – O EXEMPLO DO SISTEMA TRANSPARAÍBA – SEGMENTO II**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, para encerramento do componente
curricular e conclusão da graduação em
Engenharia Civil.

Aprovado em: _____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Nota

Professor Janiro Costa Rêgo – UFCG

Orientador

Nota

Professor Carlos de Oliveira Galvão – UFCG

1º Examinador

Nota

Eng.^a Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

2º Examinador

DEDICATÓRIA

Ao meu Pai, Silvino Araújo Barbosa de Almeida (*in memoriam*), por todos os momentos que passamos juntos, com tantos ensinamentos e orientações para minha vida. Meu eterno obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me dar forças, discernimento e paciência para chegar a conclusão da minha graduação.

Ao meu pai, Silvino Almeida (*in memoriam*), meu maior mestre de vida.

À minha mãe, Sandra Farias, por todo amor, carinho e cuidado.

À minha namorada, Emanuelle, por ser minha companheira de vida, estando comigo em todos os momentos, sempre me aconselhando e me guiando para os bons caminhos.

Ao meu irmão mais velho, Bartos, pela sua permanente atenção e preocupação comigo.

Aos meus irmãos, Felipe, Simão Neto e Gustavo, por toda a vivência e carinho.

Aos meus tios, Simãozinho (*in memoriam*) e Edson, por ser meus incentivadores de profissão, exemplos de competência e amor à Engenharia Civil.

À Claudete, por todo cuidado e dedicação por tantos anos para comigo.

Às minhas tias, Margarida, Socorro (*in memoriam*) e Filomena (*in memoriam*).

Ao meu orientador, Janiro Costa Rêgo, pela disponibilidade e orientações.

Ao amigo Marlon Andrade e Família, por segurar a minha mão e me incentivar na hora mais decisiva da minha vida até então, meu muito obrigado.

Aos professores de graduação, Antônio Carlos Buriti da Costa, Soahd Rached Farias e Iana Rufino, pelos momentos em que me estenderam as mãos neste percurso universitário.

Ao NEPME, em nome de Karina Trindade de Albuquerque Cavalcante, saúdo todos os colegas, por todo apoio e disposição para que fosse possível a realização desta etapa.

Aos amigos de caminhada, Renan Almeida, Samara Almeida, Jefferson Macêdo, Mickael Petrônio, Ana Macêdo, Nicanor Barroso, Fabiana Henriques, Gibran Yasser, Fernando Batista, Mailson Cartaxo, por serem confidentes de sonhos e angústias.

Ao casal, Kamila Massoqueto e Lucas Frutuoso, pela amizade e confiança.

Aos examinadores, Carlos de Oliveira Galvão e Bárbara Barbosa Tsuyuguchi, por aceitarem o convite de compor a banca examinadora.

À Universidade Federal de Campina Grande e demais docentes que contribuíram para a minha formação, repassando suas experiências e conhecimentos através de suas aulas ministradas com dedicação.

“A mais bela e marcante herança que um pai pode deixar a seu filho é a construção do caráter e os passos a serem seguidos.”

Autor desconhecido.

CONSIDERAÇÕES SOBRE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS POR RECALQUE – O EXEMPLO DO SISTEMA TRANSPARAÍBA – SEGMENTO II

Graco José Farias Barbosa de Almeida¹

RESUMO

As adutoras como parte direta do sistema de abastecimento de água, têm a função de fazer o transporte da água bruta captada nos mananciais até a estação de tratamento de água para em seguida, abastecer a população. No projeto de uma adutora por recalque devem ser considerados diversos fatores técnicos e econômicos para a construção de um sistema seguro, a combinação desses fatores resulta na escolha apropriada do diâmetro da tubulação. Este trabalho consiste de um estudo de caso empregando, dentre vários, três métodos de dimensionamento: Método baseado no Peso das Tubulações, Método da Variação Linear dos Custos das Tubulações e Método da Avaliação Real dos Custos. Foi analisado o Sistema Adutor Transparaíba, cuja construção objetiva proporcionar segurança hídrica para mais de 200 mil pessoas das regiões do Agreste, Cariri e Curimataú do estado da Paraíba para os próximos 30 anos. Os dados do projeto da adutora de água bruta foram utilizados para aplicação dos métodos de dimensionamento, e de acordo com os resultados obtidos, verificou-se que os métodos são falhos e limitados pelas dificuldades de avaliação prática dos custos incidentes na implantação, operação e manutenção de um sistema, por não levar em conta os custos dos conjuntos motobomba e da manutenção do sistema. Em contrapartida, o projeto realiza uma análise econômica detalhada, porém, deixa de testar o diâmetro de 700mm. Conclui-se, satisfeitas as necessidades hidráulicas, que o diâmetro econômico deve ser aquele capaz de garantir o menor custo para o sistema, considerando as diversas expensas incidentes.

Palavras-chaves: Sistema Adutor Transparaíba, Métodos de Dimensionamento, Diâmetro Econômico.

¹ Aluno do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

ABSTRACT

The mains, as a direct part of the water supply system, are to transport the raw water collected from the springs to the water treatment station, and then supply the population. In the design of a pipeline for settlement, several technical and economic factors must be considered for the construction of a safe system, the combination of these factors results in the appropriate choice of the diameter of the pipe. This work consists of a case study employing, among several, three dimensioning methods: Method based on the Weight of Pipes, Method of Linear Variation of Pipe Costs and Method of Real Evaluation of Costs. The Transparaíba Adductor System was analyzed, whose construction aims to provide water security for more than 200 thousand people from the regions of Agreste, Cariri and Curimataú in the state of Paraíba for the next 30 years. The raw water pipeline design data were used to apply the sizing methods, and according to the results obtained, it was found that the methods are flawed and limited by the difficulties of practical assessment of the costs incurred in the implementation, operation and maintenance of a system, as it does not take into account the costs of the pump sets and the maintenance of the system. On the other hand, the project carries out a detailed economic analysis, however, it fails to test the 700mm diameter. It is concluded, having satisfied the hydraulic needs, that the economic diameter must be the one capable of guaranteeing the lowest cost for the system, considering the various costs incurred.

Keywords: Transparaíba Adductor System, Dimensioning Methods, Economic Diameter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de um sistema de abastecimento público de água	19
Figura 2 - Linha piezométrica do fluxo d'água entre os pontos 1 e 2.....	21
Figura 3 - Captação por bombas flutuantes no Açude de Boqueirão	23
Figura 4 - Adutora Transparaíba - Trecho em estudo com peças especiais – Boqueirão - PB	23
Figura 5 - Vista aérea da futura ETA do Sistema Adutor Transparaíba - Boqueirão - PB.....	24
Figura 6 - Adutora por gravidade em conduto forçado.....	25
Figura 7 - Adutora por gravidade com trechos em conduto livre.....	25
Figura 8 - Adutora por recalque duplo.....	26
Figura 9 - Adutora mista com trecho por recalque e trecho por gravidade.....	27
Figura 10 - Despesa versus diâmetro, variação do custo total do sistema adutor	28
Figura 11 - Concepção do Sistema Adutor Transparaíba – Segmento II – 1ª Etapa.....	36
Figura 12 - Caminhamento da Adutora Transparaíba- Trecho EE1-AB/ETA- Boqueirão-PB	37
Figura 13 - Tubo de ferro fundido dúctil utilizado na obra (TDK7)	38
Figura 14 – Quadro de Custo de Implantação e Operação por Diâmetro	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade Média Econômica para Tubulações	30
Tabela 2 - Parâmetros extraídos do projeto original	47
Tabela 3 - Parâmetros e Resultados do Método baseado no Peso das Tubulações	48
Tabela 4 - Parâmetros e Resultados do Método da Variação Linear das Tubulações	49
Tabela 5 - Parâmetros e Resultado Método da Avaliação Real dos Custos – Dot 500mm	50
Tabela 6 - Parâmetros e Resultado Método da Avaliação Real dos Custos – Dot 600mm	50
Tabela 7 - Parâmetros e Resultado Método da Avaliação Real dos Custos – Dot 800mm	51
Tabela 8 - Métodos e Resultados.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

EEAB – Estação Elevatória de Água Bruta

EEAT – Estação Elevatória de Água Tratada

ETA – Estação de Tratamento de Água

PEAD – Polietileno de Alta Qualidade

TAU – Tanque de Amortecimento Unidirecional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 JUSTIFICATIVA.....	16
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1 A EVOLUÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO	17
4.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	17
4.3 FUNDAMENTOS HIDRÁULICOS	19
4.3.1 PERDAS DE CARGAS.....	21
4.4 LINHAS ADUTORAS	22
4.4.1 ADUTORAS POR GRAVIDADE.....	25
4.4.2 ADUTORAS POR RECALQUE	26
4.4.3 ADUTORAS MISTAS	27
4.5 DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA TUBULAÇÃO.....	27
4.5.1 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	29
4.5.1.1 FÓRMULA DE BRESSE	29
4.5.1.2 FÓRMULA DE DACACH	30
4.5.1.3 METODOLOGIA PROPOSTA POR LENCASTRE	31
4.5.1.4 MODELO PROPOSTO POR RAMOS	32
4.5.1.5 MODELO PROPOSTO POR SÁ MARQUES E SOUSA	32
5 METODOLOGIA	34
5.1 O SISTEMA ADUTOR ESTUDADO	34
5.2 METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO	39
5.2.1 MÉTODO BASEADO NO PESO DAS TUBULAÇÕES	39

5.2.2 MÉTODO DA VARIAÇÃO LINEAR DOS CUSTOS DA TUBULAÇÃO	42
5.2.3 MÉTODO DA AVALIAÇÃO REAL DOS CUSTOS.....	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
6.1 MÉTODO BASEADO NO PESO DAS TUBULAÇÕES	47
6.2 MÉTODO DA VARIAÇÃO LINEAR DAS TUBULAÇÕES.....	48
6.3 MÉTODO DA AVALIAÇÃO REAL DOS CUSTOS.....	49
6.4 RESUMO DOS RESULTADOS	51
7 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O fornecimento de água tratada para a população foi uma revolução dentro dos padrões de qualidade necessários para uma vida digna. Dentre as atividades relacionadas ao saneamento, como limpeza urbana, manejo de águas pluviais, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos, entre outras, está a do abastecimento de água potável.

Como parte direta de um sistema de abastecimento, as adutoras têm a função de fazer o transporte da água bruta captada nos mananciais até a estação de tratamento de água e em seguida, abastecer de água tratada os reservatórios para a distribuição em residências, indústrias, setores públicos e o comércio em geral. As adutoras são responsáveis por levar a água às regiões com escassez, independente da distância, desde que se tenha um projeto de acordo com as leis, resoluções e normas vigentes, relacionadas com a execução, operação, meio ambiente e arqueologia e logística.

No projeto de uma adutora por recalque devem ser considerados diversos fatores técnicos e econômicos para a construção de um sistema seguro e a combinação desses fatores resulta na escolha apropriada do diâmetro da tubulação. Para isso são aplicados métodos de dimensionamento econômico, que apontam a seção transversal da tubulação a ser utilizada. Os modelos mais apropriados para o caso em tela serão apresentados neste estudo.

O presente trabalho compara o resultado encontrado e fornecido pelo projeto Sistema Adutor do Transparaíba com os de outras três metodologias (método baseado no peso das tubulações, método da variação linear dos custos das tubulações e o método da avaliação real dos custos) tendo como objetivo avaliar as dificuldades e as possíveis consequências da aplicação de cada um desses métodos. O método adotado originalmente pelo projeto não é especificado, porém, é possível observar que a forma como foi calculado se assemelha com o método de avaliação real dos custos.

No capítulo 4 deste trabalho, Revisão Bibliográfica, são apresentados alguns conceitos básicos referentes ao abastecimento de água e linhas adutoras, seus tipos e como funcionam. Também são introduzidos conceitos hidráulicos referentes às tubulações e seus sistemas para um melhor entendimento do processo de dimensionamento, com a apresentação de alguns fatores determinantes.

No capítulo 5, Metodologias, é apresentado o caso de estudo para um melhor conhecimento da obra, seus objetivos e metas a serem alcançadas num horizonte de tempo determinado, como também são descritas as metodologias de dimensionamento utilizadas nesse estudo. São apresentados todos os fatores (parâmetros) utilizados para se chegar ao

resultado de cada método. São também abordados parâmetros tanto de execução como de operação do sistema.

Em Resultados e Discussões, capítulo 6, apresenta-se a aplicação das metodologias de dimensionamento econômico inseridas no capítulo anterior. Em seguida, há a comparação com os resultados obtidos e fornecidos pelo projeto Sistema Adutor Transparaíba.

No capítulo 7, encontram-se as conclusões do estudo de caso realizado neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar comparativamente o emprego de diferentes métodos de dimensionamento de um sistema adutor por recalque.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o dimensionamento do diâmetro econômico de um trecho do Sistema Adutor Transparaíba, Segmento II;
- Avaliar a influência relativa de diversos parâmetros na determinação do diâmetro econômico;
- Comparar os resultados obtidos, através dos métodos escolhidos, com os resultados do projeto Sistema Adutor Transparaíba.

3 JUSTIFICATIVA

As adutoras por recalque, diferentemente das adutoras por gravidade, têm a energia para o escoamento vinda de um conjunto elevatório acionado por uma fonte de energia.

Esse escoamento acontece através de tubos, que hidraulicamente, podem ter qualquer diâmetro, desde que atendidas as condições técnicas. Dessa forma, a escolha pelo tubo mais apropriado se dá através de uma análise econômica, visando otimizar o sistema. Para isso, são aplicados métodos de dimensionamento que tentam encontrar a melhor solução.

Neste caso, percebe-se nos métodos a consideração de diversos fatores que serão essenciais na análise e no resultado para o diâmetro mais econômico, conseqüentemente construindo um sistema com o melhor custo benefício para adução. Os custos de implantação e de operação devem ser cuidadosamente analisados para que, dentro do horizonte de projeto, tenha-se garantias de segurança e eficiência.

Desse modo, observamos a importância da análise e validade dos diversos métodos de dimensionamento aplicáveis.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A EVOLUÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO

A ideia do saneamento básico surgiu nos tempos primórdios das civilizações, quando se notou que o aparecimento de diversos tipos de doenças e infecções estavam diretamente ligadas ao uso e contato por parte da população com água sem tratamento e o esgoto a céu aberto. Diversas civilizações, como a Suméria, na região da Mesopotâmia, e posteriormente o Império Romano, foram marcos na contribuição dessa nova ideia e estilo de vida por parte da sociedade. Os sumérios iniciaram em 3.750 a.C. os complexos sistemas de canais de irrigação e de navegação. Os Romanos com as grandes obras de abastecimento de água e esgotamento sanitário e pluvial, até a criação de complexos sistemas prediais de água, tiveram grande importância nesse desenvolvimento, com obras que até hoje são exemplos e algumas que ainda continuam em funcionamento da época, se preocuparam com a qualidade da água e pela criação de medidas sanitárias, a fim de melhorar a saúde de sua população. Esses povos efetuavam sua implantação em sítios próximos de cursos d'água, que pudessem proporcionar o suprimento de água para seu consumo e higiene humana, entretanto, nem sempre a água estava disponível na região escolhida e nem na quantidade demandada.

No contexto da sociedade atual aparece a Engenharia de Recursos Hídricos entendida como de extrema importância, uma vez que a água se transformou em um bem econômico essencial, que se insere cada vez mais em todas as atividades humanas. Como parte desse contexto, Cirilo (2003) discorre que, em Saneamento Básico, a Hidráulica desempenha papel importante em grande parte dos empreendimentos. Presente desde a captação, adução e distribuição de águas de abastecimento urbano e industrial, até os sistemas de coleta e esgotamento sanitário e de drenagem pluvial, passando pelas estações de tratamento de água e esgoto.

4.2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Entende-se por concepção de sistema de abastecimento de água, o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização completa do sistema a projetar (TSUTIYA, 2008).

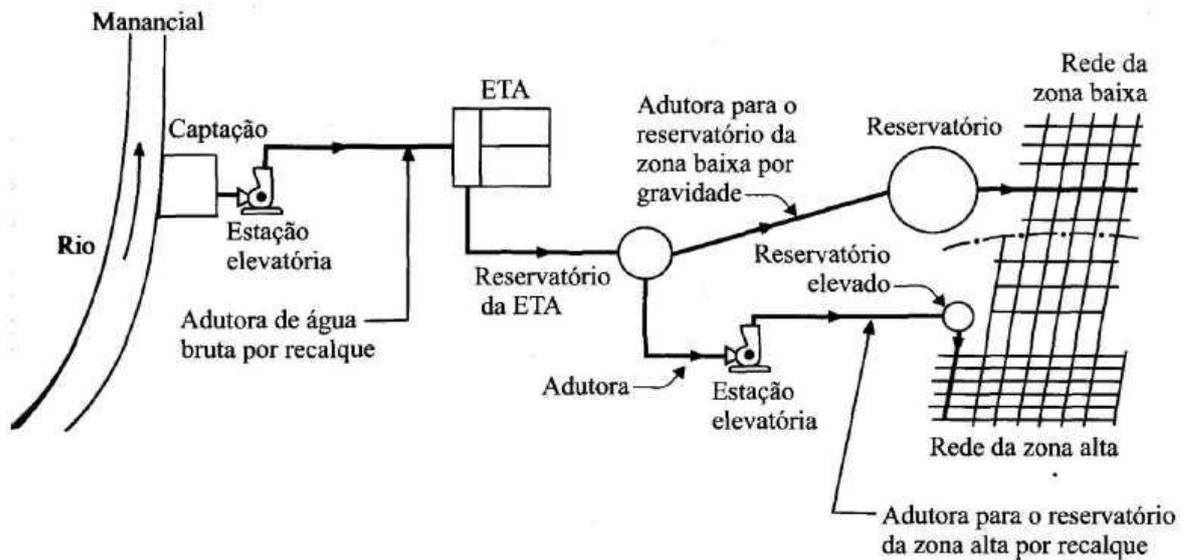
Segundo Azevedo Netto (1998), define-se por sistema de abastecimento de água como o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade, para fins de abastecimento doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos.

Conforme Heller (2008), os fatores condicionantes na concepção de uma dada instalação para o abastecimento de água são diversos. A consideração desses fatores sejam eles tanto como unidade individual, quanto seu conjunto de forma integrada, é de grande importância para garantir um projeto de qualidade para um sistema que venha a atender a demanda calculada num horizonte de tempo determinado. O porte da cidade, a densidade demográfica, o manancial escolhido, as características geológicas e geotécnicas e as instalações já existentes, entre outras, são exemplos dessas variáveis essenciais. De um modo geral, os sistemas convencionais de abastecimento de água são constituídos das seguintes partes:

- Manancial;
- Captação;
- Estação elevatória;
- Adutora;
- Estação de tratamento de água;
- Reservatório;
- Rede de distribuição.

De acordo com Garcez (1981) a sequência indicada acima não é obrigatória, assim como podem não existir algumas partes. A quantidade de água disponível poderá ser suficiente para satisfazer a demanda atual continuamente, ou, em caso contrário, não será suficiente, indicando a necessidade da construção de um reservatório de acumulação. Considerando a qualidade da água, ela satisfaz naturalmente os chamados padrões de potabilidade ou não, assim, quando os padrões não são satisfatórios, há a necessidade de se construir uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Quanto a posição altimétrica relativa da captação, poderá ser necessária a construção de Estação de Recalque (Bombeamento).

Figura 1 - Modelo de um sistema de abastecimento público de água



Fonte: Orsini,1996.

O trabalho apresentado dará um enfoque à unidade de adução, dentre as partes aqui citadas que contemplam um sistema de abastecimento de água.

4.3 FUNDAMENTOS HIDRÁULICOS

Duas equações fundamentais baseiam o deslocamento da água através de condutos forçados, são elas: equação da continuidade e equação da conservação de energia.

Azevedo Neto (1998) diz que um conduto é considerado forçado quando o líquido escoar sob pressão diferente da atmosférica, com a canalização funcionando sempre em seção cheia e o com o conduto totalmente fechado.

A equação da continuidade estabelece que para um escoamento permanente, a vazão, volume de água por unidade de tempo, mantém-se constante ao longo da extensão do conduto.

$$Q = A \cdot V = cte \quad (1)$$

Onde:

A – é a área da seção transversal do tubo, em m^2 ;

V – é a velocidade média de escoamento, m/s .

A equação da energia, baseada na equação de Bernoulli, estabelece que em um escoamento permanente entre duas seções de um conduto (de 1 para 2), a soma das energias de pressão, potencial e cinética na seção 1, é igual à soma destas mesmas energias na seção 2, mais as perdas de energia produzidas entre as duas seções. Segue a expressão:

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + J_{1-2} \quad (2)$$

Onde:

V – velocidade média do escoamento na seção considerada;

p – é a pressão na seção considerada;

γ – é o peso específico do fluido;

z – representa a cota do ponto médio da seção com relação a um determinado plano horizontal de referência, chamada energia potencial por unidade de peso;

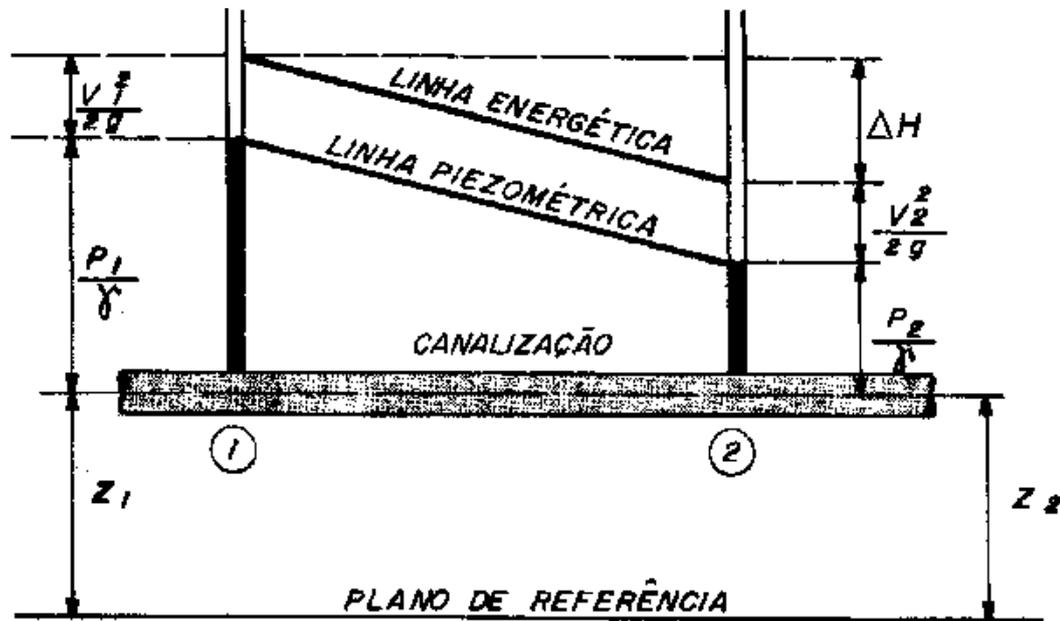
$\frac{p}{\gamma}$ – é a energia de pressão por unidade de peso;

$\frac{V^2}{2g}$ – é a energia de cinética por unidade de peso;

J_{1-2} – são as perdas de carga entre as seções 1 e 2 por unidade de peso.

Os termos da equação da energia possuem unidades de comprimento e se expressam em metros de colunas d'água. A representação gráfica das alturas ou cotas piezométricas ($H + z$), ao longo de uma tubulação, se denomina linha piezométrica (figura 2). Trata-se de uma linha reta, já que a perda de carga por atrito ao longo do conduto varia linearmente com a extensão dos tubos (GOMES, 1999).

Figura 2 - Linha piezométrica do fluxo d'água entre os pontos 1 e 2



Fonte: Gomes, 1999.

4.3.1 PERDAS DE CARGAS

Em um escoamento de um líquido de um ponto para outro qualquer no interior de um tubo, haverá uma perda de energia chamada de perda de pressão, que se dá principalmente ao atrito do fluido com uma camada estacionária aderida a parede interna do tubo.

Conforme Azevedo Netto (1998), no escoamento da água, a viscosidade é um importante fator a ser considerado, a mesma define a resistência ao escoamento no caso do escoamento laminar. No caso do escoamento em regime turbulento, a resistência é o efeito combinado de forças devidas à viscosidade e à inércia.

As canalizações incluem além dos tubos, peças especiais e conexões que, pela forma e disposição, aumentam a turbulência, causam atritos e provocam o choque de partículas, originando as perdas de carga.

Devem ser consideradas as perdas de carga apresentadas a seguir (Azevedo Netto, 1998):

- Perda por resistência ao longo dos condutos. Ocasionalmente pelo movimento da água na própria tubulação. Admite-se que esta perda seja uniforme em qualquer trecho de uma canalização de dimensões constante, independentemente da posição da canalização, e por isso também chamadas de perdas contínuas.

- Perdas locais, localizadas ou acidental. Provocadas pelas peças especiais e demais singularidades de uma instalação. Essas perdas são relativamente importantes no caso de canalizações curtas com peças especiais; nas canalizações longas, o seu valor frequentemente é desprezível, comparado ao da perda pela resistência ao escoamento.

As somas das perdas de carga localizada e ao longo do conduto serão equivalentes a perda de carga total do sistema adutor, um dos parâmetros necessários nas metodologias em estudo.

4.4 LINHAS ADUTORAS

Tsutiya (2006) define adutoras como as canalizações dos sistemas de abastecimento de água que conduzem a água para as unidades que precedem a rede de distribuição, e que interligam a captação, estação de tratamento e reservatórios e não distribui a água aos consumidores. Estabelece ainda que quando o sistema não consegue levar água a todos os pontos de localidade, são consideradas ramificações da adutora principal chamadas de subadutoras.

Tanto as adutoras como as subadutoras são unidades principais de um sistema de abastecimentos de água, onde deve-se analisar de forma criteriosa a elaboração do projeto para que se tenha uma implantação da obra eficiente. A correta locação de peças e dispositivos de segurança, órgãos acessórios, como ancoragens, descargas, ventosas e TAU's, faz com que a vida útil da adutora seja maior, evitando problemas de deslocamentos de peças e rompimentos de tubulações em pontos propícios a esforços.

Para Garcez (1981), entende-se por adução o conjunto de encanamentos, peças especiais e obras de arte destinadas a promover a circulação da água num abastecimento urbano entre:

- A captação e o reservatório de distribuição ou diretamente à rede de distribuição;
- A captação e a estação de tratamento;
- A estação de tratamento e o reservatório ou a rede de distribuição;
- O reservatório e a rede de distribuição.

Figura 3 - Captação por bombas flutuantes no Açude de Boqueirão



Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Figura 4 - Adutora Transparaíba - Trecho em estudo com peças especiais – Boqueirão - PB



Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Como visto na figura 3, o uso de bombas flutuantes é uma das formas de captação de água para um sistema adutor, sendo mais utilizada em épocas de seca, onde os níveis dos reservatórios estão abaixo da tomada de fundo das barragens, impossibilitando a

captação por gravidade. Na figura 4 é observado um trecho urbano, cidade de Boqueirão – PB, contendo peças especiais e posteriormente um bloco de ancoragem para proteção dessa estrutura. A perda de carga localizada nesse ponto é alta, devido as peças seguidas que foram montadas neste ponto.

Figura 5 - Vista aérea da futura ETA do Sistema Adutor Transparaíba - Boqueirão - PB



Fonte: Google Earth, 2021.

Discorre Azevedo Netto (1998):

Em função da natureza da água conduzida, as linhas adutoras e subadutoras podem ser denominadas: de água bruta ou água tratada. Quanto à energia utilizada para a movimentação da água, podem ser: linhas por gravidade (conduto livre ou conduto forçado); linhas por recalque ou linhas mistas, que são uma combinação das duas anteriores.

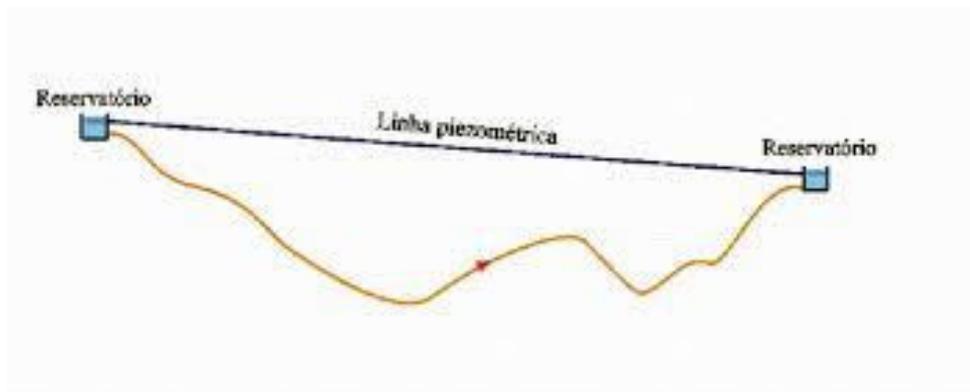
Azevedo Netto (1998) denomina condutos forçados, forma de trabalho da adutora tratada nesse estudo, como aqueles em que o perímetro molhado coincide com todo perímetro do conduto e que a pressão interna obrigatoriamente não coincide com a pressão atmosférica. É importante ressaltar que as seções desses condutos são sempre fechadas e que os mesmos trabalham de forma plena, ou seja, o líquido escoar enchendo-a totalmente. A forma do tubo pode variar, porém, se caso não houver menção sobre a sua forma, subentende-se que ela será circular.

As adutoras podem ser classificadas quanto à natureza da água transportada, sendo elas denominadas de adutoras de água bruta e adutoras de água tratada. Quando referida a energia utilizada para a movimentação da água, as adutoras são classificadas como adutora por gravidade, adutora por recalque e adutora mista.

4.4.1 ADUTORAS POR GRAVIDADE

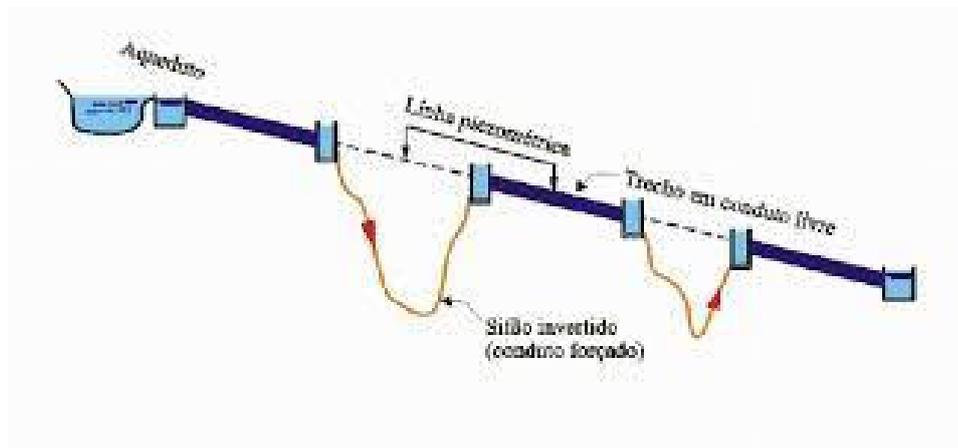
As adutoras por gravidade são aquelas que transportam a água de uma cota mais elevada para a cota mais baixa, sendo a sua adução feita em conduto forçado ou em conduto livre e, até mesmo conter trechos que os dois tipos de condutos são utilizados.

Figura 6 - Adutora por gravidade em conduto forçado



Fonte: Tsutiya, 2006

Figura 7 - Adutora por gravidade com trechos em conduto livre



Fonte: Tsutiya, 2006.

Para as adutoras por gravidade, apenas os custos da tubulação e de seu assentamento são relevantes. Portanto, do ponto de vista econômico, a determinação do diâmetro deste tipo de adutora se resume no aproveitamento máximo da seção da tubulação e na altura geométrica disponível. Os parâmetros para o cálculo da adutora são a vazão (Q), a velocidade (V), a perda de carga unitária (J) e o diâmetro (D).

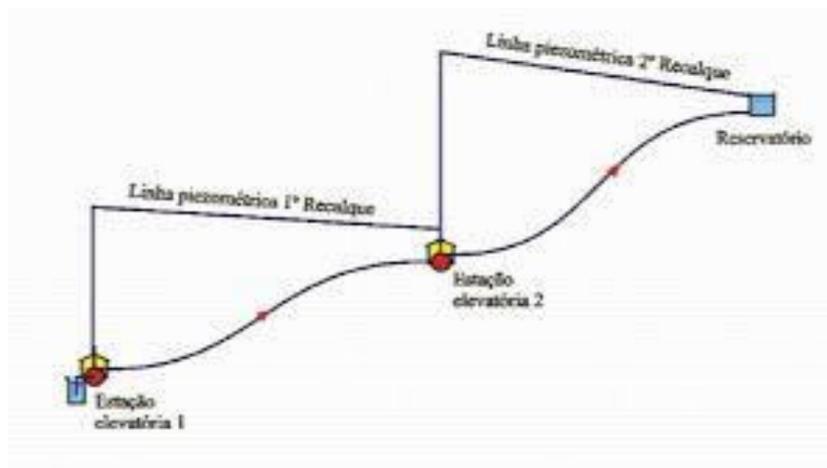
4.4.2 ADUTORAS POR RECALQUE

As adutoras por recalque transportam a água de um ponto a outro com cota mais elevada, através de estações elevatórias. Ao contrário das adutoras por gravidade, o diâmetro deste tipo de adutora é hidráulicamente indeterminado. Precisa-se considerar aspectos econômico-financeiros, conduzindo ao mínimo os custos de implantação, de operação e manutenção do sistema elevatório.

Tsutyia (2006) lista os seguintes critérios de análise:

- Aquisição e assentamento dos tubos, peças e aparelhos;
- Aquisição do conjunto motobomba adequado a cada valor do diâmetro;
- Operação, manutenção e consumo de energia elétrica;
- Amortização e juros.

Figura 8 - Adutora por recalque duplo



Fonte: Tsutyia, 2006.

4.4.3 ADUTORAS MISTAS

As adutoras mistas se compõem de trechos por recalque e de trechos em gravidade.

Figura 9 - Adutora mista com trecho por recalque e trecho por gravidade



Fonte: Tsutiya, 2006.

4.5 DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DA TUBULAÇÃO

Para se determinar uma tubulação de recalque é necessário considerar todo o conjunto elevatório a ela ligado seguindo um critério econômico.

Azevedo Netto (1987) lista os elementos:

- A vazão de adução, Q ;
- O comprimento da adutora, L ;
- O desnível a ser vencido, H_g ;
- O material de fabricação do conduto, que determina a rugosidade das paredes.

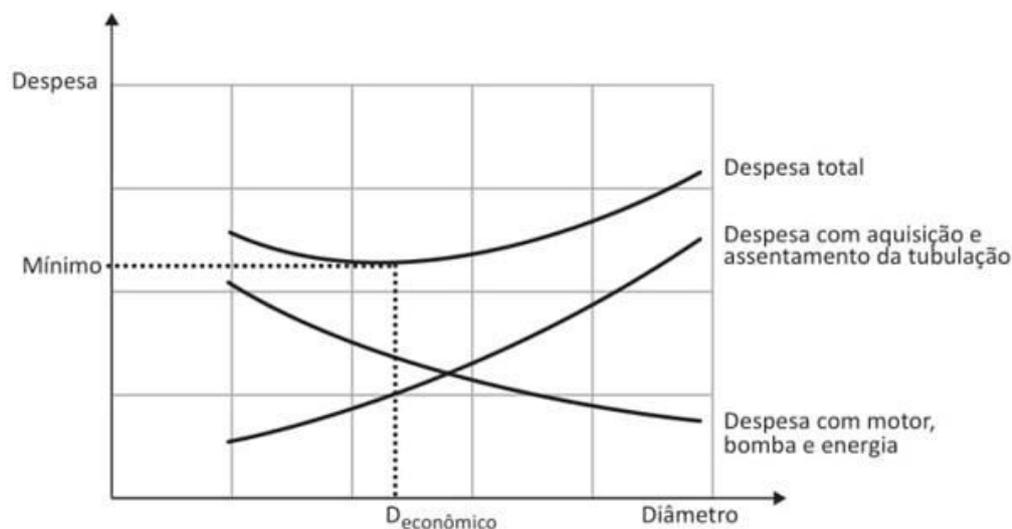
Segundo Cirilo (2003), o diâmetro da tubulação mais adequado, economicamente, para um sistema adutor, é aquele que consegue achar um equilíbrio nos custos de implantação e operação, ou seja, será o sistema que resultar em menor custo total das instalações.

Os custos de implantação e operação de um sistema adutor são antagônicos, isso quer dizer que a escolha de um diâmetro menor irá acarretar uma diminuição nos custos de implantação, porém o sistema necessitaria de uma altura manométrica e potências do conjunto motobomba mais elevadas, ocasionando custos maiores na operacionalização do sistema. Esse caso seria de forma contrária caso houvesse a escolha de um diâmetro maior para a adutora,

os custos de implantação seriam maiores, mas em contrapartida, seria usada um conjunto motobomba com menor potência em relação à primeira situação. Com essa combinação, chegamos à conclusão convicta sobre qual diâmetro ideal para se aplicar a esse projeto. Este diâmetro é chamado de diâmetro econômico.

A relação citada acima pode ser ilustrada através do gráfico da figura 7.

Figura 10 - Despesa versus diâmetro, variação do custo total do sistema adutor



Fonte: Cirilo, 2003.

A curva “Despesa com a tubulação” representa a variação dos custos da tubulação em relação ao diâmetro da tubulação; A curva “Despesa com energia” representa a variação dos custos de toda parte elétrica do sistema, como a implantação dos conjuntos motobomba, equipamentos e as despesas com energia; A curva “Despesa total” corresponde à soma dos custos das outras curvas, fornecendo os custos totais para o sistema. O ponto de menor custo representado pela curva “Despesa total” será o que corresponde ao diâmetro econômico.

Tratando dos parâmetros energéticos, considerando a vida útil dos projetos de instalações de recalque, os gastos com energia ultrapassam os custos de investimentos, em muitos casos podem chegar a 50%, aproximadamente, das despesas das companhias de saneamento.

Em resumo, é observado que na determinação do diâmetro econômico de adutora, existe um custo global da obra pelo somatório de dois termos (investimento inicial + encargos com a energia a fornecer ao sistema), o primeiro, custos de investimentos, relaciona a aquisição dos tubos, transporte dos mesmos e sua implantação, seja ela enterrada ou aérea. O

segundo, custos de exploração, contabiliza os custos relativos às estações elevatórias e às despesas com a energia consumida no bombeamento da água.

Do ponto de vista prático, o modo mais rigoroso de determinar o diâmetro econômico de uma adutora consiste em considerar vários diâmetros comerciais e efetuar uma avaliação dos custos de investimentos e dos custos de exploração correspondentes a cada um deles (MARQUES E SOUSA, 2009).

4.5.1 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento de um sistema adutor por recalque, há diferentes métodos que possibilitam chegar ao diâmetro mais adequado. Há metodologias mais simples e diretas, que trazem resultados superficiais para um pré-dimensionamento e que apenas norteiam para um possível aprofundamento de dados. Já outras trazem uma abordagem com mais parâmetros, que podem levar a um resultado mais viável.

Na implantação de uma adutora, o diâmetro do tubo interfere diretamente em todas as etapas. Desde a sua aquisição e instalação, até a operação do sistema. Na instalação impactam uma série de atividades como a escavação, uso de materiais de jazidas, recobrimento, bota fora e limpeza da área. Na operação, interferem na aquisição dos conjuntos motobombas e conseqüentemente na manutenção do sistema.

4.5.1.1 FÓRMULA DE BRESSE

A fórmula de Bresse foi uma das primeiras fórmulas da hidráulica para o dimensionamento econômico de tubulações, e que ainda hoje é usada. Ela é expressa da seguinte forma:

$$D = K\sqrt{Q} \quad (3)$$

Em que:

Q – É a vazão de adução, em m³/s;

D – É o diâmetro da tubulação, em m;

K – É o coeficiente de Bresse.

Esta equação permite o pré-dimensionamento do diâmetro. Os valores da velocidade média e do respectivo valor de K são mostrados na tabela 1:

Tabela 1 - Velocidade Média Econômica para Tubulações

Tipo de Tubo	Velocidade (m/s)	Coefficiente de Bresse (K)
Tubulação de Sucção em Bombas Centrifugas	0,50 a 1,00	1,10 a 1,60
Tubo de Descarga em Bombas	1,50 a 2,00	0,70 a 1,00
Redes de Distribuição para Água Potável		
Tubulação Principal	1,00 a 2,00	0,70 a 1,10
Tubulação Lateral	0,50 a 0,70	1,30 a 1,60
Tubos de Grande Diâmetro	1,50 a 3,00	0,70 a 1,00
Tubulações em Usinas Hidroelétricas		
Inclinação e Diâmetros Pequenos	2,00 a 4,00	0,60 a 0,80
Inclinação e Diâmetros Grandes	3,60 a 8,00	0,40 a 0,60
Horizontais e Grande Extensão	1,00 a 3,00	0,70 a 1,10

Fonte: Ávila, 2000.

Apesar dos valores exatos, o coeficiente K tem um grau de incerteza muito alto e irá depender da experiência do projetista à aplicação do resultado. De acordo com Heller e Pádua (2010), os valores mais frequentes para o dimensionamento de adutoras estão entre 0,8 e 1,4 e, por medida de segurança é usual adotar-se “K” igual a 1,2.

4.5.1.2 FÓRMULA DE DACACH

Dacach (1975), também desenvolveu uma fórmula simplificada para determinar o diâmetro econômico. Para aplicar seu modelo, utilizou a expressão da Equação 4.

$$D = 0,9 \cdot Q^{0,45} \quad (4)$$

Em que:

D e Q vêm em m e m³/s, respectivamente.

4.5.1.3 METODOLOGIA PROPOSTA POR LENCASTRE

Este método foi proposto por Lencastre (2003), cujo autor considera o custo por metro de tubulação, $C_{cond}(D)$, pode ser expresso em função do diâmetro, sendo calculado pela Equação 5.

$$C_{cond} = C_1 + C_2 \cdot D^\alpha \quad (5)$$

onde:

$$\beta = \frac{3}{5,33 + \alpha} \quad (6)$$

$$K_1 = [K_0]^{\beta/3} \quad (7)$$

$$K_2 = \left[\frac{2,6 \cdot 10^5}{\alpha \cdot C_2 \cdot K_s^2} \right]^{\beta/3} \quad (8)$$

$$K_3 = [p \times 10^{-3} \cdot nb_F]^{\beta/3} \quad (9)$$

Em que:

C_1 e C_2 e α são coeficientes que se obtêm da análise do custo total das tubulações finalizadas, cujos valores são definidos em função do tipo de material das tubulações.

Para o cálculo do diâmetro econômico utiliza-se uma sequência de fórmulas a seguir:

$$D = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot Q^\beta \quad (10)$$

onde:

$$\delta = t - tv / (1 + tv);$$

t - taxa anual de atualização;

tv - taxa anual dos volumes a aduzir;

n - período de exploração (anos);

K_s - coeficiente de rugosidade do interior da tubagem para a fórmula de Manning-Strickler;

p - custo médio do kWh;

nb_F - período de bombeamento no final do período de projeto (h).

4.5.1.4 MODELO PROPOSTO POR RAMOS

Para determinação do diâmetro ótimo, o autor utiliza uma formulação em diâmetros discreto sem que se analisa para o estudo apenas a participação de uma série de diâmetros comerciais, onde se considera encontrar o ótimo. Nesse método a função de custo $C_{cond}(D)$ é dada pela Equação 5. Ainda leva em conta a possibilidade do equipamento elevatório ser substituído num ano intermédio, nP , e a atualização do custo de energia por meio de uma taxa anual, tE . Para o cálculo do diâmetro ótimo é utilizado a Equação 5:

$$D = \left[\frac{W \cdot \Psi_1 \cdot (Q_{np}^N \cdot \Psi_2 + Q_n^N \cdot \Psi_3)}{C_2 \cdot \alpha} \right] \quad (11)$$

com:

$$W = \frac{9,8 \times 365}{3600 \eta} \cdot p \cdot k \cdot M \cdot V_0 \quad (12)$$

Onde:

$$\Psi_1 = \frac{C \cdot B}{C \cdot B - A}; \Psi_2 = \frac{C^{np} \cdot B^{np} - A^{np}}{A^{np}}; \Psi_3 = \frac{C^n \cdot B^n}{A^n} - \frac{C^{np} \cdot B^{np}}{A^{np}}$$

$$A = 1 + t; B = 1 + t_v; C = 1 + t_E$$

t – taxa anual de atualização do capital;

t_v – taxa anual de crescimento da vazão;

$C_2 e \alpha$ - coeficiente para o custo por metro linear da tubulação, $C_{cond}(\text{€})$,

obtidos para a expressão (5), em função do material da tubulação;

$$Q_{np}^N = \frac{v_0 (1+t_v)^n}{3600 nb} - \text{vazão elevada no ano horizonte de projeto (m}^3/\text{s);}$$

$$Q_n^N = \frac{v_0 (1+t_v)^{np}}{3600 nb} - \text{vazão elevada no ano de substituição dos conjuntos}$$

elevatórios (m³/s);

n – período de operação (anos);

p – custo médio do kWh (€/kWh);

4.5.1.5 MODELO PROPOSTO POR SÁ MARQUES E SOUSA

Nesse método os custos seguem a abordagem idêntica à do método 4.5.1.4, admitindo-se também uma variação linear dos custos com o diâmetro. Nos custos de exploração anuais

admite-se, por simplificação, que os custos de energia permanecem constantes ao longo de todo período de exploração. A Equação 8 permite obter o diâmetro que minimiza a função custo global.

$$D = \left[\frac{9,8M \cdot Fa \cdot k \cdot nba \cdot p}{c \cdot \eta} \right]^{\frac{1}{M+1}} \cdot Q_e^{\frac{N+1}{M+1}} \quad (13)$$

em que:

M, N – constantes para o cálculo das perdas de carga para uma expressão empírica do tipo $(J = k \cdot QN \cdot D^{-M})$ – perda de carga unitária;

$$Fa = (1+t)^n - 1;$$

$t \cdot (1+t)^n$ - fator de atualização num dado número de anos, n ;

k - coeficiente de perda de carga;

nba - número médio de horas de funcionamento das bombas por ano;

Q_e - caudal de elevação (m³/s);

η - rendimento global do conjunto motor-bomba;

p - custo médio do kWh.

5 METODOLOGIA

O estudo dá-se inicialmente com a coleta de dados do Projeto do Sistema Adutor Transparaíba, Segmento II, 1ª Etapa, cujo traçado geral pode ser visto na Figura 11. O trecho analisado tem uma extensão de 3.282 metros e trata-se do início da adutora, está localizado entre a Estação Elevatória de Água Bruta (EE1 – AB) e a Estação de Tratamento de Água (ETA), inteiramente no município de Boqueirão-PB. Obtidos os elementos constantes no memorial de peças técnicas (Consórcio SSA Transparaíba, 2019).

O projeto fornece em sua memória de cálculo um quadro denominado “Custo de Implantação por Diâmetro” (figura 14), com os dados, parâmetros, coeficientes, avaliação de custos, referência se resultados, onde ao final são apresentados três custos distintos para implantação da rede, relativos respectivamente a cada diâmetro que possa ser escolhido para aplicação, sendo eles de 500mm, 600mm e 800mm. Por conseguinte, a fácil comparação dos valores seleciona a dimensão do tubo a ser utilizado.

Procede-se então com a aplicação dos seguintes métodos: (1) baseado no Peso das Tubulações, (2) Variação Linear dos Custos da Tubulação e (3) da Avaliação Real dos Custos. Assim, como já observado, a conjunção dos diversos parâmetros influencia na escolha do diâmetro econômico, e recebe classificação distinta quanto à natureza dos dispêndios, tratados como custos de investimentos, custos de operação e custos de manutenção.

Será realizada uma análise comparativa, na qual o diâmetro que foi projetado para o sistema será comparado com os resultados obtidos através dos três métodos citados, balizando a escolha econômica pelos parâmetros das seções comerciais utilizadas pelo projeto.

5.1 O SISTEMA ADUTOR ESTUDADO

O Sistema Adutor Transparaíba é uma obra do Governo do Estado da Paraíba, que irá atender as populações de 38 municípios, com uma extensão de 350 km que garantirá a segurança hídrica para os moradores das regiões do Agreste, Cariri e Curimataú paraibano até o ano de 2050.

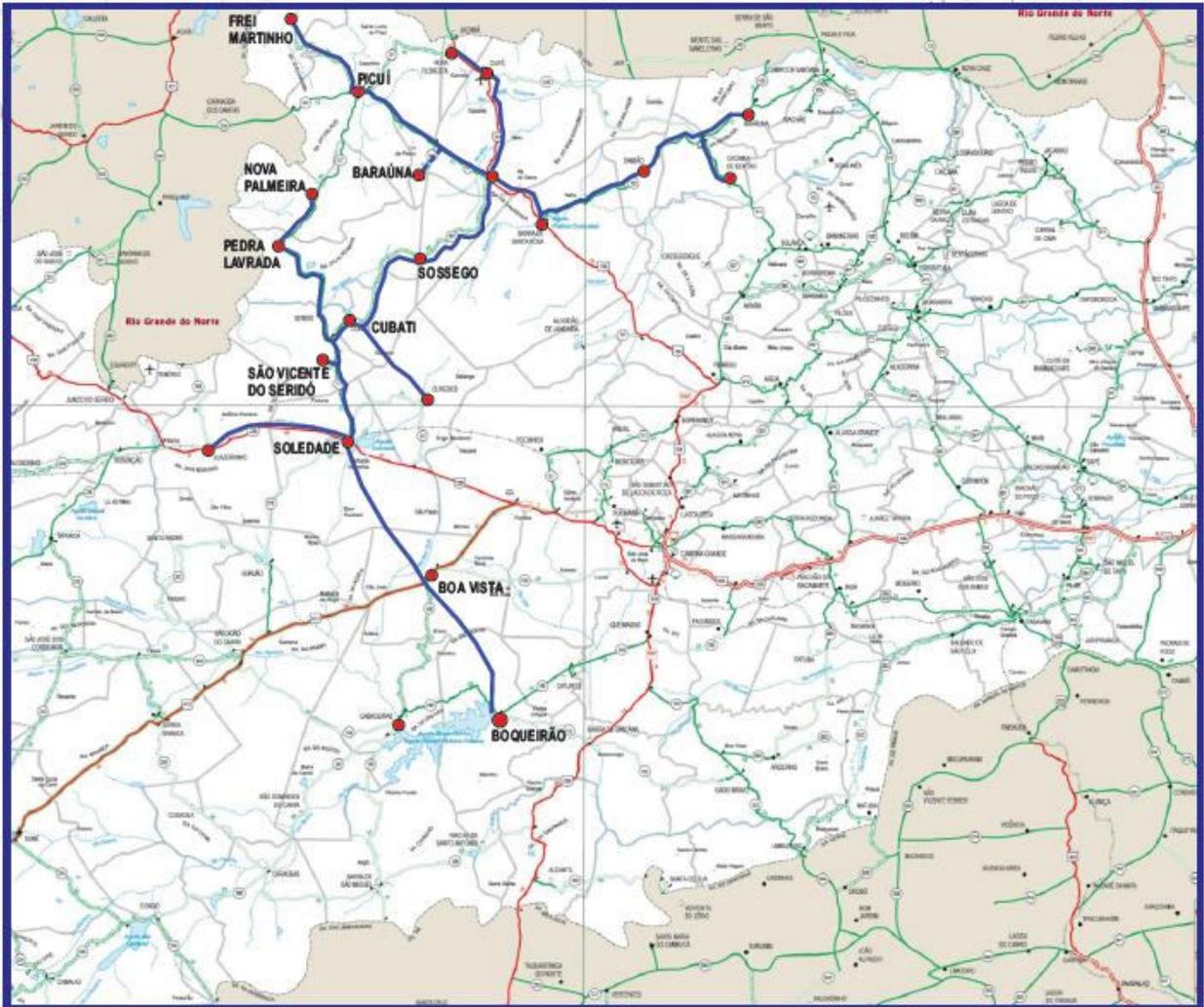
O Sistema Adutor Transparaíba ganhou relevância com a execução do Projeto de Integralização do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional, que tem o objetivo de dar segurança hídrica as regiões secas do Nordeste. Conforme estudos elaborados pela AESA no âmbito do Projeto de Integralização do Rio São Francisco, o manancial possui a seguinte capacidade de regularização:

- Vazão de Regularização com 100% de garantia.....1.230,00 l/s
- Vazão de Regularização com 95% de garantia.....2.000,00 l/s
- Vazão de Regularização com 90% de garantia.....2.780,00 l/s

Ao final de sua conclusão, essa obra beneficiará aproximadamente 200 (duzentos) mil habitantes. Temos as seguintes informações gerais:

População Beneficiada – Segmento II Boqueirão total (ano 2050)	205.865 hab.
Ano de alcance do projeto	2050
Percentual da população abastecida	100%
Per capita adotado para as localidades (entre 4.000 e 50.000 hab.)	150 l/hab./dia
Per capita adotado para as localidades (entre 1.000 e 4.000 hab.)	120 l/hab./dia
Per capita adotado para as localidades (entre 250 e 1.000 hab.)	80 l/hab./dia
Perdas do sistema	20%
Coefficiente do dia de máximo consumo (k1)	1,2
Coefficiente da hora de máximo consumo k2)	1,5
Coefficiente da hora de mínimo consumo (k3)	0,5
Vazão média diária do Segmento II Boqueirão (2050)	459,01 l/s
Vazão máxima diária do Segmento II Boqueirão (2050)	550,81 l/s
Vazão máxima horária do Segmento II Boqueirão (2050)	826,22 l/s

Figura 11 - Concepção do Sistema Adutor Transparaíba – Segmento II – 1ª Etapa



Fonte: CONSÓRCIO SSA TRANSPARAIBA, 2019.

Baseado no propósito de determinar o diâmetro econômico para o trecho adutor, o estudo da pesquisa é apresentado abaixo, com as seguintes características:

Através da figura 12, temos a vista aérea do caminhamento constante no escopo técnico projetado. É possível observar sua localização, denotando assim sua complexidade e relevância.

Figura 12 - Caminhamento da Adutora Transparaíba- Trecho EE1-AB/ETA- Boqueirão-PB



Fonte: Google Earth e CONSÓRCIO SSA TRANSPARAIBA, 2019.

Em dados técnicos, o trecho - Estação Elevatória de Água Bruta / Estação de Tratamento de Água - será composto pela adução de água bruta feita por bombas flutuantes (3 Flutuantes + 1 Reserva), utilizando linhas paralelas de tubulação em Polietileno de Alta Qualidade – PEAD por 176,0 metros que convergem para o mesmo ponto onde o líquido será recalado através de uma tubulação de Ferro Dúctil cimentado, Classe TDK-7, com extensão de 3.106,0 metros, totalizando os 3.282,0 metros de extensão do sistema proposto.

A principal fonte de informação da pesquisa é a memória de cálculo do Projeto Executivo do Sistema Adutor Transparaíba (CONSÓRCIO SSA TRANSPARAÍBA, 2019), onde obtém-se os elementos base a seguir:

Cota do N _{Amin} no poço de sucção	353,00 m
Cota do N _{Amax} no destino da Adutora	423,00 m
Extensão da linha	2.920,00 m
Vazão máxima diária	578,37 l/s
Material	TDK7
Velocidade	1,98 m/s
Perda de carga unitária	0,005184 m/m
Perda de carga localizada	0,59 m
Perda de carga total	15,72 m
Desnível geométrico	70,00 m
Altura manométrica	85,72 m

Os dados apresentados acima são obtidos a partir dos cálculos já realizados na elaboração do projeto. Assim como pode ser observado na figura 14, apresentada posteriormente no item 6, onde é possível observar os detalhes técnicos e toda a análise econômica realizada para o caso em tela.

Em relação ao material empregado na tubulação, trata-se tubos de ferro fundido dúctil, revestido internamente por argamassa de cimento alto-forno, e externamente de zinco metálico e pintura betuminosa. Tubo denominado pela empresa fornecedora de “TDK7”.

Figura 13 - Tubo de ferro fundido dúctil utilizado na obra (TDK7)



Fonte: Arquivo pessoal, 2019.

5.2 METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO

Neste trabalho, foram aplicadas três metodologias de dimensionamento econômico de linhas adutoras. O método baseado no peso das tubulações, onde o custo da tubulação é proporcional ao peso da mesma; o método da variação linear dos custos das tubulações, onde o custo da tubulação varia linearmente com o diâmetro; e o método da avaliação real dos custos, que considera os custos reais de operação do sistema, ponderados pelo diâmetro utilizado. Os dois primeiros apresentam como resultado o diâmetro, já o terceiro resulta em valores, sendo necessário avaliar qual diâmetro representa o menor custo total para a obra.

5.2.1 MÉTODO BASEADO NO PESO DAS TUBULAÇÕES

Baseado no peso das tubulações, o método de Melzer (1964), se firma na tese de que o custo do tubo é proporcional ao seu peso. A proporcionalidade é observada por meio de cálculos que partindo da análise da pressão interna presente na tubulação, considerando seu diâmetro e espessura, compara o equilíbrio entre as forças atuantes no tubo e permite estabelecer que o peso, e, por conseguinte, o custo da tubulação é proporcional ao quadrado do diâmetro, de modo que o custo será (FREIRE, 2000):

$$C(D) = C \cdot D^2 \quad (14)$$

Onde:

$C(D)$ - é o custo da tubulação por metro de comprimento, em R\$/m;

C - é o custo por metro de comprimento e por metro de diâmetro, em R\$/m². m;

D - é o diâmetro do tubo, em m.

Na concepção deste método os custos de um sistema de recalque são compostos por duas partes: o custo de instalação e os custos energéticos de operação.

A instalação do sistema é concebida onerosamente de forma anual, distribuída sobre os anos do horizonte de projeto. Assim temos a equação:

$$C_{INST} = C \cdot D^2 \cdot L \cdot a \text{ (reais/ano)} \quad (15)$$

Onde:

- C_{INST} - Custos anuais de instalação do sistema;
- C - custo por metro de comprimento e por metro de diâmetro, R\$/m . m;
- D - diâmetro do tubo, em m;
- L - comprimento da tubulação, em m;
- a - coeficiente de amortização anual do investimento.

Dentro dos custos de implantação, temos o coeficiente de amortização anual do investimento (a), que reflete a distribuição onerosa de maneira anual.

O coeficiente de amortização é obtido por juros compostos e é dado pela expressão:

$$a = \frac{(1+r)^T \cdot r}{(1+r)^T - 1} \quad (16)$$

Onde:

- r - é a taxa de juros, em decimal;
- T - é o período de amortização que normalmente é considerado igual à vida útil da instalação, em anos.

Em relação aos custos anuais com energia, tem-se a equação:

$$C_{ener} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot (H_g + h_f)}{\eta} \cdot n \cdot p \quad (17)$$

Onde:

- C_e - custo energético, R\$/ano;
- Q - vazão, em m³/s;
- H_g - altura geométrica de elevação, em m;
- h_f - perdas de carga na instalação, em m;
- n - horas de bombeamento, em horas/ano;
- η - rendimento global do conjunto motobomba, em decimal;
- p - preço do KWh, em R\$/KW.

Substitui-se a perda de carga por sua equação característica, onde utiliza-se o coeficiente de Darcy-Weisbach, o fator de atrito do tubo e a vazão requerida para se chegar na equação geral do custo total anual da instalação.

Por fim, será calculado o custo total anual do sistema adutor, que será definido pela soma dos custos de implantação e de energia:

$$C_T(D) = C_{INST} + C_{ener} \quad (18)$$

Em seguida, esta equação é derivada em relação ao diâmetro, assim encontrando a expressão para o diâmetro ótimo da tubulação, a seguir:

$$D_{OT} = 1,579 \left(\frac{\beta \cdot n \cdot p}{C \cdot a \cdot \eta} \right)^{0,143} Q^{0,43} \quad (19)$$

Onde:

D_{OT} – diâmetro ótimo, em m;

β – coeficiente da fórmula de Darcy-Weisbach e igual a

$$\beta = \frac{8f}{\pi^2 \cdot g} \quad (20)$$

η - rendimento global do conjunto motobomba, em decimal;

p – preço do KWh, em R\$/KW;

a – coeficiente de amortização anual do investimento;

C - é o custo por metro de comprimento e por metro de diâmetro, em R\$/m².

m;

n – horas de bombeamento, em horas/ano;

Q – vazão, em m³/s.

O diâmetro ótimo obtido na equação 19 pode não ser um diâmetro comercial, caso isso aconteça deverá ser realizada a aproximação para a seção comercial mais próxima, que poderá ser o consecutivo superior ou inferior. Sobre esse aspecto, Freire (2000) relata:

“A aproximação para o consecutivo superior se dará quando o valor do diâmetro ótimo teórico calculado esteja mais próximo do valor do diâmetro comercial consecutivo superior. Caso contrário a aproximação deverá ocorrer para o valor do diâmetro comercial consecutivo inferior.”

5.2.2 MÉTODO DA VARIAÇÃO LINEAR DOS CUSTOS DA TUBULAÇÃO

Segundo Freire (2000), o custo das tubulações varia linearmente com o diâmetro da mesma. O princípio exposto estabelece assim a seguinte relação:

$$C(D) = C \cdot D \quad (21)$$

Onde:

$C(D)$ - é o custo da tubulação por metro de comprimento, em R\$/m;

C - é o custo por metro de comprimento e por metro de diâmetro, em R\$/m . m;

D - é o diâmetro do tubo, em m.

Da mesma forma que o método anterior, os custos totais do sistema se refere aos custos de instalação e energia.

A instalação do sistema é concebida onerosamente de forma anual, distribuída sobre os anos do horizonte de projeto. A amortização anual do investimento, equação 16, também está presente na equação dos custos de instalação, assim temos:

$$C_{INST} = C \cdot D \cdot L \cdot a \text{ (reais/ano)} \quad (22)$$

Onde:

C_{INST} - Custos anuais de instalação do sistema;

C – custo por metro de comprimento e por metro de diâmetro, R\$/m . m;

D – diâmetro do tubo, em m;

L – comprimento da tubulação, em m;

a – coeficiente de amortização anual do investimento.

Em relação aos custos anuais com energia, utiliza-se os mesmos parâmetros que o do Método baseado no Peso das Tubulações, equação 17.

Substituindo a perda de carga por sua equação característica, onde utiliza-se o coeficiente de Darcy-Weisbach, o fator de atrito do tubo e a vazão requerida para se chegar na equação geral do custo total anual da instalação. Por fim, será calculado o custo total anual do

sistema adutor, que será definido pela soma dos custos de instalação e de energia, conforme equação 13.

Derivando $C_T(D)$ (equação 13) em relação ao diâmetro e igualando a zero para se obter o valor que minimiza tal função, temos a expressão do diâmetro ótimo a seguir:

$$D_{OT} = 1,913 \left(\frac{\beta \cdot n \cdot p}{C \cdot a \cdot \eta} \right)^{1,66} \sqrt{Q} \quad (23)$$

Onde:

D_{OT} – diâmetro ótimo, em m;

β – coeficiente de perdas de carga de Darcy-Weisbach, adimensional;

η – rendimento global do conjunto motobomba, em decimal;

p – preço do KWh, em R\$/KW;

a – coeficiente de amortização anual do investimento;

C – é o custo por metro de comprimento e por metro de diâmetro, em R\$/m. m;

n – horas de bombeamento, em horas/ano;

Q – vazão, em m³/s.

O coeficiente de Darcy-Weisbach (β) é encontrado a partir da equação 20.

Como o método anterior, o diâmetro ótimo obtido deverá ser arredondado para o diâmetro comercial mais próximo.

5.2.3 MÉTODO DA AVALIAÇÃO REAL DOS CUSTOS

Este método, como os demais, parte do princípio que o diâmetro mais econômico é aquele cujo soma dos custos anuais com relação à energia consumida, mais os custos de implantação do sistema adutor, é mínimo. Freire (2000). Em seguida, temos a expressão:

$$(C_{IMPLANT}) + (C_{ENERGIA}) = C_{min} \quad (24)$$

Ao contrário dos dois métodos citados anteriormente, diante dos diâmetros escolhidos para análise, conseqüentemente com seus dados característicos, o método chegará a resultados em forma de custos. A seção comercial adequada será a que tiver os menores custos totais.

O custo de implantação de um sistema adutor é dado pelo custo da tubulação instalada por metro de comprimento vezes o comprimento da tubulação. Como a instalação deve ter uma vida útil, deve-se conhecer a amortização anual do investimento, para isso devemos conhecer o fator de amortização (a). Assim, os custos anuais de implantação são dados por:

$$(C_{IMPLANT}) = C(D) \cdot L \cdot a \quad (\text{reais/ano}) \quad (25)$$

Na parte de operação do sistema, nesse método existem dois tipos de energia em um sistema de recalque. A energia útil, que é a energia necessária para recalcar a água a certa diferença de altura geométrica e a energia de perdas, que é a parcela de energia gasta para superar as perdas de carga do escoamento. Freire (2000) nos diz que o método de avaliação real dos custos utiliza para o cálculo de energia elétrica apenas a energia de perdas, pois a mesma está diretamente relacionada ao diâmetro da tubulação. A energia útil não tem relação com o diâmetro e só afeta o cálculo da energia total consumida.

Tem-se a seguinte equação para resultar os custos com energia de perdas:

$$C_e = \left(f \frac{L}{D_{OT}} + \Sigma K \right) \frac{8 \cdot Q^3}{\pi^2 \cdot D_{OT}^4 \cdot \eta} \cdot n \cdot p \quad (26)$$

Onde:

f – é o fator de atrito da tubulação, que se calcula a partir da fórmula de Colebrook;

D - é o diâmetro do tubo, em m;

L – é comprimento da tubulação, em m;

ΣK – é a soma dos coeficientes de perdas devido a válvulas, cotovelos, reduções, medidores, etc;

Q – vazão requerida, em m³/s;

η - rendimento global do conjunto motobomba, em decimal;

p – preço do KWh, em R\$/KW;

O diâmetro ótimo será aquele que resultar no menor custo total do sistema e a expressão deduzida para esse método é a seguinte:

$$C(D_{OT}) \cdot a \cdot L + \left(f \frac{L}{D_{OT}} + \Sigma K \right) \frac{8Q^3}{\pi^2 \cdot D_{OT}^4 \cdot \eta} \cdot n \cdot p = C_{min} \quad (27)$$

Ainda conforme Freire (2000) nesse método como se define um diâmetro já normalizado onde pressupõe que esteja o diâmetro ótimo, não há necessidade de aproximação como nos métodos anteriores.

Aplicando os métodos de dimensionamento apresentados, com base nos parâmetros fornecidos pelo projeto do Sistema Adutor Transparaíba, se estabelece o diâmetro econômico, resultado que será comparado com o diâmetro estabelecido no projeto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados da aplicação dos métodos já referidos ao exemplo do Sistema Adutor Transparaíba.

Os dados contidos na memória de cálculo do Projeto Executivo (CONSÓRCIO SSA TRANSPARAÍBA, 2019), como ora mencionado no item 5.1, são essenciais para suprir o desenvolvimento e a aplicação dos métodos de dimensionamento aqui trabalhados. De início é importante apresentar o quadro retirado do projeto que contém os principais parâmetros utilizados nos cálculos. Segue:

Figura 14–Quadro de Custo de Implantação e Operação por Diâmetro

Nº de Ordem	Discriminação	Vazão de Projeto p/ o ano 2050		
		500 mm	600 mm	800 mm
1	Vazão de dimensionamento (l/s)	578,37	578,37	578,37
2	Extensão do trecho (m)	3.282,00	3.282,00	3.282,00
3	Velocidade de escoamento (m/s)	2,85	1,98	1,12
4	Velocidade de escoamento (m/s) (c/ 1 bomba funcionando)	0,95	0,66	0,37
5	Material da Adutora	TDK7	TDK7	TDK7
6	Perda de carga unitária (m/km)	13,98	5,18	1,19
7	Perda de carga na linha (m)	45,88	17,03	3,92
8	Perdas localizadas $hf=k.v^2/2g$ (m)	3,83	0,47	0,97
9	Perda de carga total (m)	49,71	17,50	4,88
10	Cota do N _{Amin} do poço de sucção da EE	353,000	353,000	353,000
11	Cota do N _{Amáx} no destino do emissário	423,000	423,000	423,000
12	Altura geométrica (m)	70,00	70,00	70,00
13	Altura manométrica total (Hg + Hm) (m)	119,71	87,50	74,88
14	Cota da Linha Piezométrica na EE	472,71	440,50	427,88
15	Potencia consumida (Kwh)	816,64	596,93	510,85
16	Número de Conjuntos elevatórios	4,00	4,00	4,00
17	Potência necessária (CV)	1.109,56	811,04	694,09
18	Potência instalada (CV)	1.275,00	900,00	900,00
19	Potência instalada (CV)	938,40	662,40	662,40
20	Potência necessária (CV) (de cada bomba)	369,85	270,35	231,36
21	Potência instalada (CV) (de cada bomba)	425,00	300,00	300,00
22	Energia consumida no mês: 24 x 30 x P _c (Kwh)	587.979	429.788	367.810
23	Dispêndio anual de energia	1.830.118,42	1.321.175,70	1.197.895,78
24	Custo total de tubulação	2.348.342,54	3.050.084,13	4.512.158,02
25	Custo de uma bomba	80.000,00	75.000,00	70.000,00
26	Custo dos conjuntos elevatórios	320.000,00	300.000,00	280.000,00
27	Juros e amortização tubos: 30 anos, 12% a.a	291.429,31	378.515,44	559.958,81
28	Juros e amortização conj. elev.: 20 anos, 12% a.a	42.816,00	40.140,00	37.464,00
29	Manutenção dos conj. elevatórios: 5% a.a	16.000,00	15.000,00	14.000,00
30	Custo por metro de tubulação	715,52	929,34	1.374,82
	Total	2.180.363,72	1.754.831,14	1.809.318,59

Fonte: CONSÓRCIO SSA TRANSPARAÍBA, 2019.

Diante dos resultados apresentados no quadro, observa-se que os diâmetros testados na elaboração do projeto foram de 500mm, 600mm e 800mm. Para tanto, são demonstrados diversos coeficientes e parâmetros utilizados para chegar ao “Custo de implantação e

operação por diâmetro”. Extraímos (do quadro e da memória de cálculo) para utilização, os seguintes dados:

Tabela 2 - Parâmetros extraídos do projeto original

Descrição	Diâmetro		
	500mm	600mm	800mm
Vazão	578,37 l/s		
Extensão do trecho	3.282 m		
Potência Consumida(kWh)	816,64	596,93	510,85
Custo por metro de tubulação	715,52	929,34	1374,82
Perda de carga total	49,71	17,5	4,88
Rendimento do conjunto motobomba	0,83		
Horas de funcionamento do sistema(h)	8640		
Juros anual	12%		
Valor do kwh (R\$)	0,25		

Fonte: CONSÓRCIO SSA TRANSPARAÍBA, 2019.

A partir de então, fornecidos os dados com seus respectivos coeficientes, seguem os resultados obtidos na aplicação dos métodos, seguindo suas metodologias conforme descrito anteriormente no item 5.2.

6.1 MÉTODO BASEADO NO PESO DAS TUBULAÇÕES

De acordo com os dados fornecidos no projeto, segue tabela:

Tabela 3 - Parâmetros e Resultados do Método baseado no Peso das Tubulações

Coefficiente	Valor
β	$1,3 \cdot 10^{-3}$
n	8640
p	0,25
a	0,1241
η	0,83
Q	0,57873
C(D_{OT}) - 500mm	R\$ 2.862,08
C(D_{OT}) - 600mm	R\$ 2.581,50
C(D_{OT}) - 800mm	R\$ 2.148,15

A metodologia do método acima descrito explicita que a partir de um diâmetro de características já conhecidas (os três diâmetros do projeto) é possível encontrar o diâmetro ótimo da rede. Realizando os cálculos pertinentes, temos os seguintes resultados:

Para os dados de $D= 500$ mm, tem-se $D_{OT} = 641$ mm

Para os dados de $D= 600$ mm, tem-se $D_{OT} = 650$ mm

Para os dados de $D= 800$ mm, tem-se $D_{OT} = 668$ mm

Logo, de acordo com os resultados obtidos, o diâmetro adequado para a rede por este método (D_{OT}) é de 700 mm, por ser o diâmetro comercial mais próximo de todos os resultados.

6.2 MÉTODO DA VARIAÇÃO LINEAR DAS TUBULAÇÕES

De acordo com os dados fornecidos no projeto, segue tabela:

Tabela 4 - Parâmetros e Resultados do Método da Variação Linear das Tubulações

Coefficiente	Valor
β	$1,3 \cdot 10^{-3}$
n	8640
p	0,25
a	0,1241
η	0,83
Q	0,57873
C(D_{OT}) - 500mm	R\$ 1.431,04
C(D_{OT}) - 600mm	R\$ 1.548,90
C(D_{OT}) - 800mm	R\$ 1.718,52

A metodologia do método acima descrito explicita que a partir de um diâmetro de características já conhecidas (os três diâmetros do projeto) é possível encontrar o diâmetro ótimo da rede. Realizando os cálculos pertinentes, temos os seguintes resultados:

Para os dados de $D= 500$ mm, tem-se $D_{OT} = 753$ mm

Para os dados de $D= 600$ mm, tem-se $D_{OT} = 744$ mm

Para os dados de $D= 800$ mm, tem-se $D_{OT} = 731$ mm

Logo, de acordo com os resultados obtidos, o diâmetro adequado para a rede por este método (D_{OT}) é de 700 mm, por ser o diâmetro comercial mais próximo de todos os resultados.

6.3 MÉTODO DA AVALIAÇÃO REAL DOS CUSTOS

No Método da Avaliação Real dos Custos, diferentemente dos outros dois métodos analisados, o objetivo é encontrar dentre os diâmetros testados, qual gera o menor custo do sistema. Seguindo o quadro de estudo fornecido pelo projeto do Sistema Adutor do Transparaíba, figura 14, os cálculos serão feitos para os diâmetros de 500mm, 600mm e 800mm. Assim, temos:

Tabela 5 - Parâmetros e Resultado Método da Avaliação Real dos Custos – Dot500mm

Coeficiente	Valor
<i>C</i>	715,52
<i>L</i>	3282
<i>f</i>	0,015
(<i>D_{OT}</i>)	500
ΣK	49,71
<i>n</i>	8640
<i>p</i>	0,25
<i>a</i>	0,1241
η	0,83
<i>Q</i>	0,57837
$C_{\min(500mm)}$	R\$ 995.569,69

Tabela 6 - Parâmetros e Resultado Método da Avaliação Real dos Custos – Dot 600mm

Coeficiente	Valor
<i>C</i>	929,34
<i>L</i>	3282
<i>f</i>	0,015
(<i>D_{OT}</i>)	600
ΣK	17,5
<i>n</i>	8640
<i>p</i>	0,25
<i>a</i>	0,1241
η	0,83
<i>Q</i>	0,57837
$C_{\min(600mm)}$	R\$ 652.908,52

Tabela 7 - Parâmetros e Resultado Método da Avaliação Real dos Custos – Dot 800mm

Coefficiente	Valor
<i>C</i>	1374,82
<i>L</i>	3282
<i>f</i>	0,015
(<i>D_{OT}</i>)	800
ΣK	4,88
<i>n</i>	8640
<i>p</i>	0,25
<i>a</i>	0,1241
η	0,83
<i>Q</i>	0,57837
$C_{\min(800mm)}$	R\$ 625.689,85

Logo, de acordo com os resultados obtidos, o diâmetro adequado para a rede por este método (D_{OT}) é de 800 mm, por ser o diâmetro comercial que representa o menor custo de execução do sistema de adução.

6.4 RESUMO DOS RESULTADOS

Após a aplicação e obtenção dos resultados de todos os métodos, apresentamos tabela resumo:

Tabela 8 - Métodos e Resultados

Metodologia	Diâmetro testado	Resultado obtido	Resultado Solução
Método Baseado no Peso das Tubulações	D= 500mm	$D_{OT} = 641\text{mm}$	$D_{OT} = 700\text{mm}$
	D = 600mm	$D_{OT} = 650\text{mm}$	
	D = 800mm	$D_{OT} = 668\text{mm}$	
Método da Variação Linear dos Custos das Tubulações	D= 500mm	$D_{OT} = 753\text{mm}$	$D_{OT} = 700\text{mm}$
	D = 600mm	$D_{OT} = 744\text{mm}$	
	D = 800mm	$D_{OT} = 731\text{mm}$	
Método da Avaliação Real dos Custos	D= 500mm	R\$ 995.569,69	$D_{OT} = 800\text{mm}$
	D = 600mm	R\$ 652.908,52	
	D = 800mm	R\$ 625.689,85	

Fonte: O autor, 2021.

O critério utilizado para apontar o “resultado solução” contido na tabela acima, se baseia na aproximação dos resultados para o diâmetro comercial mais próximo.

7 CONCLUSÕES

Através da pesquisa realizada, observando a aplicação dos métodos de dimensionamento, é possível afirmar inicialmente que os principais critérios considerados por estas metodologias se resumem a: custo de instalação e custo de operação. No projeto da Adutora Transparaíba são utilizados, além destes, mais dois: o custo dos conjuntos elevatórios e o custo de manutenção.

O Método baseado no peso das tubulações e o método baseado na variação linear dos custos das tubulações apresentam diretamente como resultado o diâmetro econômico. Em contrapartida, o método da avaliação real dos custos se baseia nos mesmos diâmetros utilizados pelos métodos anteriores, para discernir, baseado nos custos, qual causa o menor dispêndio ao sistema, facilitando a escolha pela seção ideal a ser utilizada.

É válido afirmar que a aplicabilidade dos métodos é falha, tal fato se reconhece pelos resultados obtidos apresentarem diferença ao do projeto, a provável falha pode ocorrer devido a reduzida quantidade de critérios utilizados nos três métodos.

É importante ressaltar que o valor do tubo em si, não determina, apenas influencia no custo total para implantação e operação do sistema.

Dessa forma, percebe-se que os métodos de dimensionamento econômico são limitados e falham quanto à observância total dos custos incidentes na implantação, operação e manutenção da adutora. A real e prática avaliação econômica resultou num menor custo final, conforme se observa na figura 14.

Considerando que não é inserido nos cálculos do último método, o diâmetro de 700mm, apesar deste ter sido apontado como ótimo pelos dois primeiros métodos, o fato se dá por não ter havido, da mesma forma, a testagem deste diâmetro no projeto do Sistema Adutor Transparaíba. Na pesquisa não foi possível identificar o motivo que deu causa a este fato.

Essas questões podem advir de fatores incomensuráveis, como política de preço, contingências, estoque e disponibilidade do fabricante; dentre outros aspectos inclusive relativos à compra e fornecimento dos tubos, esta responsabilidade do Governo do Estado.

Desse modo, verifica-se a importância da escolha de um diâmetro de tubo que satisfaça as necessidades hidráulicas corretamente, com um menor custo de instalação, operação e manutenção para o sistema, considerando todos os critérios que geram custo, e garantindo segurança técnica, financeira e operacional.

REFERÊNCIAS

ÁGUA, Tratamento Portal. **Avaliação da eficiência hídrica em um sistema de abastecimento de água através da ferramenta de análise de ciclo de vida.** Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/eficienciahidricasistemaabastecimento/>>. Acesso em: 2 de jun de 2019.

ÁGUA, Tratamento Portal. **Estudo do atendimento das demandas de água em município do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/eficienciahidricasistemaabastecimento/>>. Acesso em: 2 de jun de 2019.

AVILA, G. S. **Hidráulica Geral, Volume I.** México: Editora Limusa, 1975.

CAGEPA. **Programa de segurança hídrica do Estado da Paraíba.** Disponível em: <<http://www.cagepa.pb.gov.br/programa-seguranca-hidrica-do-estado-da-paraiba-pshpb/>>. Acesso em: 02 de jun. de 2019.

CIRILO, José Almir. **Hidráulica Aplicada.** 2 ed. Porto Alegre: ABRH, 2003.

CONSÓRCIO SSA TRANSPARAÍBA. **Projeto Básico e Executivo do Sistema Adutor Transparaíba** (Adutora Borborema – SII – 1ª Etapa), 2019.

FREIRE, Paula Kristhina Cordeiro. **Estudo comparativo entre metodologias de dimensionamento econômico de adutoras.** Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, 2000.

FUNASA. **Apresentação de projetos de sistema de abastecimento de água.** Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br:8080/documents/20182/23919/Projeto+de+Sistemas++de+Abastecimento+de+%C3%81gua/9318dc79-4e24-4af0-9b0c-d2bba68f1c8b>>. Acesso em: 10 de jun. de 2019.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária,** 1981.

GOMES, Heber Pimentel. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento.** Editora Universitária da UFPB, 3 ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999.

HELLER, Léo. PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

IBGE. **Norte e Nordeste convivem com restrições no acesso a saneamento básico.** Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-denoticias/noticias/20979-norte-e-nordeste-convivem-com-restricoes-no-acesso-asaneamento-basico>>. Acesso em: 6 de jun. de 2019.

JURÍDICO, Âmbito. **Direito Fundamental à água potável.** Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=10330>. Acesso em: 7 de jun. de 2019.

LENCASTRE, Armando. **Hidráulica Urbana e Industrial - Memórias Técnicas**, Volume II. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2003.

MARQUES, José Almeida de Sá. SOUSA, Joaquim José de Oliveira. **Hidráulica Urbana: Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais**. 2 ed. Coimbra, 2009.

NETTO, José M. de Azevedo. **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Blucher , 1997.

NETTO, José M. de Azevedo. **Técnica de Abastecimento de Água**. São Paulo: CETESB/ASCETSB, 1987.

HARTMANN, Norton Inácio Didio. **Projeto de um diâmetro econômico para um sistema de adução de água bruta por recalque**. Panambi: Departamento de Ciências Exatas e Engenharias. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2019.

ORSINI, E. Q. **Sistemas de abastecimento de água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

RAMOS, L. M. B. **Contribuição para o Dimensionamento Hidráulico de Sistemas Adutores**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2005.

SEAP. **Infraestrutura de recursos hídricos e meio ambiente**. Disponível em: <<http://seap.pb.gov.br/infraestrutura-recursos-hidricos-e-do-meio-ambiente/projeto-de-sustentabilidade-hidrica>>. Acesso em: 6 de jun. de 2019.

TSUTIYA. Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 4 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.