OTIMIZAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE ADUTORA POR MEIO DA SUBSTITUIÇÃO DE FERRO FUNDIDO POR PVC-O: ESTUDO DE CASO EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

AUTOR

Pablo Cabral Medeiros
Graduado em Engenharia Civil pela UFBA, especializado em Engenharia Diagnóstica pela UNIP, MBA em Marketing de Serviços pela ESPM, com mais de 20 anos de experiência em sistemas hidrossanitários, atualmente exerce a função de Engenheiro de Aplicação Nacional em Infraestrutura, especificando soluções de tubulações para água, esgoto e drenagem, com foco na sustentabilidade e ampliação do saneamento no Brasil.

Endereço: Av das Nações Unidas, 22833, 2º andar – Torre Trianon. Jd Dom Bosco, São Paulo/SP. CEP: 04757-025 – Brasil – Tel +55 21 98119-5736. Email: pablo.medeiros@orbia.com

RESUMO

A utilização de soluções de tubulações para adução duráveis e com um grande diâmetro interno, possibilita, além de uma expressiva economia financeira, comparando-se a soluções tradicionais, ganhos a longo prazo no tocante a durabilidade e manutenção. Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo de caso desenvolvido para avaliação da substituição de uma adutora inicialmente concebida em ferro fundido dúctil DN 450 por uma solução em PVC Orientado (PVC-O) PN 12,5 DN 400. A análise foi realizada para uma vazão de projeto de 150 L/s e extensão de 8.114 m, contemplando aspectos hidráulicos, operacionais e econômicos. Os resultados demonstraram que a alternativa em PVC-O foi capaz de atender aos requisitos operacionais do sistema mesmo com redução do diâmetro nominal da tubulação. Embora tenha ocorrido aumento da perda de carga e da potência requerida para bombeamento, os valores permaneceram compatíveis com as condições de operação previstas. Em contrapartida, a redução do diâmetro nominal, associada ao menor custo do material, menor peso e maior facilidade de instalação, proporcionou significativa otimização dos custos de implantação. Os resultados evidenciam o potencial do PVC-O como alternativa técnica e economicamente competitiva para sistemas de adução de água.

PALAVRAS-CHAVE

PVC-0, energia, custo

INTRODUÇÃO

O setor de saneamento brasileiro enfrenta desafios crescentes relacionados à universalização dos serviços de abastecimento de água e à necessidade de otimização dos investimentos em infraestrutura. Nesse cenário, a seleção adequada dos materiais utilizados em sistemas adutores torna-se fundamental para garantir desempenho hidráulico, durabilidade e viabilidade econômica.

O avanço tecnológico dos materiais termoplásticos permitiu o desenvolvimento de soluções mais leves, resistentes à corrosão e com excelentes características hidráulicas, dentre as quais se destaca o PVC Orientado (PVC-O), em relação a materiais historicamente empregados para essa finalidade.

Segundo Magalhães, Paiva e Azevedo (2025), o PVC-O apresenta vantagens relacionadas à baixa rugosidade interna, resistência mecânica elevada e comportamento favorável frente aos transientes hidráulicos, características que contribuem para sua crescente utilização em sistemas de abastecimento de água.
Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado para avaliar a substituição de uma adutora originalmente especificada em ferro fundido por uma solução em PVC-O, analisando seus impactos técnicos e econômicos.

OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica da substituição de uma adutora em ferro fundido DN 450 por uma solução em PVC-O PN 12,5 DN 400 em um sistema de abastecimento de água.

Dentre outros objetivos pretendidos, destacam-se a comparação do desempenho hidráulico das alternativas estudadas, a avaliação dos impactos da redução do diâmetro nominal da tubulação e a verificação da influência da substituição sobre as perdas de carga e potência de bombeamento. Dessa maneira, poderia se identificar os benefícios econômicos e operacionais proporcionados pela solução em PVC-O.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seleção do material de uma adutora deve considerar não apenas aspectos estruturais, mas também fatores hidráulicos, econômicos e operacionais. Entre os principais critérios destacam-se resistência mecânica, vida útil, facilidade de instalação, comportamento frente aos transientes hidráulicos e custos de implantação e operação.

Estudos recentes demonstram que materiais termoplásticos orientados, como o PVC-O, apresentam desempenho competitivo quando comparados aos materiais tradicionalmente empregados em sistemas de abastecimento de água. Segundo Magalhães, Paiva e Azevedo (2025), a análise hidráulica de diferentes materiais de tubulação para adutoras evidenciou que o PVC-O apresentou excelentes resultados hidráulicos, destacando-se pela baixa rugosidade interna, menor perda de carga e reduzida celeridade da onda de pressão durante eventos transitórios.

Essas características contribuem para a eficiência energética dos sistemas de bombeamento, além de aumentar a segurança operacional da adutora. Adicionalmente, o menor peso dos tubos de PVC-O facilita as atividades de transporte, manuseio e instalação em campo, reduzindo custos de implantação quando comparado a soluções convencionais em ferro fundido.

No presente estudo, tais características permitiram avaliar a substituição de uma adutora originalmente concebida em ferro fundido DN 450 por uma solução em PVC-O DN 400, mantendo a capacidade de transporte requerida e proporcionando significativa otimização econômica do empreendimento.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo foi desenvolvido a partir da análise comparativa entre duas alternativas de material para a adutora em questão (extensão total de 8.114 m e vazão de projeto de 150 L/s).

A primeira alternativa correspondeu à solução originalmente especificada em ferro fundido dúctil com diâmetro interno de 450 mm. A segunda alternativa considerou a utilização de tubos de PVC-O PN 12,5 com diâmetro interno de 408 mm.

Foram avaliados os parâmetros hidráulicos de velocidade de escoamento, perda de carga distribuída, altura manométrica total e potência requerida para bombeamento.

Após aplicações da equação (1), equação (2), equação (3) e equação (4), chegamos aos resultados da Figura 1

Figura 1 – Simulação com as 2 alternativas avaliadas

	Q (m3/s)	Q (m3/h)	Q (l/s)	DI (mm)	Pe	L (m)	HF (mca)	Velocidde (m/s)
TUBO FoFo	0,15	540,00	150,00	450,0	0,001884	8.114	15,29	0,94
PVC-O PN 12,5	0,15	540,00	150,00	408,0	0,002647	8.114	21,48	1,15
							-28,8%	DIFERENÇA HF

	Dados C	Desnível (m)
Ferro Fundido	130,00	74,20
PVC-O	140,00	74,20

	HM (mca)	Potência MB (CV)
Ferro Fundido	89,49	238,72
PVC-O	95,68	255,23

	Energia (KW.h)
Ferro Fundido	177,84
PVC-0	190,15

Fonte: elaboração própria, a partir dos dados existentes

A opção por PVC-O PN12,5, decorreu do fato de que essa pressão nominal de 1,25 Mpa ou 125 m.c.a, era, à primeira vista, mais do que suficiente para vencer os 74,20 m de desnível necessários. Faltava ainda verificar o comportamento dos transientes hidráulicos, sabendo-se que, de acordo com a NBR 15750 – "Tubulações de PVC-O (cloreto de polivinila não plastificado orientado) para sistemas de transporte de água ou esgoto sob pressão - Requisitos e métodos ensaios", os tubos em PVC-O podem suportar até 50% de variação da pressão nominal. Assim, os transientes no caso presente não poderiam ultrapassar o valor de 0,625 Mpa ou 62,5 m.c.a, para que a escolha pela rede termoplástica fosse factível.

Adotando-se uma celeridade **(c)** típica de 400 m/s e o pressuposto primário de Joukowsky (o aumento da pressão ocorre em um local específico e em um momento específico), tem-se os resultados abaixo:

Pela equação (5), para o PVC-O a Δ CP ≈ 47 m.c.a. Com isso, pela equação (6), a PMS = 121,2 m.c.a [74,2 (des) + 47 (Δ CP)]. Daqui já pode concluir a perfeita aderência da solução em PVC-O já que 47 m.c.a < 62,5 m.c.a.

Já para o Ferro Fundido, também pela equação (5), a Δ CP ≈ 105 m.c.a, a PMS = 179,2 m.c.a [105 (Δ CP) + 74,2 (des)].

PARÂMETROS E FÓRMULAS

Q (m3/s): **Vazão**
g (m/s2): **Aceleração da gravidade**
V (m/s): **Velocidade**
des (m): **Altura geométrica entre os níveis menor e maior**
C: **Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams**
A (m2): **Área da seção circular**
c (m/s): **Celeridade da onda de pressão no fluido**
Hm (m/m): **Altura manométrica**
D(mm): **Diâmetro da tubulação**
ɤ(N/m3): **Peso específico do fluido**
E(Kw): **Energia**
Hf(m/m): **Perda de carga (Hazen-Williams)**
Ph (CV): **Potência da bomba**
Δ CP (m.c.a.): **Acréscimo de carga piezométrica**
PMS (m.c.a): **Pressão Máxima no Sistema**

Hf: 10,44 x (Q/C)^{1,85} / D^{4,87} equação (1)
Ph: ɤ x Q x Hm / 75 / 0,735 equação (2)
Q: V x A equação (3)
E = Ph x 0,745 equação (4)
Δ CP = c x ΔV/g equação (5)
PMS = D + Δ CP equação (6)

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para as duas alternativas analisadas.

Tabela 1 – Comparação hidráulica entre as alternativas estudadas

Parâmetro	Ferro Fundido	PVC-O PN 12,5
Vazão (L/s)	150	150
Comprimento (m)	8.114	8.114
Diâmetro Interno (mm)	450	408
Velocidade (m/s)	0,94	1,15
Perda de Carga (m.c.a)	15,29	21,48
Altura Manométrica (m.c.a)	89,49	95,68
Potência de Bombeamento (CV)	238,72	255,23

Fonte: elaboração própria, a partir dos dados existentes

Observou-se que a alternativa em PVC-O permitiu reduzir o diâmetro nominal da adutora de 450 mm para 400 mm, mantendo a vazão de projeto de 150 L/s. Os resultados indicaram que a solução em PVC-O foi capaz de atender às condições hidráulicas do sistema mesmo utilizando um diâmetro nominal inferior ao originalmente especificado.

De acordo com Magalhães et al. (2025), a baixa rugosidade interna do PVC-O contribui para a redução das perdas de carga e para maior eficiência operacional dos sistemas de abastecimento.

O aumento da velocidade de escoamento, consequência direta da redução da área útil, resultou em acréscimo das perdas de carga e da potência de bombeamento requerida. Entretanto, os valores modificados podem ser considerados de mínimo impacto, pois os critérios operacionais adotados continuaram os mesmos, sem acréscimo da potência inicial da bomba que era de 250 CV e continuou a mesma.

Além da avaliação hidráulica, foi realizada uma análise econômica comparativa entre as duas alternativas de material para a implantação da adutora.

Os custos estimados para fornecimento e implantação foram de R$ 5,3 milhões para a solução em ferro fundido e R$ 3,2 milhões para a solução em PVC-O, resultando em uma economia de R$ 2,1 milhões (cotação de fevereiro de 2026).

Assim, os principais resultados diretos observados foram:

- Redução do diâmetro nominal de 450 mm para 400 mm;
- Manutenção da capacidade hidráulica requerida pelo projeto;
- Diminuição significativa do custo de aquisição dos materiais;
- Aumento da resistência à corrosão e maior durabilidade do sistema.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

Os resultados obtidos demonstram que a substituição da adutora em ferro fundido por PVC-O apresentou benefícios técnicos e econômicos relevantes. Embora a redução do diâmetro nominal tenha provocado aumento da perda de carga distribuída, a solução em PVC-O continuou atendendo aos requisitos hidráulicos do empreendimento. Esse resultado evidencia a eficiência do material e sua capacidade de aplicação em sistemas de adução.

Do ponto de vista hidráulico, verificou-se aumento da velocidade de escoamento, das perdas de carga e da potência requerida para bombeamento. Entretanto, todos os parâmetros permaneceram dentro das condições operacionais previstas para o sistema, permitindo a utilização de uma tubulação com diâmetro nominal inferior. Sob a ótica econômica, a solução em PVC-O apresentou desempenho significativamente superior. A redução do investimento de R$ 5,3 milhões para R$ 3,2 milhões representou uma economia de aproximadamente 39,6%, equivalente a R$ 2,1 milhões.

Como consta em sua publicação, Frans Alferink afirma sobre o PVC-O que sua elevada resistência mecânica e resistência ao impacto praticamente independe da temperatura ao entorno, e isso torna o material ideal para diversos tipos de solo. Além disso, mostra como tubos com o MRS (Minimum Required Strenght) de 45 MPa e 50 Mpa, pela consequência direta da orientação molecular, não apresentam crescimento lento de trincas, gerando elevado nível de segurança operacional.

Além da economia direta na aquisição dos materiais, a solução em PVC-O oferece benefícios adicionais relacionados à logística e à execução das obras. O menor peso dos tubos reduz custos de transporte, simplifica o manuseio em campo e contribui para maior produtividade durante a instalação.

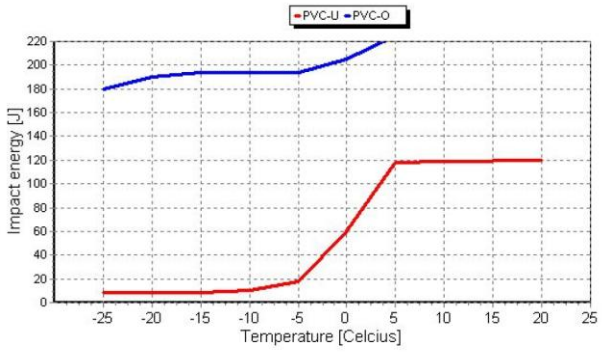
Outro aspecto relevante refere-se à durabilidade do material. Por ser imune à corrosão, o PVC-O tende a preservar suas características hidráulicas ao longo da vida útil do sistema, reduzindo intervenções de manutenção e contribuindo para a sustentabilidade operacional do empreendimento.

O menor peso do PVC-O, ainda, reduz custos logísticos, simplifica a movimentação em campo e acelera o processo construtivo.

Os resultados obtidos corroboram estudos desenvolvidos por Magalhães, Paiva e Azevedo (2025), que destacam o PVC-O como uma alternativa de elevado desempenho hidráulico e excelente relação custo-benefício para sistemas de abastecimento de água.

Ainda segundo Frans Alferink, a energia necessária para que, nas mesmas condições de contorno entre o PVC-U e o PVC-O, a tubulação sofra danos, é muito maior nesse último, comprovando a superioridade em relação ao PVC-U tradicional. Vide figura abaixo.

Figura 2 – Energia necessária para ocasionar danos de impacto (PVC-U versus PVC-O)



Fonte: Frans Alferink - *The application of PVC-O pipes for water supply and pressure sewage. Plastic Pipes XVI,* pg 3.

CONCLUSÕES

A análise desenvolvida demonstrou a viabilidade técnica da substituição de uma adutora originalmente projetada em ferro fundido DN 450 por uma solução em PVC-O DN 400.

Embora tenha sido observado aumento das perdas de carga e da potência requerida para bombeamento, os parâmetros hidráulicos permaneceram compatíveis com a operação do sistema.

O principal benefício identificado foi a expressiva redução do investimento necessário para implantação da adutora. A utilização do PVC-O permitiu uma economia de R$ 2,1 milhões, correspondente a aproximadamente 39,6% do valor inicialmente previsto para a solução em ferro fundido.

Os resultados evidenciam que o PVC-O constitui uma alternativa altamente competitiva para sistemas de adução de água, especialmente em empreendimentos nos quais a otimização de custos, a facilidade construtiva e a durabilidade da infraestrutura são fatores estratégicos para a tomada de decisão.

Apesar do leve aumento no consumo energético, fruto do aumento da perda de carga, acredita-se que, além do valor já citado que foi economizado na aquisição do material, levando-se em consideração também a velocidade de instalação muito maior do PVC-O em relação ao Ferro Fundido que gera economia na obra, ao longo do tempo esse acréscimo de menos de 13 Kw.h, em nada embaça a opção feita pela substituição dos materiais. Ao contrário, levando-se ainda em consideração a condição de material inerte do PVC-O, ou seja, material que não muda suas características físicas ao longo do tempo, por si só, diferente de materiais não inertes como Ferro Fundido, concreto, etc., vislumbramos uma necessidade de manutenção que tende a zero. É geração de valor agregado ao longo do tempo.

Recomenda-se que estudos semelhantes sejam realizados em futuros projetos de adução, visando identificar oportunidades de otimização técnica e econômica por meio da utilização de materiais termoplásticos avançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALFERINK, FRANS – *The application of PVC-O pipes for water supply and pressure sewage. Plastic Pipes XVI, 22-24 Sept. Budapest, Hungary*

2. AMANCO WAVIN. *Manual Técnico PVC-O Biaxial para Sistemas de Adução e Distribuição de Água*.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12215*: Projeto de adutora de água*. ABNT

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15750*: Tubulações de PVC-O (cloreto de polivinila não plastificado orientado) para sistemas de transporte de água ou esgoto sob pressão - Requisitos e métodos ensaios ABNT.*

5. MAGALHÃES, C. H. M.; PAIVA, A. L. R.; AZEVEDO, J. R. G. *Análise hidráulica de quatro diferentes materiais de tubulação para uma adutora de recalque utilizando o Allievi*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2025.