

XI-058 - TRADE-OFF ENTRE CUSTO DE AQUISIÇÃO E O CONSUMO DE ENERGIA: DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TUBULAÇÃO EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS POR MEIO DA ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz⁽¹⁾

Possui graduação em Engenharia Elétrica (2004), mestrado em Economia (2007) e doutorado em Economia (2012) pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente é engenheiro eletricitista da Companhia Pernambucana de Saneamento. Na área de pesquisas, atua principalmente nos seguintes temas: regulação econômica, análise de investimentos, economia da energia e economia do saneamento.

Maurício Pereira Magalhães de Novaes Santos⁽²⁾

Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Engenheiro Mecânico pela UFPE. Fez intercâmbio acadêmico, cursando um ano da graduação na Michigan State University (MSU) pelo programa Ciências Sem Fronteiras da CAPES.

João Maria Martins de Araújo⁽³⁾

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1994) e mestrado em Geociências pela Universidade Federal de Pernambuco (1997) com ênfase nas seguintes áreas de Geociências: Geologia Geral e de Campo, Petrografia, Petrologia Ígnea e Geologia Estrutural. Atualmente exerce o cargo de geólogo de carreira na função de Analista de Saneamento na Gerência de Águas Subterrâneas (GAS) da Companhia Pernambucana de Saneamento.

José Antônio Charão Cunha⁽⁴⁾

Exerce o cargo de coordenador na Coordenação de Poços do Interior (CPI). Na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

Endereço⁽¹⁾: Av. Saturnino de Brito, 472, Cabanga, Recife-PE. e-mail: karloseduardo@compesa.com.br

RESUMO

Estima-se que há 416.000 poços perfurados no Brasil, dos quais aproximadamente 85% estão em operação. Sabe-se que a água captada deles tem diversos usos dentre os quais pode-se destacar: abastecimento humano, irrigação, indústria e comércio. O material utilizado para o tubo edutor normalmente é constituído de ferro aço-carbono ou PVC, cujo condicionante para se definir qual deles se optará tem sido as características hidráulicas e operacionais a que estará submetido o poço, visto a limitação física quanto ao esforço mecânico, bem como os custos financeiros. Em anos recentes, tem havido um crescimento na utilização de mangueiras flexíveis constituídas de poliéster, poliamida e borracha sintética em substituição aos tubos convencionais. A decisão de definir qual o material adequado a ser utilizado no poço para a captação da água não é simplista, visto que estes materiais são dispareos quanto às variáveis úteis para tomada de decisão, a saber: vida útil, perda de carga, que impacta no consumo de energia, custo de aquisição. A definição da tubulação adequada, considerando os diversos tipos de materiais e o diâmetro interno, influi diretamente no custo de construção, mas também na operação e manutenção, de forma que uma economia na parte inicial do projeto pode implicar em custos acentuados à empresa durante a operação e manutenção. Neste trabalho, desenvolveu-se uma metodologia para identificar a tubulação adequada, que foi aplicada a um estudo de caso, no qual o mais viável do ponto de vista econômico-financeiro mostrou-se ser a tubulação de 4" mangueira flexível.

PALAVRAS-CHAVE: Mangueira Flexível, Perda de Carga, Poços Tubulares.

1. INTRODUÇÃO

Poços Tubulares Profundos (PTPs) são dutos em que a perfuração é feita por máquinas perfuratrizes, eles normalmente possuem revestimento de PVC ou ferro. Uma das principais maneiras de se captar água deles é por meio de instalação de conjunto motor-bomba centrífuga submersa (CMBCS) associado ao tubo edutor por onde haverá o transporte da água à superfície. Esses poços podem ultrapassar 1.000 metros de profundidade, a depender do tipo de rocha e aquífero (CPRM, 1998).

Segundo Cardoso *et al.* (2008), estima-se que há 416.000 poços perfurados no Brasil, dos quais aproximadamente 85% estão em operação. Ademais, sabe-se que a água captada deles tem diversos usos dentre as quais pode-se destacar: abastecimento humano, irrigação, indústria e comércio.

O material utilizado para o tubo edutor normalmente é constituído de ferro aço-carbono ou PVC cujo condicionante para se definir qual deles se optará tem sido as características hidráulicas e operacionais a que estará submetido o poço, visto a limitação física quanto ao esforço mecânico, bem como os custos financeiros.

Em anos recentes, tem havido um crescimento na utilização de mangueiras flexíveis constituídas de poliéster, poliamida e borracha sintética em substituição aos tubos convencionais.

A decisão de definir qual o material adequado a ser utilizado no poço para a captação da água não é simplista, visto que estes materiais são dispares quanto às variáveis úteis para tomada de decisão, a saber: vida útil, perda de carga, que impacta no consumo de energia, custo de aquisição. Por isso, essa decisão pode variar de acordo com o PTP devido às suas características construtivas e operacionais, de forma a garantir que a estrutura aplicada permita os melhores ganhos financeiros e operacionais.

Esse trabalho apresenta uma metodologia utilizada para a definição da tubulação adequada em PTPs pertencentes a uma empresa de saneamento para captação de água. Para isso, considerou-se todos os custos de operação, manutenção e aquisição, e, por meio da técnica de Valor Presente Líquido (VPL), buscou-se comparar as diversas alternativas de projetos.

Para facilitar as análises, foi desenvolvido, em uma planilha eletrônica, uma simulação na qual é possível dar entrada nos dados e obter os resultados.

2. ESTUDO DE CASO

A empresa em análise corresponde a uma companhia estadual de saneamento básico que possui em torno de 250 PTPs em operação, dos quais, uma parte considerável possui o intervalo da câmara de bombeamento entre 50m e 150m de profundidade.

Ademais, essa empresa vem utilizando mangueira flexível gradativamente, de forma que ela possui aproximadamente 20% dos PTPs com a utilização desse material para a captação de água.

Como estudo de caso será utilizado um PTP, cuja vazão de exploração é de 80 m³/h e a profundidade de instalação do CMBCS é de 84m, localizado na região metropolitana de Recife, Pernambuco.

3. METODOLOGIA E CONSIDERAÇÕES

Para a análise da melhor opção para os diversos PTPs da empresa, foi desenvolvido um simulador em planilha eletrônica, no qual, as variáveis de entrada são: vazão, comprimento da coluna edutora, vida útil dos materiais e rendimento do equipamento CMBCS.

Para o material do tipo aço galvanizado foi utilizada a equação de Hazen-Williams para identificar a perda de carga, conforme equação 1. Na qual, L é o comprimento em metros, D representa o diâmetro em metros, Q é a vazão em m³/h e C o coeficiente de Hazen-Williams, o qual depende da natureza do material utilizado e que corresponde a 125 para tubos de aço galvanizado novos.

$$h_f = 10,646 \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \quad (01)$$

Para a mangueira flexível, foi utilizada a tabela de perdas de carga definida pelo fabricante. Por isso, as vazões de entradas ficaram limitadas às existentes na tabela, mas que atendem ao poço. Visto haver a necessidade de valores intermediários entre os dados de tabela foram definidas equações que melhor se ajustassem aos dados.

Sabendo-se que a perda de carga é uma definição para o consumo de energia dispendido para vencer as resistências de escoamento, ela será convertida em potência elétrica para ser possível sua mensuração

financeira. Para isso, utilizou-se a equação 2 para se definir a potência requerida, que depois de equacionada pelo rendimento (η) do CMBCS, conforme equação 3, tem-se a potência elétrica.

Em que g é constante de gravidade, que corresponde a $9,81 \text{ m/s}^2$, Q , a vazão em m^3/s , H , o desnível hidráulico em m , e d , a densidade específica da água, que foi considerado 1.000 kg/m^3 .

$$P_h = g \cdot Q \cdot \Delta H \cdot d \quad (02)$$

$$P_e = \frac{P_h}{\eta} \quad (03)$$

De posse dessa potência, será utilizado os valores de tarifa de energia elétrica para o consumo e demanda contratada, admitiu-se que os PTPs ficam operando 24 horas, ou seja, em regime contínuo, e que o mês é comercial. Sendo assim, para um ano, o custo com o consumo de energia elétrica pode ser definido de acordo com a equação 4.

$$C_e = 24 \cdot 30 \cdot 12 \cdot P_e \quad (04)$$

Sabendo-se que o tipo de contrato estabelecido foi alta tensão convencional (ATC), no qual o valor da energia consumida é o mesmo independente de horário que foi obtido na empresa, visto que é um valor distinto para empresas de saneamento. O valor do custo de aquisição do equipamento e de seus suplementos foi obtido em atas de registro de preço (ARP) válidas.

Para a definição da vida útil da tubulação foram consideradas entrevistas com os fornecedores e mantenedores da empresa, bem como catálogos dos fabricantes. Chegou-se à conclusão de que para tubo aço carbono é 05 (cinco) anos, enquanto que, para mangueira flexível, pode-se esperar 20 anos, apesar de a garantia variar entre 5 e 10 anos entre os fabricantes - há, pelo menos, três grandes fabricantes de mangueiras flexíveis no Brasil e os três apresentam coeficientes de rugosidades e vida útil distintos.

Vale ressaltar, que será considerado que o aumento das tarifas e dos preços dos insumos será estabelecido pela inflação. Destaque-se também que foi considerada a mesma equipe e tempo de reparo independentemente do tipo de material, e que os poços devem ter a tubulação desmontada uma vez por ano para manutenção preventiva do conjunto independente de substituição do equipamento.

Devido a isso, o custo de manutenção não será levado em consideração, pois não interferirá na tomada de decisão visto ser o mesmo para ambos os materiais dada as considerações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a simulação, as primeiras informações são as variáveis de entrada. Conforme pode ser visualizado no Quadro 1, que, por definição, são os valores que podem se alterar conforme simulação. Verifica-se que a vida útil do poço e da mangueira flexível podem ser modificadas. Ademais o rendimento do CMBCS é passível de alteração também.

Quadro 1 – Variáveis de Entrada

Variável	Valor	Unidade
Comprimento	84	M
Vazão	60	m^3/h
Vida útil flexível	20	Anos
Vida útil poço	20	Anos
Rendimento	0,7	Adimensional
Coeficiente HW	125	
Densidade (água)	1000	kg/m^3

A partir das variáveis de entrada, é possível inicial a simulação. O primeiro passo é o cálculo da perda de carga. Para a mangueira flexível, de acordo com a tabela do fabricante selecionado e com a equação que melhor se ajuste aos dados, foi obtido as equações verificadas no Quadro 2, no qual Q representa a vazão em m³/h.

Quadro 2 – Equação para cálculo da perda de carga de Mangueira Flexível

Diâmetro Interno (Polegadas)	Equação	Limite
2	$y = 0,00015Q^2 + 0,00176Q - 0,00518$	$3 \leq Q \leq 60$
3	$y = -0,0000007Q^3 + 0,0000337Q^2 + 0,0003967Q - 0,0012977$	$3 \leq Q \leq 150$
4	$y = 0,000004Q^2 + 0,000257Q - 0,006577$	$60 \leq Q \leq 240$

Após calculada perda de carga, utilizando-se das equações 2 e 3, foi determinada a potência elétrica adicional necessária para manter a vazão adequada de acordo com a perda de carga da tubulação. Conforme, pode ser verificado na Tabela 1.

Por ela, é possível verificar que as tubulações de mangueira flexível oferecem um consumo inferior de energia elétrica por perda de carga em detrimento de tubo aço carbono, sem costura, galvanizado para o mesmo diâmetro interno (DI).

Tabela 1 – Consumo adicional de energia elétrica devido à perda de carga

DI (Polegadas)	Material Construtivo	Consumo adicional anual de energia elétrica (kWh)
2	Aço	2647,69344
2	Flexível	1082,78208
3	Aço	268,41024
3	Flexível	231,15456
4	Aço	90,59904
4	Flexível	41,82624
6	Aço	12,528

A partir, da equação 4, foi calculado o consumo de energia elétrica ao longo de um ano, devido ao acréscimo de perda de carga da tubulação. A tarifa de energia elétrica estabelecida para empresa de saneamento do estado de Pernambuco, conforme pode ser verificado na Tabela 2.

Esses valores correspondem ao tipo de tarifação Alta Tensão Convencional (ATC), bem como são particulares à empresa em análise, visto ela possuir isenções tributárias que afetam o preço final.

Tabela 2 – Tarifa de energia elétrica

Consumo (kWh)	Demanda (kW)
R\$ 0,23762	R\$ 32,05964

Por meio das informações de que o custo da energia elétrica adicional devido à perda de carga na tubulação, pode ser verificado na Tabela 3. Com base nas ARPs disponíveis, também é apresentado o custo de aquisição, considerando as luvas e suplementos necessários à correta instalação. Ao analisa-la, percebe-se que se deve ter um cuidado pois um custo de aquisição muito baixo pode representar um consumo de energia elevado.

Tabela 3 – Custo de energia elétrica anual adicional devido à perda de carga e custo de aquisição da tubulação

DI (Polegadas)	Material Construtivo	Custo de energia anual (R\$)	Custo de aquisição (R\$)
2	Aço	145.625,04	4.549,80
2	Flexível	59.553,79	9.450,00
3	Aço	14.762,61	8.941,80
3	Flexível	12.713,66	16.176,00
4	Aço	4.982,87	12.035,10
4	Flexível	2.300,43	18.560,00
6	Aço	689,37	12.266,40

Por fim, considerando uma vida útil de 20 anos para o PTP, tem-se que a tubulação deve ser adquirida quatro vezes durante todo o período, enquanto que a de mangueira flexível é obtida apenas uma vez. Na Tabela 4, são apresentados o custo adicional oriundo da utilização da tubulação ao longo de 20 anos. Nela, observa-se o projeto mais atrativo pela mangueira flexível de 4”, seguido pela tubulação de aço galvanizado de 6”, conforme pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 – Custo total ao longo de 20 anos de energia elétrica adicional devido à perda de carga e custo de aquisição da tubulação

DI (Polegadas)	Material Construtivo	Custo Total (R\$)
2	Aço	2.464.697,60
2	Flexível	1.009.952,80
3	Aço	283.781,20
3	Flexível	229.765,40
4	Aço	131.855,00
4	Flexível	57.208,00
6	Aço	60.641,60

Do ponto de vista econômico-financeiro, é mais interessante a utilização da mangueira flexível de 4”, que trará um. No entanto, a diferença para a utilização de tubulação flexível de 4” é de apenas R\$ 3.433,60 ao longo de 20 anos.

É importante destacar, que apesar de a tubulação flexível apresentar um custo de aquisição superior à de aço carbono, sem costura, galvanizado, considerando os suplementos necessários, há um ganho considerável em sua utilização devido ao consumo reduzido de energia elétrica e a vida útil ser superior

5. CONCLUSÃO

A captação de água subterrânea para abastecimento humano tem sido primordial à humanidade, principalmente no Brasil. Para isso, normalmente utiliza-se uma tubulação instalada junto com um CMBCS no PTP.

A definição da tubulação adequada, considerando os diversos tipos de materiais e o diâmetro interno, influi diretamente no custo de construção, mas também na operação e manutenção, de forma que uma economia na parte inicial do projeto pode implicar em custos acentuados à empresa durante a operação e manutenção.

Neste trabalho, desenvolveu-se uma metodologia para identificar a tubulação adequada que foi aplicada a um estudo de caso, no qual o mais viável do ponto de vista econômico-financeiro mostrou-se ser a mangueira flexível de 4”.

Entretanto, é importante destacar que foram feitas considerações importantes que poderiam ter modificado o resultado. A principal delas é o fato de o custo de manutenção ser o mesmo, independentemente do tipo de material. A experiência tem mostrado que as mangueiras flexíveis necessitam de uma equipe reduzida, bem como de equipamentos com menos robustez para a sua instalação, o que nem sempre ocorre em empresas de saneamento, que possuem equipes fixas.

Deve-se considerar também que, para outras aplicações, o ganho com a economia de energia elétrica pode ser superior ao mensurado, visto que a empresa em análise possui benefícios fiscais que reduzem o valor da energia elétrica.

Desse modo, a utilização de mangueira flexível, apesar de representar um custo inicial superior, tem valores competitivos quando comparados à tubulação aço galvanizado, se considerado o custo de manutenção e operação e a vida útil. Ademais, estes custos podem ser atenuados consideravelmente, desde que haja logística e treinamentos, para que o trabalho seja desenvolvido considerando a especificidade de cada material.

Em trabalhos futuros, é importante praticar esta simulação para todos os poços existentes na companhia a fim de verificar se tem se buscado o melhor benefício econômico-financeiro. Além disso, fazer uma análise de sensibilidade sobre a alteração de variáveis importantes, como vida útil, rendimento e preço da energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Ações emergências de combate aos efeitos da seca. Cartilha: Noções Básicas de Poços Tubulares Profundos, 1998.
2. Cardoso, F. B. F.; Oliveira, F. R.; Nascimento, F. S.; Varella Neto, P. L.; Flores, P. M. Poços Tubulares Construídos no Brasil. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, 2008.
3. SAMPLA BELTING. Manual Prático de Montagem – Tubulação flexível sem complicações para a instalação de bombas submersas. Guarulhos – SP, 2004.