MEMORIAL DE CÁLCULO

IMPLANTAÇÃO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO E ADUTORA DE RECALQUE SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO JARDIM CONTINENTAL

1. OBJETO

O presente Memorial de Cálculo tem por objetivo apresentar os critérios, parâmetros, premissas e dimensionamentos hidráulicos adotados para o sistema de abastecimento de água destinado ao atendimento do Município de Patrocínio Paulista, a ser implantado no bairro Jardim Continental.

O estudo foi desenvolvido de forma integrada, contemplando a estimativa da população de projeto, a determinação da demanda de água, o cálculo dos volumes de reservação, a definição das vazões de projeto, o dimensionamento hidráulico da adutora, a verificação das condições de exploração do poço tubular profundo, a determinação da altura manométrica total e, por fim, o dimensionamento e a seleção do conjunto motobomba.

2. ESTUDO POPULACIONAL

Para fins de dimensionamento do sistema de abastecimento de água, foi considerada a ocupação de todas as unidades cadastradas nas localidades abrangidas pelo projeto, incluindo os lotes ainda não edificados, sem aplicação de projeção adicional de crescimento populacional. Dessa forma, a população de projeto corresponde à condição de ocupação plena das unidades existentes.

Para o presente projeto, foi adotado o valor de 3 habitantes por unidade como premissa de projeto, devendo esse parâmetro ser confrontado, sempre que possível, com dados censitários do IBGE referentes à média de moradores por domicílio do município e/ou da área de influência do empreendimento.

As localidades atendidas pelo projeto e a quantidade de imóveis encontram-se relacionadas abaixo:

Localidades (por bairro)	Quantidade de Unidades
Jardim Continental	450
Residencial João Flávio	75
Conjunto Habitacional Bandeirantes	153
Condomínio Douglas Devós Faleiros	136
Residencial Parque do Café	55
Jardim Sapucaí	38
Bairro da Porteira	104
Chácaras São Francisco	30
TOTAL	**1.041**

A população estimada atual de projeto é de:

$$P = N \times H$$

Onde:

P = população atual estimada, em habitantes;

N = número de unidades;

H = número médio de habitantes por unidade.

Dessa forma, adota-se para o presente memorial a população de:

$$P_0 = 1.041 \times 3 = 3.123\ habitantes$$

3. CÁLCULO DE DEMANDA DE ÁGUA

3.1. Consumo Médio Diário

Para determinação consumo médio, adotou-se 150 L/hab.dia, per capita, valor compatível com as referências técnicas da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA para sistemas públicos de abastecimento de água, considerando as características e o porte da população atendida. O valor adotado corresponde ao consumo doméstico médio utilizado para fins de dimensionamento das unidades do sistema.

A demanda média diária é determinada por:

$$V_{MED} = P \times q$$

Onde:

V_{MED} = consumo médio diário, em L/dia;

P = população de projeto, em habitantes;

q = consumo per capita, em L/hab.dia.

Assim:

$$V_{MED} = 3.123 \times 150$$

$$V_{MED} = 468.450\ L/dia$$

ou:

$$V_{MED} = 468{,}45\ m^3/dia$$

3.2. Coeficientes K_1 e K_2

O consumo de água em sistemas públicos de abastecimento apresenta variações ao longo do tempo, decorrentes de fatores climáticos, hábitos da população e horários de maior utilização.

Para representar essas variações, são considerados os coeficientes do dia de maior consumo (K_1) e da hora de maior consumo (K_2).

O coeficiente (K_1) corresponde à relação entre o consumo do dia de maior demanda e o consumo médio diário, sendo adotado:

$$K_1 = 1{,}2$$

O coeficiente (K_2) corresponde à relação entre a vazão da hora de maior consumo e a vazão média horária do dia de maior consumo, sendo adotado:

$$K_2 = 1{,}5$$

Os valores adotados são parâmetros usualmente empregados em projetos de sistemas públicos de abastecimento de água, na ausência de série histórica específica de consumo da área atendida.

Para o dimensionamento da produção, reservação, poço e adutora de recalque será considerado o coeficiente (K_1). O coeficiente (K_2) é apresentado como parâmetro de variação horária, sendo aplicável principalmente à análise da distribuição e dos picos horários de consumo.

4. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

O reservatório é dimensionado tomando como referência o volume correspondente ao dia de maior consumo, a partir do qual se define a capacidade efetivamente adotada, conforme exposto a seguir.

Para fins de referência, determina-se inicialmente o volume correspondente ao dia de maior consumo, obtido a partir do consumo médio diário acrescida do coeficiente do dia de maior consumo (K_1), a partir do qual será definida a capacidade de reservação efetivamente adotada

O volume útil de referência do reservatório:

$$V_{RES} = V_{MED} \times K_1$$

Onde:

V_{RES} = volume útil de referência do reservatório, em m³;

V_{MED} = consumo médio diário, em m³/dia;

K_1 = coeficiente do dia de maior consumo.

Tem-se:

$$V_{RES} = 468{,}45 \times 1{,}2 = 562{,}14\ m^3$$

Para implantação do sistema, contudo, adota-se reservatório com capacidade nominal de 500 m³, em razão da disponibilidade comercial dessa capacidade, da compatibilidade com as condições físicas e dimensionais do terreno destinado à implantação e da significativa diferença de capacidade existente em relação às soluções comerciais imediatamente superiores.

A adoção do reservatório de 500 m³ representa aproximadamente:

$$\frac{500}{562{,}14} \times 24 = 21{,}35\ horas$$

da demanda do dia de maior consumo, superando com folga o critério usual de reservação mínima correspondente a 1/3 do volume do dia de maior consumo (aproximadamente 187 m³), sendo considerado operacionalmente adequado para o sistema proposto, especialmente em conjunto com a operação programada do poço e do conjunto motobomba.

Dessa forma, adota-se:

$$V_{ADOTADO} = 500\ m^3$$

ressaltando-se que a capacidade escolhida decorre de solução de compromisso entre a demanda calculada, a disponibilidade física da área de implantação, a viabilidade construtiva e as capacidades comerciais disponíveis.

5. VAZÃO DE PRODUÇÃO E BOMBEAMENTO

O sistema produtor deverá possuir capacidade suficiente para atender integralmente à demanda correspondente ao dia de maior consumo, independentemente da capacidade nominal adotada para o reservatório.

Conforme determinado no item anterior, a demanda correspondente ao dia de maior consumo é de:

$$V_{dia,max} = 562{,}14\ m^3/dia$$

Para fins operacionais, adota-se período máximo de funcionamento do sistema de bombeamento de 16 horas por dia, proporcionando margem de aproximadamente 8 horas diárias para paralisações programadas, manutenção, ajustes operacionais, restrições de fornecimento de energia elétrica ou outras eventualidades.

A vazão mínima necessária de produção é determinada por:

$$Q_B = \frac{V_{dia,max}}{H_B}$$

onde:

Q_B = vazão necessária de bombeamento, em m³/h;

$V_{dia,max}$ = volume correspondente a ser reservado;

H_B = período diário de bombeamento, em h/dia.

Assim:

$$Q_B = \frac{562{,}14}{16} = 35{,}13\ m^3/h$$

Convertendo em metros cúbicos por segundo:

$$Q_B = \frac{35{,}13}{3600} = 0{,}0098\ m^3/s$$

Dessa forma, o sistema produtor, compreendendo o poço tubular profundo, o conjunto motobomba e a adutora de recalque, deverá possuir capacidade mínima de produção de aproximadamente:

$$Q_{min} = 35\ m^3/h$$

A capacidade nominal de 500 m³ do reservatório não limita a produção diária do sistema, uma vez que o reservatório opera de forma dinâmica, com entrada de água proveniente do poço e saída simultânea para atendimento do consumo.

Para o dimensionamento hidráulico serão analisados dois cenários operacionais: um cenário mais favorável, correspondente à vazão estimada de 50 m³/h indicada na avaliação hidrogeológica preliminar da SPÁGUAS, e um cenário mais restritivo, correspondente à vazão mínima necessária de aproximadamente 35 m³/h.

$$Q_{FAVORÁVEL} = 50\ m^3/h$$
$$Q_{RESTRITIVO} = 35\ m^3/h$$

6. FONTE DE ABASTECIMENTO

A fonte de abastecimento será por um poço tubular profundo a ser perfurado em área pública localizada no Jardim Continental, com recalque direto do poço para o reservatório apoiado e com os seguintes parâmetros definidos pela avaliação hidrogeológica preliminar elaborada pela Agência de Águas do Estado de São Paulo – SP ÁGUAS - SEI nº 137.00011127/2024-94.

Parâmetro	Valor
Cota de localização do poço	785 m
Cota de nível estático	710 m (-75 m)
Cota de nível dinâmico	685 m (-100 m)
Comprimento previsto do tubo edutor	125 m
Rebaixamento do nível	25 m
Vazão	50 m³/h
Vazão específica	2 m³/h/m
Transmissividade média	150 m²/dia

A vazão efetivamente disponível para exploração do poço deverá ser confirmada por meio de teste de bombeamento/vazão após a perfuração, sendo a capacidade final de produção definida em função dos resultados obtidos em campo.

Para atendimento da demanda calculada no presente memorial, o poço deverá apresentar vazão mínima de aproximadamente:

$$Q_{min} = 35\ m^3/h$$

correspondente à vazão necessária para atendimento do dia de maior consumo dentro do período máximo de 16 horas diárias de bombeamento.

Dessa forma, serão considerados dois cenários para o dimensionamento hidráulico:

Cenário mais favorável: vazão de produção de 50 m³/h, correspondente à vazão estimada na avaliação hidrogeológica preliminar da SPÁGUAS;

Cenário mais restritivo: vazão de produção de 35 m³/h, correspondente à vazão mínima necessária ao atendimento da demanda de projeto nas condições operacionais adotadas.

A confirmação definitiva do cenário de operação dependerá dos resultados do teste de vazão do poço, devendo os equipamentos hidráulicos e eletromecânicos ser compatibilizados com a vazão efetivamente disponível.

7. DIMENSIONAMENTO PARA CENÁRIO MAIS FAVORÁVEL

O cenário mais favorável corresponde à condição em que o teste de vazão do poço confirme a capacidade de produção estimada na avaliação hidrogeológica preliminar elaborada pelo SPAGUAS. Nessa hipótese, a vazão obtida será adotada como vazão de produção de referência para o dimensionamento hidráulico do sistema, servindo de base para a verificação da adutora, do conjunto motobomba, do tempo de operação e das condições de reservação.

7.1. Dados de Projeto

Parâmetro		**Valor**
Vazão Considerada	$Q_{FAVORÁVEL}$	50 m³/h = 0,0139 m³/s
Comprimento da adutora	L	575,20 m
Material da adutora		PVC DeFoFo
Pressão Nominal/Classe da adutora	PN	1,0 MPa
Diâmetro Nominal da adutora	DN	100 mm
Diâmetro Interno da adutora	D	0,1084 m
Coeficiente de Hazen-Williams da adutora	C	150
HMT até a boca do poço	$HMT_{SPAGUAS}$	147,24

Para os cálculos hidráulicos foi utilizado o diâmetro interno efetivo da tubulação, uma vez que o diâmetro nominal constitui apenas a designação padronizada do tubo.

O valor de 147,24 m.c.a. corresponde à altura manométrica até a boca do poço indicada pela SP Águas na planilha "Equipamento de Bombeamento e Acessórios" (folha 3/3) do Projeto de Poço Tubular Profundo (SEI nº 137.00011127/2024-94, de 10/01/2025), associada à vazão de 50 m³/h e ao nível dinâmico de 100 m.

Para fins de dimensionamento hidráulico, foi considerada extensão total aproximada de 585,20 m de tubulação de recalque, compreendendo 575,20 m de adutora entre a unidade de captação e o local previsto para implantação do reservatório metálico, acrescidos de aproximadamente 10 m de tubulação destinados à condução da água até o ponto de entrada superior do reservatório.

Ressalta-se que a presente contratação contempla exclusivamente a execução dos 575,20 m de adutora, enquanto o trecho adicional de aproximadamente 10 m será executado no âmbito da futura contratação da unidade de reservação.

A consideração da extensão total no dimensionamento hidráulico tem por finalidade representar as condições de funcionamento da solução global de abastecimento, incluindo as perdas de carga do trecho de interligação ao reservatório, independentemente da execução das obras por meio de contratações distintas.

7.2. Velocidade de Escoamento

A velocidade é determinada pela equação da continuidade:

$$Q_{FAVORAVEL} = V \times A$$

Portanto:

$$V = \frac{Q_{FAVORAVEL}}{A}$$

Sendo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Logo:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Substituindo, tem-se:

$$V = \frac{4 \times 0{,}0139}{\pi \times 0{,}1084^2} = 1{,}5061\ m/s$$

A velocidade calculada encontra-se dentro da faixa tecnicamente admissível para adutoras de água bruta, conforme os critérios adotados no presente memorial, situando-se entre os limites de 0,60 m/s e 3,00 m/s.

Dessa forma, o diâmetro adotado apresenta condição hidráulica adequada para a vazão de 50 m³/h no cenário mais favorável.

7.3. Perda de Carga Distribuída

Para determinação da perda de carga distribuída ao longo da adutora, foi utilizada a equação de Hazen-Williams:

$$J = \frac{10{,}643 \times Q^{1{,}852}}{C^{1{,}852} \times D^{4{,}87}}$$

onde:

J= perda de carga unitária, em m/m;

Q= vazão, em m³/s;

C= coeficiente de Hazen-Williams;

D= diâmetro interno da tubulação, em m.

resultando em:

$$J = \frac{10{,}643 \times 0{,}0139^{1{,}852}}{150^{1{,}852} \times 0{,}1084^{4{,}87}} = 0{,}0181\ m/m$$

A perda de carga distribuída ao longo da adutora é:

$$h_f = J \times L = 0{,}0181 \times 585{,}20 = 10{,}59\ m.c.a.$$

7.4. Perda de Carga Localizada

As perdas localizadas decorrentes de válvulas, curvas, conexões, retenções, registros e demais acessórios foi determinada pela seguinte expressão:

$$h_l = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

onde:

h_L = perda de carga localizada total, em m.c.a.;

$\sum K$ = somatório dos coeficientes de perda localizada;

V = velocidade média de escoamento, em m/s;

g = aceleração da gravidade, adotada como 9,81 m/s².

Acessório	Qtd.	K_{UNIT}	K_{TOTAL}
Curva PVC DeFoFo 90° 100 mm	05	1,6	8,0
Curva PVC DeFoFo 45° 100 mm	01	1,0	1,0
Curva PVC DeFoFo *22*° 100 mm	04	1,0	4,0
Saída de Canalização	01	3,9	3,9
Registro de Gaveta 100 mm	02	1,0	2,0
Válvula de Retenção	01	6,4	6,4
Total			**25,3**

Considerando os acessórios previstos na solução global (cinco curvas de 90°, sendo uma na adutora e quatro no barrilete de saída do poço e na entrada do reservatório; uma curva de 45°; quatro curvas de 22°; dois registros de gaveta, no barrilete e na entrada do reservatório; uma válvula de retenção; e a saída da canalização):

$$\sum K = 25{,}3$$

tem-se:

$$h_l = 25{,}3 \frac{1{,}5061^2}{2 \times 9{,}81} = 2{,}93\ m.c.a.$$

7.5. Perda de Carga Total

A perda de carga total na adutora corresponde ao somatório da perda de carga distribuída e das perdas de carga localizadas:

$$h = h_f + h_l = 10{,}59 + 2{,}93 = 13{,}52\ m.c.a.$$

Para fins de dimensionamento, adota-se, a favor da segurança, o valor arredondado de:

$$h = 14\ m.c.a.$$

7.6. Altura geométrica

Para o presente dimensionamento, a altura geométrica considerada neste trecho corresponde à diferença de cota entre a boca do poço e o nível máximo de água do reservatório, uma vez que o estudo elaborado pela SPÁGUAS apresenta, separadamente, a altura manométrica necessária para o bombeamento até a boca do poço, considerando o nível dinâmico adotado no estudo.

A cota da boca do poço é:

$$C_{BP} = 785\ m$$

A cota do nível máximo de água no reservatório:

$$C_f = 802 + 10 = 812\ m$$

Assim, a altura geométrica do trecho compreendido entre a boca do poço e o reservatório é:

$$H_g = C_f - C_{BP}$$

$$H_g = 812 - 785 = 27\ m$$

A profundidade de instalação da bomba submersa não é utilizada diretamente neste cálculo, uma vez que o trecho compreendido entre o nível dinâmico do poço e sua boca já é considerado na altura manométrica indicada no estudo da SP ÁGUAS.

7.7. Altura manométrica

A Altura Manométrica Total do sistema corresponde à soma da altura geométrica com a altura manométrica do poço, as perdas de carga distribuídas e localizadas ao longo da adutora:

$$HMT_{TOTAL} = HMT_{SPAGUAS} + H_{g,boca \rightarrow reservatorio} + h_{adutora} =$$

$$HMT_{TOTAL} = 147{,}24 + 27 + 14 = 188{,}24\ m.c.a.$$

7.8. Conjunto Motobomba

O conjunto motobomba deverá ser selecionado de modo que sua curva característica atenda ao ponto de operação do sistema.

O ponto hidráulico de projeto será:

$$Q_{FAVORAVEL} = 50\ m^3/h$$

$$HMT = 188{,}24\ m.c.a.$$

7.8.1. Potência hidráulica

A potência hidráulica é dada por:

$$P_h = \frac{Q_{FAVORAVEL} \times HMT}{367}$$

Assim:

$$P_h = \frac{50 \times 188{,}24}{367} = 25{,}65\ kW$$

7.8.2. Potência requerida no eixo da bomba

Considerando o rendimento:

$$\eta_b = 0{,}70$$

a potência requerida no eixo será:

$$P_{EIXO} = \frac{P_h}{\eta_b}$$

Logo:

$$P_{EIXO} = \frac{25{,}65}{0{,}70} = 36{,}64\ kW$$

Convertendo para cv:

$$P_{EIXO} = 49{,}8\ CV$$

A potência nominal definitiva do motor deverá ser definida a partir da curva característica do conjunto motobomba efetivamente selecionado, considerando o ponto de operação, o rendimento real do equipamento e as recomendações do fabricante.

7.8.3. Verificação do ponto de operação

A bomba selecionada deverá possuir curva característica compatível com o ponto hidráulico de projeto:

$$Q_{FAVORAVEL} = 50\ m^3/h$$
$$HMT = 188{,}24\ m.c.a.$$

Para atendimento dessas condições, foi analisada como referência o conjunto motobomba série Leão 6STS60, destinada a aplicações em poços tubulares profundos.

Conforme dados do fabricante, o modelo 6STS60-13A, com potência nominal de 55 cv e 13 estágios, apresenta, para vazão de 50 m³/h, altura manométrica de 192 m.c.a., mostrando-se compatível com o ponto hidráulico requerido pelo sistema.

Modelo	Potência (cv)	Estágios	Características Hidráulicas									Peso (kg)			Ø mínimo do Poço (pol.)	Ø máx. do Conjunto	Dimensões (mm)		
			Vazão (m³/h)									Bombeador	Motor	Conjunto			M	B	C
			0	35	40	45	50	55	60	65	75								
			Altura Manométrica Total (m.c.a.)																
6STS60-01A 600C	5	1 (1A)	23	18	17	16	15	14	13	12	8	22	35	57	6	150	698	592	1290
6STS60-02A 600C	9	2 (2A)	45	36	33	31	29	28	26	23	16	27	37	64			718	712	1430
6STS60-03A 600C	13	3 (3A)	68	53	50	47	44	41	39	35	24	32	45	77			718	833	1551
6STS60-04A 600C	17	4 (4A)	88	71	67	63	59	57	54	50	37	37	49	86			778	954	1732
6STS60-05A 600C	22,5	5 (5A)	110	89	84	78	74	71	67	62	46	42	58	100			918	1074	1992
6STS60-06A 600C	25	6 (6A)	132	108	101	94	89	85	81	74	55	47	58	105			918	1195	2113
6STS60-07A 600C	30	7 (7A)	154	125	117	110	104	100	95	87	64	52	69	121			1008	1316	2324
6STS60-08A 600C	35	8 (8A)	175	144	135	126	118	113	108	100	74	57	80	137			1113	1436	2549
6STS60-09A 600C	40	9 (9A)	197	162	152	141	133	127	121	113	84	62	90	152			1213	1557	2770
6STS60-10A 600C	40	10 (10A)	217	179	168	156	147	141	134	123	91	67	90	157			1213	1678	2891
6STS60-11A 600C*	45	11 (11A)	239	197	184	171	162	155	147	135	100	72	97	169			1293	1798	3091
6STS60-12A 600C*	50	12 (12A)	261	215	202	189	177	169	162	149	109	77	97	174			1293	1919	3212
6STS60-13A 800	55	13 (13A)	283	233	219	205	192	183	175	161	118	82	189	271			1486	2039	3525
6STS60-14A 800	60	14 (14A)	301	247	232	216	204	195	185	171	126	87	189	276			1486	2160	3646
6STS60-15A 800	60	15 (15A)	322	264	248	232	218	208	199	183	136	92	189	281	8	181	1486	2281	3767
6STS60-16A 800	65	16 (16A)	344	282	265	247	233	222	212	195	145	97	189	286			1486	2401	3887
6STS60-17A 800	70	17 (17A)	365	300	282	263	247	236	225	208	154	102	189	291			1486	2522	4008

Os valores das colunas Peso, Ø, M, e C variam conforme a tensão do equipamento, sendo informado o valor máximo. O rotor "A" tem diâmetro de 120,6 mm.
*Os modelos na potência de 45 e 50 cv podem ser acoplados ao motor da série 800. Para esses modelos o diâmetro mínimo do poço é de 8".

Para o acionamento, adota-se motor elétrico trifásico de 55 cv, 380 V, conforme o conjunto de referência, com partida por soft-starter. O fornecedor deverá apresentar a curva do conjunto bomba–motor efetivamente fornecido, comprovando o atendimento ao ponto de projeto.

7.8.4. Verificação do tempo de bombeamento

O tempo necessário para atendimento ao volume diário será:

$$T = \frac{V_{dia,max}}{Q_{BOMBA}}$$

$$T = \frac{562{,}14}{50} = 11{,}24\ horas/dia$$

Portanto, o conjunto deverá operar aproximadamente 11,24 horas por dia nas condições de maior demanda para o cenário mais favorável.

8. DIMENSIONAMENTO PARA CENÁRIO MAIS RESTRITIVO

O cenário mais restritivo corresponde à condição em que o teste de vazão do poço não confirme a capacidade de produção estimada na avaliação hidrogeológica preliminar elaborada pelo SPAGUAS. Nessa hipótese, a vazão obtida será adotada como vazão necessária para abastecimento da população de projeto.

8.1. Dados de Projeto

Parâmetro		Valor
Vazão Considerada	$Q_{RESTRITIVO}$	35 m³/h = 0,0097 m³/s
Comprimento da adutora	L	575,20 m
Material da adutora		PVC DeFoFo
Pressão Nominal/Classe da adutora	PN	1,0 MPa
Diâmetro Nominal da adutora	DN	100 mm
Diâmetro Interno da adutora	D	0,1084 m
Coeficiente de Hazen-Williams da adutora	C	150
HMT até a boca do poço	$HMT_{SPAGUAS}$	147,24

Para os cálculos hidráulicos foi utilizado o diâmetro interno efetivo da tubulação, uma vez que o diâmetro nominal constitui apenas a designação padronizada do tubo.

8.2. Velocidade de Escoamento

A velocidade é determinada pela equação da continuidade:

$$Q_{RESTRITIVO} = V \times A$$

Portanto:

$$V = \frac{Q_{RESTRITIVO}}{A}$$

Sendo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Logo:

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Substituindo, tem-se:

$$V = \frac{4 \times 0{,}0097}{\pi \times 0{,}1084^2} = 1{,}0510\ m/s$$

A velocidade calculada encontra-se dentro da faixa tecnicamente admissível para adutoras de água bruta, conforme os critérios adotados no presente memorial, situando-se entre os limites de 0,60 m/s e 3,00 m/s.

Dessa forma, o diâmetro adotado apresenta condição hidráulica adequada para a vazão de 35 m³/h no cenário mais restritivo.

8.3. Perda de Carga Distribuída

Para determinação da perda de carga distribuída ao longo da adutora, foi utilizada a equação de Hazen-Williams:

$$J = \frac{10{,}643 \times Q^{1{,}852}}{C^{1{,}852} \times D^{4{,}87}}$$

onde:

J= perda de carga unitária, em m/m;

Q= vazão, em m³/s;

C= coeficiente de Hazen-Williams;

D= diâmetro interno da tubulação, em m.

resultando em:

$$J = \frac{10{,}643 \times 0{,}0097^{1{,}852}}{150^{1{,}852} \times 0{,}1084^{4{,}87}} = 0{,}0093\ m/m$$

A perda de carga distribuída ao longo da adutora é:

$$h_f = J \times L = 0{,}0093 \times 585{,}20 = 5{,}44\ m.c.a.$$

8.4. Perda de Carga Localizada

As perdas localizadas decorrentes de válvulas, curvas, conexões, retenções, registros e demais acessórios foi determinada pela seguinte expressão:

$$h_l = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

onde:

h_L = perda de carga localizada total, em m.c.a.;

$\sum K$ = somatório dos coeficientes de perda localizada;

V = velocidade média de escoamento, em m/s;

g = aceleração da gravidade, adotada como 9,81 m/s².

Acessório	Qtd.	K_{UNIT}	K_{TOTAL}
Curva PVC DeFoFo 90° 100 mm	05	1,6	8,0
Curva PVC DeFoFo 45° 100 mm	01	1,0	1,0
Curva PVC DeFoFo *22*° 100 mm	04	1,0	4,0
Saída de Canalização	01	3,9	3,9
Registro de Gaveta 100 mm	02	1,0	2,0
Válvula de Retenção	01	6,4	6,4
Total			**25,3**

Considerando os acessórios previstos na solução global (cinco curvas de 90°, sendo uma na adutora e quatro no barrilete de saída do poço e na entrada do reservatório; uma curva de 45°; quatro curvas de 22°; dois registros de gaveta, no barrilete e na entrada do reservatório; uma válvula de retenção; e a saída da canalização):

$$\sum K = 25{,}3$$

tem-se:

$$h_l = 25{,}3 \frac{1{,}0510^2}{2 \times 9{,}81} = 1{,}43\ m.c.a.$$

8.5. Perda de Carga Total

A perda de carga total na adutora corresponde ao somatório da perda de carga distribuída e das perdas de carga localizadas:

$$h = h_f + h_l = 5{,}44 + 1{,}43 = 6{,}87\ m.c.a.$$

Para fins de dimensionamento, adota-se, a favor da segurança, o valor arredondado de:

$$h = 7\ m.c.a.$$

8.6. Altura geométrica

Para o presente dimensionamento, a altura geométrica considerada neste trecho corresponde à diferença de cota entre a boca do poço e o nível máximo de água do reservatório, uma vez que o estudo elaborado pela SPÁGUAS apresenta, separadamente, a altura manométrica necessária para o bombeamento até a boca do poço, considerando o nível dinâmico adotado no estudo.

A cota da boca do poço é:

$$C_{BP} = 785\ m$$

A cota do nível máximo de água no reservatório:

$$C_f = 802 + 10 = 812\ m$$

Assim, a altura geométrica do trecho compreendido entre a boca do poço e o reservatório é:

$$H_g = C_f - C_{BP}$$

$$H_g = 812 - 785 = 27\ m$$

A profundidade de instalação da bomba submersa não é utilizada diretamente neste cálculo, uma vez que o trecho compreendido entre o nível dinâmico do poço e sua boca já é considerado na altura manométrica indicada no estudo da SPÁGUAS.

8.7. Altura manométrica

Para o cenário mais restritivo, mantém-se, por critério conservador, a altura manométrica de 147,24 m.c.a. indicada no estudo da SPÁGUAS, embora esse valor tenha sido originalmente associado à vazão de 50 m³/h. A adoção desse valor no cenário de menor vazão proporciona margem adicional de segurança ao dimensionamento do conjunto motobomba.

Posto isto, a Altura Manométrica Total do sistema corresponde à soma da altura geométrica com a altura manométrica do poço, as perdas de carga distribuídas e localizadas ao longo da adutora:

$$HMT_{TOTAL} = HMT_{SPAGUAS} + H_{g,boca \rightarrow reservatorio} + h_{adutora}$$

$$HMT_{TOTAL} = 147{,}24 + 27 + 7 = 181{,}24\ m.c.a.$$

8.8. Conjunto Motobomba

O conjunto motobomba deverá ser selecionado de modo que sua curva característica atenda ao ponto de operação do sistema.

O ponto hidráulico de projeto será:

$$Q_{RESTRITIVO} = 35\ m^3/h$$

$$HMT = 181{,}24\ m.c.a.$$

8.8.1. Potência hidráulica

A potência hidráulica é dada por:

$$P_h = \frac{Q_{RESTRITIVO} \times HMT}{367}$$

Assim:

$$P_h = \frac{35 \times 181{,}24}{367} = 17{,}28\ kW$$

8.8.2. Potência requerida no eixo da bomba

Considerando o rendimento:

$$\eta_b = 0{,}70$$

a potência requerida no eixo será:

$$P_{EIXO} = \frac{P_h}{\eta_b}$$

Logo:

$$P_{EIXO} = \frac{17{,}28}{0{,}70} = 24{,}69\ kW$$

Convertendo para cv:

$$P_{EIXO} = 34\ CV$$

A potência nominal definitiva do motor deverá ser definida a partir da curva característica do conjunto motobomba efetivamente selecionado, considerando o ponto de operação, o rendimento real do equipamento e as recomendações do fabricante.

8.8.3. Verificação do ponto de operação

A bomba selecionada deverá possuir curva característica compatível com o ponto hidráulico de projeto:

$$Q_{RESTRITIVO} = 35\ m^3/h$$

$$HMT = 181{,}24\ m.c.a.$$

Para atendimento dessas condições, foi analisada como referência o conjunto motobomba série Leão 6STS60, destinada a aplicações em poços tubulares profundos.

Conforme dados do fabricante, o modelo 6STS60-11A, com potência nominal de 45 cv e 11 estágios, apresenta, para vazão de 35 m³/h, altura manométrica de 197 m.c.a., mostrando-se compatível com o ponto hidráulico requerido pelo sistema.

Modelo	Potência (cv)	Estágios	Características Hidráulicas									Peso (kg)			Ø mínimo do Poço (pol.)	Ø máx. do Conjunto	Dimensões (mm)		
			Vazão (m³/h)									Bombeador	Motor	Conjunto			M	B	C
			0	35	40	45	50	55	60	65	75								
			Altura Manométrica Total (m.c.a.)																
6STS60-01A 600C	5	1 (1A)	23	18	17	16	15	14	13	12	8	22	35	57	6	150	698	592	1290
6STS60-02A 600C	9	2 (2A)	45	36	33	31	29	28	26	23	16	27	37	64			718	712	1430
6STS60-03A 600C	13	3 (3A)	68	53	50	47	44	41	39	35	24	32	45	77			718	833	1551
6STS60-04A 600C	17	4 (4A)	88	71	67	63	59	57	54	50	37	37	49	86			778	954	1732
6STS60-05A 600C	22,5	5 (5A)	110	89	84	78	74	71	67	62	46	42	58	100			918	1074	1992
6STS60-06A 600C	25	6 (6A)	132	108	101	94	89	85	81	74	55	47	58	105			918	1195	2113
6STS60-07A 600C	30	7 (7A)	154	125	117	110	104	100	95	87	64	52	69	121			1008	1316	2324
6STS60-08A 600C	35	8 (8A)	175	144	135	126	118	113	108	100	74	57	80	137			1113	1436	2549
6STS60-09A 600C	40	9 (9A)	197	162	152	141	133	127	121	113	84	62	90	152			1213	1557	2770
6STS60-10A 600C	40	10 (10A)	217	179	168	156	147	141	134	123	91	67	90	157			1213	1678	2891
6STS60-11A 600C*	45	11 (11A)	239	197	184	171	162	155	147	135	100	72	97	169			1293	1798	3091
6STS60-12A 600C*	50	12 (12A)	261	215	202	189	177	169	162	149	109	77	97	174			1293	1919	3212
6STS60-13A 800	55	13 (13A)	283	233	219	205	192	183	175	161	118	82	189	271	8	181	1486	2039	3525
6STS60-14A 800	60	14 (14A)	301	247	232	216	204	195	185	171	126	87	189	276			1486	2160	3646
6STS60-15A 800	60	15 (15A)	322	264	248	232	218	208	199	183	136	92	189	281			1486	2281	3767
6STS60-16A 800	65	16 (16A)	344	282	265	247	233	222	212	195	145	97	189	286			1486	2401	3887
6STS60-17A 800	70	17 (17A)	365	300	282	263	247	236	225	208	154	102	189	291			1486	2522	4008

Os valores das colunas Peso, Ø, M, e C variam conforme a tensão do equipamento, sendo informado o valor máximo. O rotor "A" tem diâmetro de 120,6 mm.
*Os modelos na potência de 45 e 50 cv podem ser acoplados ao motor da série 800. Para esses modelos o diâmetro mínimo do poço é de 8".

8.8.4. Verificação do tempo de bombeamento

O tempo necessário para atendimento ao volume diário será:

$$T = \frac{V_{dia,max}}{Q_{BOMBA}}$$

$$T = \frac{562{,}14}{35} = 16{,}06\ horas/dia$$

Para fins operacionais, adota-se período diário de bombeamento de aproximadamente 16 horas, preservando-se aproximadamente 8 horas diárias para paralisações programadas, manutenção e demais eventualidades.

9. CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DEFINITIVA DO CONJUNTO MOTOBOMBA EM FUNÇÃO DA VAZÃO EFETIVAMENTE OBTIDA NO POÇO

Considerando que se trata de obra a ser objeto de procedimento licitatório e que, previamente à execução do teste definitivo de vazão, não é possível conhecer com precisão a capacidade efetiva de produção do poço, adota-se para fins de especificação e aquisição do conjunto motobomba o cenário de maior vazão, correspondente a 50 m³/h, conforme estimativa apresentada no estudo hidrogeológico elaborado pela SP ÁGUAS.

Caso o teste de vazão a ser realizado após a perfuração indique capacidade de produção inferior a 50 m³/h, o conjunto motobomba será selecionado para a vazão de exploração definida no ensaio, mediante aprovação da fiscalização, antes da encomenda do equipamento. Para a vazão mínima de 35 m³/h, o dimensionamento do cenário mais restritivo (item 8.8.3) indica como referência o conjunto Leão 6STS60-11A, de 45 cv e 11 estágios, ou equivalente técnico.

Não se prevê, portanto, regulagem do ponto de operação por estrangulamento da linha de recalque: o conjunto instalado operará em ponto compatível com a vazão do poço, sem elevação artificial da pressão no barrilete. Eventual substituição do conjunto de referência por equipamento de menor potência será formalizada mediante a correspondente adequação contratual, na forma dos arts. 124 a 136 da Lei nº 14.133/2021.

A seleção definitiva deverá observar a curva característica da bomba, a curva do sistema, o rendimento do conjunto, as condições de submergência do equipamento e as recomendações do fabricante, de forma a assegurar operação estável e evitar funcionamento fora da faixa recomendada.

Dessa forma, para fins de licitação, adota-se como referência o conjunto motobomba destinado ao atendimento do cenário de 50 m³/h, ficando a seleção definitiva condicionada ao resultado do ensaio de vazão.

10. VERIFICAÇÕES COMPLEMENTARES DO CONJUNTO MOTOBOMBA

Além do atendimento ao ponto de operação definido para cada cenário de dimensionamento, a seleção definitiva do conjunto motobomba deverá observar as condições construtivas do poço, as características elétricas do motor, as limitações de pressão da linha de recalque e os requisitos operacionais do sistema.

A definição final do equipamento deverá ser compatibilizada com os resultados do teste de vazão do poço e com as curvas características fornecidas pelo fabricante.

10.1. Compatibilidade dimensional com o poço tubular

O conjunto motobomba submersível deverá possuir dimensões compatíveis com o diâmetro interno útil do poço tubular, permitindo sua instalação, retirada e manutenção sem interferências com o revestimento, cabos elétricos, tubulações e demais componentes existentes no interior do poço.

Deverá ser verificado o diâmetro externo máximo do conjunto constituído pela bomba, motor, acoplamentos, protetores e demais acessórios, confrontando-o com o diâmetro interno do revestimento do poço.

A seleção definitiva deverá respeitar as folgas mínimas recomendadas pelo fabricante do equipamento, garantindo condições adequadas para instalação, circulação de água ao redor do motor e eventual remoção do conjunto para manutenção.

Para o presente sistema, está prevista a utilização de bomba submersível da série de 6", compatível com o revestimento previsto para o poço tubular, devendo essa condição ser confirmada na especificação final do equipamento.

10.2. Submergência mínima do conjunto motobomba

A profundidade de instalação do conjunto motobomba deverá ser definida após a realização do teste de bombeamento e a determinação efetiva do nível dinâmico do poço.

A bomba deverá permanecer suficientemente submersa durante toda a operação do sistema, inclusive nas condições de maior rebaixamento do nível d'água, respeitando a submergência mínima estabelecida pelo fabricante.

A definição da profundidade de instalação deverá considerar, entre outros fatores:

- o nível estático do poço;
- o nível dinâmico obtido no teste de bombeamento;

- a variação operacional esperada do nível d'água;
- a profundidade das seções filtrantes;
- a posição dos cabos e tubulação edutora;
- as recomendações do fabricante quanto à submergência mínima e refrigeração do motor.

A posição definitiva do equipamento somente deverá ser estabelecida após o conhecimento das condições reais de operação do poço.

10.3. Verificação da pressão máxima do sistema

A pressão máxima atuante na linha de recalque deverá ser compatível com a classe de pressão das tubulações, conexões, registros, válvulas e demais acessórios integrantes do sistema.

A verificação deverá considerar a pressão correspondente à altura manométrica do conjunto motobomba, as diferenças de cota existentes ao longo do sistema e eventuais condições de operação que possam resultar em aumento de pressão.

A tubulação de recalque externa prevista em PVC DeFoFo deverá possuir classe de pressão compatível com as pressões máximas de serviço verificadas no sistema.

Deverá ser observado que a pressão máxima em determinado ponto da adutora não corresponde necessariamente à Altura Manométrica Total do sistema, devendo ser considerada a respectiva cota piezométrica e a distribuição das perdas de carga ao longo da linha.

Caso sejam verificadas pressões superiores às admissíveis para a classe de tubulação inicialmente prevista, deverão ser adotadas medidas de adequação, tais como alteração da classe de pressão, especificação de componentes de maior resistência ou dispositivos de controle de pressão.

Para o sistema projetado, em operação normal, a pressão na saída do poço corresponde à soma da altura geométrica até o nível máximo do reservatório (27 m) e das perdas de carga na adutora (13,52 m), totalizando cerca de 41 m.c.a., valor inferior à pressão nominal de 100 m.c.a. da tubulação PN 1,0 MPa. Pressões próximas à altura de fechamento da bomba somente ocorreriam com a linha de recalque bloqueada, razão pela qual o registro de gaveta do barrilete destina-se exclusivamente a manobras de manutenção e somente poderá ser fechado com o conjunto motobomba desligado, conforme o Memorial Descritivo (item 6.4).

10.4. Acionamento e controle operacional

O sistema de acionamento do conjunto motobomba deverá ser compatível com a potência nominal do motor e com as condições operacionais definidas para o poço.

Considerando que a vazão efetivamente disponível somente será conhecida após a realização do teste de bombeamento, o sistema deverá permitir adequação da operação do conjunto às condições reais de exploração.

Caso a vazão disponível resulte inferior à vazão nominal de dimensionamento, o conjunto será selecionado para a vazão de exploração, conforme o item 9. O acionamento será por soft-starter, com rampas de aceleração e desaceleração ajustáveis, contribuindo para a redução de transientes nas manobras de partida e parada.

A solução adotada deverá respeitar a faixa operacional recomendada pelo fabricante e evitar funcionamento prolongado em condições inadequadas de rendimento, vibração ou aquecimento.

Para fins de licitação, adota-se como referência o conjunto dimensionado para 50 m³/h, sendo a seleção definitiva feita após o ensaio de vazão, conforme o item 9, mantida a compatibilidade com a curva característica do equipamento e com os limites operacionais recomendados pelo fabricante.

10.5. Características elétricas do motor

A especificação definitiva do conjunto motobomba deverá apresentar as principais características elétricas do motor, incluindo, no mínimo:

- potência nominal;
- tensão de alimentação;
- corrente nominal;
- frequência;
- número de fases;
- rendimento;
- fator de potência;
- regime de serviço;
- classe de isolamento.

Esses parâmetros deverão ser utilizados para o dimensionamento dos cabos elétricos, dispositivos de proteção, sistema de acionamento, transformador e demais componentes da instalação elétrica associados ao poço tubular.

10.6. Rendimento do conjunto motobomba

O rendimento da bomba adotado nos cálculos preliminares possui caráter estimativo e deverá ser substituído ou confirmado pelo rendimento efetivo indicado na curva característica do equipamento selecionado.

A seleção definitiva deverá priorizar a operação do conjunto em região de rendimento adequado, evitando condições excessivamente afastadas do ponto de melhor eficiência da bomba.

O rendimento do motor também deverá ser considerado na avaliação da potência elétrica absorvida e no dimensionamento da instalação elétrica.

10.7. Verificação de transientes hidráulicos

Deverão ser avaliadas as condições de partida, parada e eventuais interrupções bruscas do conjunto motobomba, especialmente em razão do comprimento da linha de recalque e da altura manométrica envolvida.

Caso a análise indique possibilidade de ocorrência de sobrepressões ou subpressões significativas decorrentes de transientes hidráulicos, deverão ser previstos dispositivos ou estratégias de proteção adequadas ao sistema.

Entre as soluções passíveis de análise incluem-se dispositivos de controle de partida e parada, válvulas de retenção adequadas, válvulas de alívio, reservatórios hidropneumáticos ou outros dispositivos compatíveis com as características hidráulicas da instalação.

11. TRATAMENTO DA ÁGUA – DESINFECÇÃO E FLUORETAÇÃO

A água produzida pelo poço será submetida a desinfecção por cloração e a fluoretação antes do envio ao reservatório, por meio de dosagem de hipoclorito de sódio e de ácido fluossilícico em abrigo de cloração junto ao poço, com bombas dosadoras intertravadas com o conjunto motobomba, atendendo à Portaria GM/MS nº 888/2021 (manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre em todo o sistema de distribuição) e à Resolução SS-250/1995 da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo (teor ideal de fluoreto de 0,7 mg/L).

Para a vazão máxima de 50 m³/h, as dosagens máximas de projeto de 2,0 mg/L de cloro e 0,8 mg/L de fluoreto correspondem a consumos aproximados de 1,0 L/h de hipoclorito de sódio a 10% e 0,21 L/h de ácido fluossilícico a 20%, conforme detalhado no Memorial Descritivo. A dosagem efetiva de fluoreto deverá descontar o teor natural determinado na análise da água do poço.

Patrocínio Paulista, 09 de novembro de 2026

Giovanni Gonçalves de Sousa
Engenheiro Civil

Pedro Antunes Oliveira Fonseca
Diretor de Obras e Urbanismo