

**I-284 - EMPREGO DE TANQUES ALIMENTADORES BIDIRECIONAIS (TAB)
PARA ATENUAÇÃO DAS CARGAS TRANSITÓRIAS EM ADUTORAS POR
RECALQUE: ESTUDO DE CASO**

Marcos Rocha Vianna⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Professor do Programa de Mestrado em Sistemas Construtivos da Universidade FUMEC.

Marcos Ribeiro Vianna Neto

Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia da UFMG. Mestrando em Engenharia Química pela Escola de Engenharia da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cobre, 200 - Bairro Cruzeiro - CEP: 30.310-190 - Belo Horizonte / MG. e-mail: mrviana@fumec.br

RESUMO

Tanques alimentadores bidirecionais (TAB) constituem alternativas para os tanques alimentadores unidirecionais (TAU). Os autores utilizam esses dispositivos desde o final da década de 1980 em adutoras de sistemas de abastecimento de água de pequeno e médio porte. Apresentam simplicidade construtiva e operacional e seu custo é comparativamente inferior ao dos TAU. O trabalho descreve as concepções básicas utilizadas pelos autores em seus projetos, além de outra alternativa utilizada em adutoras de maior porte. Seu princípio de funcionamento é mostrado em diagramas explicativos. Descreve também as condições de contorno aplicáveis ao cálculo, quando se utiliza o método das características. Finalmente, os resultados obtidos na atenuação do golpe de aríete numa adutora recentemente estudada pelos autores é apresentado, como forma de mostrar sua aplicabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Aumento de Capacidade, Melhoria da Qualidade, Água com Alcalinidade, Coagulante Adequado, Auxiliares de Floculação.

INTRODUÇÃO

Tanques alimentadores bidirecionais (TAB) vêm sendo utilizados pelos autores desde o final da década de 1980 como recursos eficazes para a atenuação das cargas transitórias em adutoras de recalque. São unidades de concepção, construção e operação bastante simples. Seu desenho esquemático e sua instalação na linha de recalque são ilustrados na Figura 1.

O que se tem basicamente é uma coluna cheia d'água, em cuja extremidade superior são instaladas uma válvula de retenção e uma ventosa de pequeno calibre. A válvula de retenção permite a entrada de ar na coluna e impede a saída de água (VIANNA, 2008). A sequência de seu funcionamento é descrita a seguir.

- (a) De início, o regime permanente correspondente à situação em que a estação elevatória opera está estabelecido. A Figura 2 (a) mostra o perfil da linha de recalque e a linha piezométrica correspondente.
- (b) No instante em que falta energia elétrica, com reduz se a vazão com que a elevatória alimenta a linha de recalque. Produz-se, em consequência, a redução da pressão no trecho de canalização imediatamente a jusante, o que introduz a alteração da linha piezométrica mostrada na Figura 2 (b).

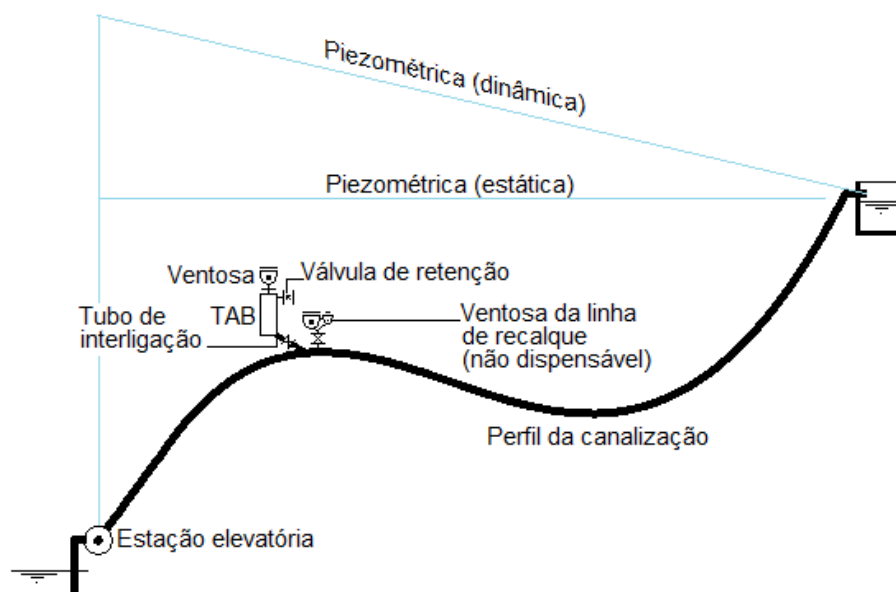


Figura 1 – Tanque alimentador bidirecional: desenho esquemático e instalação na linha de recalque (desenho esquemático).

- (c) A redução de pressão propaga-se para jusante, até que o TAB é atingido, Figura 2 (c).
- (d) A partir deste instante ele estabelecerá as pressões reinantes no trecho a jusante, pois passará a injetar água, mantendo, dessa forma inalterada a diferença de velocidades responsável pela redução de carga, ver Figura 2 (c).
- (e) Em fase posterior, a água tenderá a deslocar-se de volta para o interior do TAB. Isto de fato acontecerá, sendo que o ar passará a ser expulso lentamente através da ventosa de pequeno calibre.
- (f) Após cessado o transitório, as cargas transitórias extremas (máximas e mínimas) ao longo da adutora terão sido estabelecidas pelo TAB. A Figura 2 (e) representa essas cargas, comparando-as com as que prevaleceriam se o TAB não estivesse instalado.
- (g) A sequência mostrada na Figura 2 mostra que a instalação do TAB no ponto indicado evitou a ocorrência de pressões negativas no trecho inicial da adutora. Como consequência, as cargas transitórias máximas foram também atenuadas.
- (h) A Figura 3 mostra: (a) a configuração típica utilizada na maioria dos projetos de linhas de recalque de sistemas de abastecimento de água; e (b) uma configuração alternativa.
- (i) A Figura 4 mostra a configuração que foi adotada numa instalação de recalque de maior porte. Observe que o TAB foi colocado diretamente sobre a tubulação. Além disto, para evitar que o mau funcionamento da válvula de retenção acarretasse a saída de água e sua precipitação sobre as proximidades da linha (que poderia descalçar a tubulação enterrada), optou-se pela criação do esgotamento de emergência ali representado.
- (j) Destaca-se que a válvula de retenção deve ser dimensionada de modo a introduzir pequena perda de carga quando o ar estiver sendo admitido no dispositivo, em consequência da cessão de água para a adutora a partir da ocorrência da situação representada na Figura 2 (b). Por sua vez, a ventosa deve ser dimensionada de modo a obrigar que o ar acumulado no interior do TAB seja expulso do modo mais lento possível. Será evitada assim a possibilidade de “fechamento rápido” do dispositivo, que poderia produzir novo golpe de arfete.

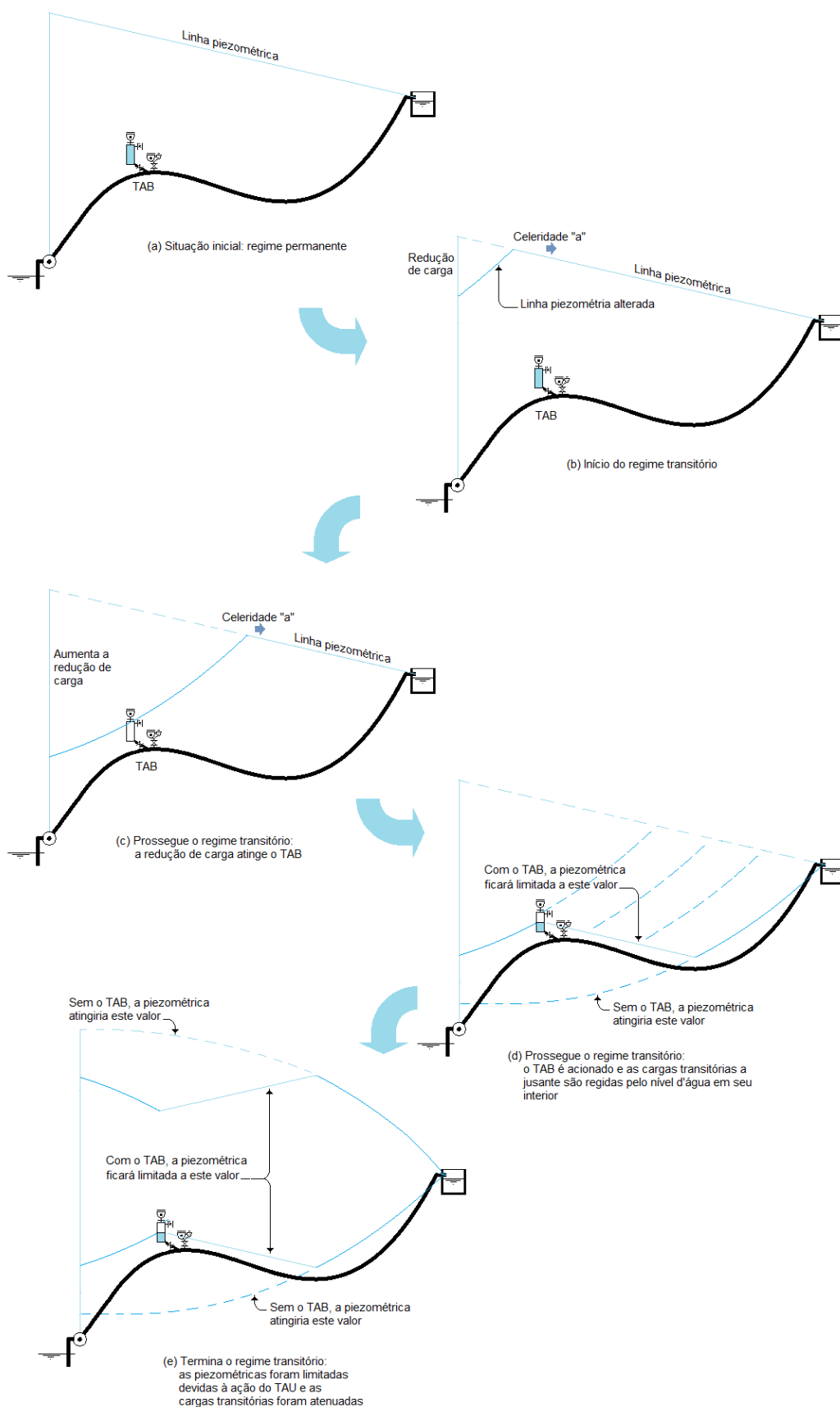


Figura 2 – Tanque alimentador bidirecional: diagrama esquemático de funcionamento.

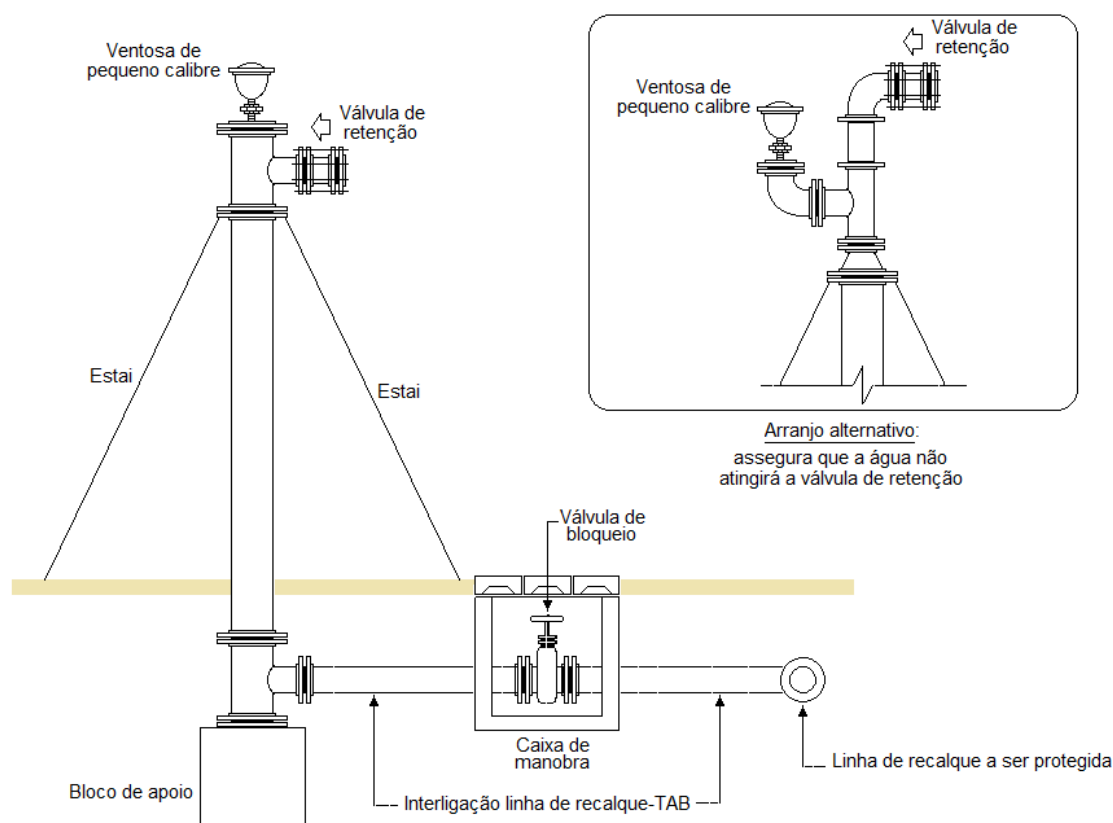


Figura 3 – Tanque alimentador bidirecional (TAB): concepção mais adotada.

O objetivo deste trabalho é mostrar como os autores criaram as condições de contorno aplicáveis a esse equipamento e o introduziram em seu programa de cálculo computacional. Esse programa permite determinar as envoltórias das cargas transitórias mínimas e máximas em tubulações de recalque. Um estudo de caso o acompanha, mostrando os resultados e efeitos obtidos.

METODOLOGIA UTILIZADA

A espinha dorsal do programa de cálculo desenvolvido pelos autores é o denominado “método das características”, conforme descrito por Wylie e Streeter, (1978). Foram introduzidas as condições de contorno impostas pelo dispositivo, quais sejam:

- A carga no ponto em que se encontra instalado será sempre maior ou igual à carga imposta pelo nível d’água em seu interior.
- A velocidade na seção imediatamente a jusante do ponto em que se encontra instalado será sempre maior ou igual a zero.
- O cálculo eletrônico despreza a possibilidade da velocidade negativa, pois o pequeno calibre da ventosa fará com que ela seja desprezível. Isto o torna a favor da segurança, do ponto de vista da obtenção das cargas transitórias máximas.

O cálculo eletrônico também despreza o efeito atenuador do pequeno volume de ar aprisionado no interior do dispositivo. Isto também o torna a favor da segurança. As equações correspondentes serão apresentadas no trabalho completo.

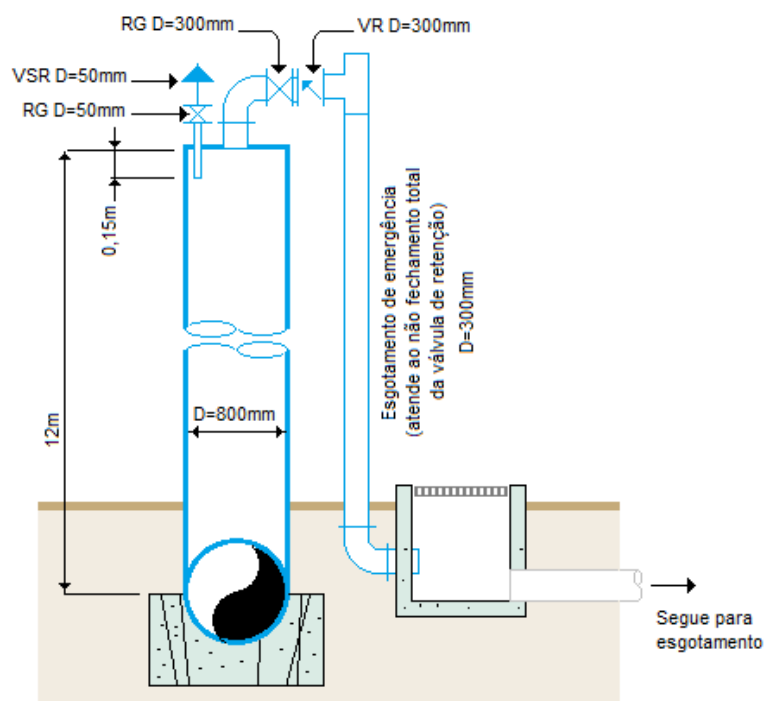


Figura 4 – TAB: concepção adotada em sistema de recalque de maior diâmetro.

RESULTADOS OBTIDOS

Este trabalho detalha o efeito atenuador obtido pela instalação de oito dispositivos desse tipo numa adutora de água bruta com diâmetro equivalente de 532 mm, extensão de 16263 metros, desnível geométrico de 131,18 metros. A vazão transportada é igual a 300 litros por segundo e a altura manométrica correspondente é igual a 214,82 metros. A celeridade da tubulação equivalente é igual a 1079 m/s.

As figuras 5 e 6 apresentam os perfis dessa adutora e as cargas transitórias correspondentes às situações em que: (a) nenhum dispositivo anti-golpe é instalado (Figura 5); e (b) oito TAU se encontram instalados (Figura 6).

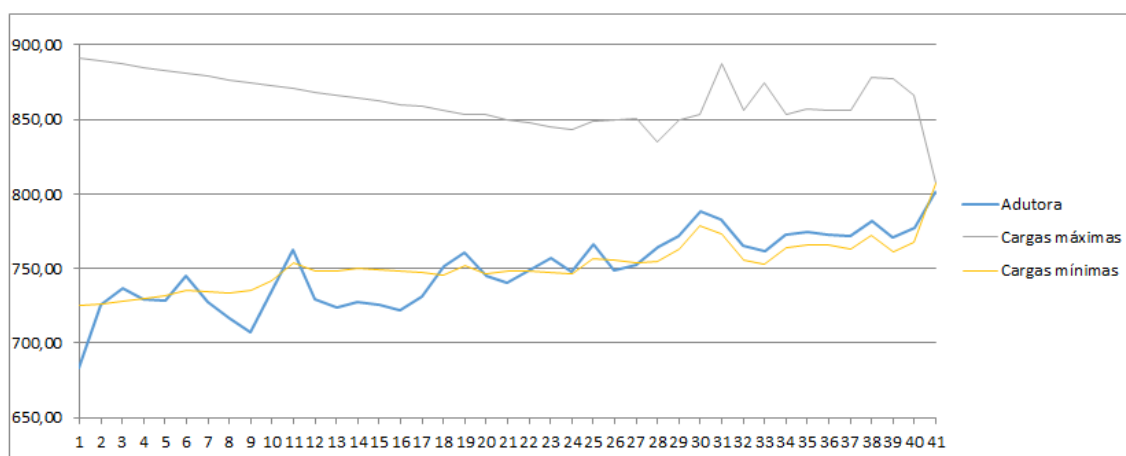


Figura 5 – Linha de recalque estudada: cargas transitórias sem dispositivos de proteção.

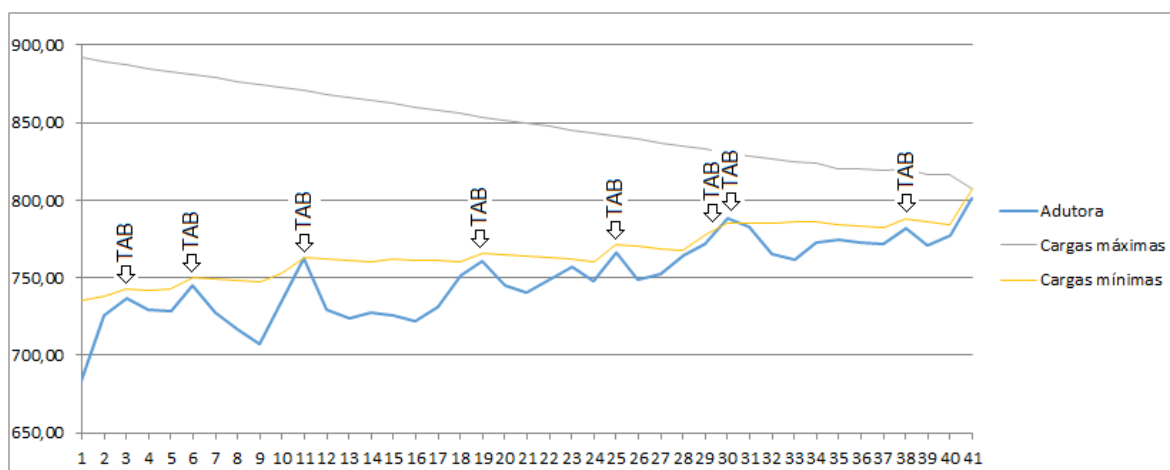


Figura 6 – Linha de recalque estudada: cargas transitórias com dispositivos de proteção.

A tabela 1 apresenta os dados de entrada utilizados no cálculo. A Tabela 2 apresenta as características correspondentes a cada um dos tanques alimentadores bidirecionais especificados para a proteção da linha de recalque.

A tabela 3 apresenta os resultados correspondentes ao regime transitório (envoltórias das cargas transitórias mínimas e máximas) que seriam obtidos se os dispositivos de proteção especificados não fossem instalados. A tabela 4 apresenta esses resultados correspondentes à situação em que os dispositivos estão instalados e protegendo a linha de recalque.

Observa-se que os tanques alimentadores bidirecionais (TAB) eliminam a ocorrência de pressões negativas. Entretanto, em vista da grande extensão da linha de recalque, os acréscimos de pressão só se fazem sentir no trecho final da adutora (trecho de jusante). – ver figura 5. Assim sendo, o efeito atenuador do TAB só se faz sentir nessa região - ver figura 6.

CONCLUSÕES

O tempo de operação tem mostrado que os tanques alimentadores bidirecionais (TAB) são dispositivos rústicos e confiáveis para serem utilizados na proteção de linhas de recalque contra o golpe de aríete. A introdução de suas condições de contorno no método das características pode ser feita sem grandes dificuldades.

O caso estudado e apresentado neste trabalho mostra que a instalação de oito TAB ao longo de uma adutora de grande extensão foi capaz de eliminar a ocorrência de pressões negativas em todo o caminhamento, em virtude da atenuação das cargas transitórias mínimas. A atenuação das cargas transitórias máximas foi a consequência natural desse efeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WYLIE, E. Benjamin.; STREETER, Victor. L. (1978). Fluid transients. New York: Mc Graw-Hill. 384p.
2. VIANNA, Marcos R. (2008). Hidráulica para engenheiros sanitários e ambientais. Volume 2: sistemas de produção, reservação e distribuição de água potável. Belo Horizonte, FUMEC. 369p.

Tabela 1 – Linha de recalque: dados de entrada.



DADOS DE ENTRADA	Arquivo : pminas_eabl_d
Tempo Máximo Para o Cálculo	60 segundos
Número de Trechos da Adutora	40 trechos
Material.....	ferro ductil
Diâmetro.....	0,532 metros
Espessura da parede.....	7 mm
Extensão.....	16263 metros
Celeridade.....	1079 m/s
Número de Bombas em Paralelo	3 bombas
Equação Representativa da Curva Característica H x Q da Associação das Bombas	
$H = -815,625 \times Q \times Q + 115,900 \times Q + 253,459$	
Pares de Valores Conhecidos (H,Q)	
1 H = 225 m	Q = 0,091 m ³ /s
2 H = 213 m	Q = 0,101 m ³ /s
3 H = 201 m	Q = 0,112 m ³ /s
4 H = 176 m	Q = 0,128 m ³ /s
5 H = 109 m	Q = 0,167 m ³ /s
6 H = 63 m	Q = 0,186 m ³ /s
Momento de Inércia de Cada Conj Girante ..	5 kgf x m ²
Rotação do Conjunto Moto-Bomba	1604 rpm
Rendimento.....	77 %
Altura Geométrica	131,18 metros
Elevação do NA no Poço de Sucção	676,5 metros
Vazão de Regime Permanente	0,3 m ³ /s
Elevação dos Diversos Pontos da Adutora de Recalque	
1 683,7 m	22 749 m
2 726 m	23 757 m
3 737 m	24 748 m
4 729,2 m	25 766 m
5 728,8 m	26 748,5 m
6 745 m	27 752,6 m
7 728 m	28 764,2 m
8 716,3 m	29 772,2 m
9 707,2 m	30 788 m
10 736 m	31 783 m
11 763 m	32 765 m
12 729,2 m	33 762 m
13 723,6 m	34 773 m
14 727,2 m	35 775 m
15 725,4 m	36 773 m
16 722,5 m	37 772 m
17 731 m	38 782 m
18 751,2 m	39 771 m
19 761 m	40 777,2 m
20 745,4 m	41 800,8 m
21 740,2 m	

Tabela 2 – Linha de recalque: dispositivos de proteção especificados.




Dispositivos utilizados: Arquivo : pminas_eabl_d

Tanque alimentador bidirecional (TAB)

Ponto em que está instalado.....	3
Elevação do NA inicial (m).....	742,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	6
Elevação do NA inicial (m).....	750,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	11
Elevação do NA inicial (m).....	768,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	19
Elevação do NA inicial (m).....	766,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	25
Elevação do NA inicial (m).....	771,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	29
Elevação do NA inicial (m).....	778
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	30
Elevação do NA inicial (m).....	793,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04
Ponto em que está instalado.....	38
Elevação do NA inicial (m).....	787,8
Coeficiente de perda de carga na interligação (s.m ⁻²)....	30,634
Coeficiente de perda de carga na entrada de ar (s.m ⁻²)...	1,04

Tabela 2 – Linha de recalque: resultados do cálculo - diagnóstico (sem dispositivos de proteção).



Ponto	Cota do terreno (m)	Posição (m)	Carga máxima (m)	Carga mínima (m)	Pressão máxima (m)	Pressão mínima (m)
1	683,70	0	891,15	725,12	177,45	41,42
2	726,00	400	889,23	726,09	163,23	0,09
3	737,00	800	887,14	727,68	150,14	-9,32
4	729,20	1200	885,05	729,62	155,85	0,42
5	728,80	1600	882,96	732,12	154,16	3,32
6	745,00	2000	880,87	735,56	135,87	-9,44
7	728,00	2400	878,78	734,53	150,78	6,53
8	716,30	2800	876,69	733,49	160,39	17,19
9	707,20	3200	874,59	735,68	167,39	28,48
10	736,00	3600	872,50	742,18	136,50	6,18
11	763,00	4000	870,41	753,59	107,41	-9,41
12	729,20	4400	868,32	748,31	139,12	19,11
13	723,60	4800	866,23	748,62	142,63	25,02
14	727,20	5200	864,14	750,25	136,94	23,05
15	725,40	5600	862,05	749,14	136,65	23,74
16	722,50	6000	859,96	748,04	137,46	25,54
17	731,00	6400	858,96	746,94	127,96	15,94
18	751,20	6800	855,77	745,84	104,57	-5,36
19	761,00	7200	853,68	751,58	92,68	-9,42
20	745,40	7600	853,15	746,66	107,75	1,26
21	740,20	8000	849,50	748,48	109,30	8,28
22	749,00	8400	847,41	748,11	98,41	-0,89
23	757,00	8800	845,32	747,58	88,32	-9,42
24	748,00	9200	843,33	746,41	95,33	-1,59
25	766,00	9600	848,28	756,59	82,28	-9,41
26	748,50	10000	849,40	755,34	100,90	6,84
27	752,60	10400	850,37	754,09	97,77	1,49
28	764,20	10800	834,86	754,79	70,66	-9,41
29	772,20	11200	849,29	762,80	77,09	-9,40
30	788,00	11600	853,24	778,62	65,24	-9,38
31	783,00	12000	887,61	773,61	104,61	-9,39
32	765,00	12400	855,60	755,59	90,60	-9,41
33	762,00	12800	874,33	752,58	112,33	-9,42
34	773,00	13200	853,55	763,60	80,55	-9,40
35	775,00	13600	857,38	765,60	82,38	-9,40
36	773,00	14000	856,41	766,21	83,41	-6,79
37	772,00	14400	855,70	762,60	83,70	-9,40
38	782,00	14800	878,47	772,61	96,47	-9,39
39	771,00	15200	876,94	761,60	105,94	-9,40
40	777,20	15600	866,24	767,80	89,04	-9,40
41	800,80	16000	807,68	807,68	6,88	6,88

Tabela 3 – Linha de recalque: resultados do cálculo - solução recomendada (com dispositivos de proteção).



Ponto	Cota do terreno (m)	Posição (m)	Carga máxima (m)	Carga mínima (m)	Pressão máxima (m)	Pressão mínima (m)
1	683,70	0	891,80	735,81	163,10	52,11
2	726,00	400	889,23	738,61	163,23	12,61
3	737,00	800	887,14	742,66	150,14	5,66
4	729,20	1200	885,05	741,74	155,85	12,54
5	728,80	1600	882,96	742,38	154,16	13,58
6	745,00	2000	880,87	750,32	135,87	5,32
7	728,00	2400	878,78	749,48	150,78	21,48
8	716,30	2800	876,69	748,54	160,39	32,24
9	707,20	3200	874,59	747,60	167,39	40,40
10	736,00	3600	872,50	752,63	136,50	16,63
11	763,00	4000	870,41	763,05	107,41	0,05
12	729,20	4400	868,32	762,08	139,12	32,88
13	723,60	4800	866,23	761,62	142,63	38,02
14	727,20	5200	864,14	760,57	136,94	33,37
15	725,40	5600	862,05	762,01	136,65	36,61
16	722,50	6000	859,96	761,59	137,46	39,09
17	731,00	6400	857,87	761,29	126,87	30,29
18	751,20	6800	855,77	760,47	104,57	9,27
19	761,00	7200	853,68	766,24	92,68	5,24
20	745,40	7600	851,59	765,20	106,19	19,80
21	740,20	8000	849,50	764,03	109,30	23,83
22	749,00	8400	847,41	762,87	98,41	13,87
23	757,00	8800	845,32	761,72	88,32	4,72
24	748,00	9200	843,23	760,56	95,23	12,56
25	766,00	9600	841,14	771,29	75,14	5,29
26	748,50	10000	839,05	770,06	90,55	21,56
27	752,60	10400	836,95	768,83	84,35	16,23
28	764,20	10800	834,86	767,60	70,66	3,40
29	772,20	11200	832,77	777,93	60,57	5,73
30	788,00	11600	830,68	785,25	42,68	-2,75
31	783,00	12000	828,59	784,94	45,59	1,94
32	765,00	12400	826,50	784,70	61,50	19,70
33	762,00	12800	824,41	785,67	62,41	23,67
34	773,00	13200	824,26	785,72	51,26	12,72
35	775,00	13600	820,23	784,57	45,23	9,57
36	773,00	14000	820,31	783,19	47,31	10,19
37	772,00	14400	819,48	782,00	47,48	10,00
38	782,00	14800	820,00	787,57	38,00	5,57
39	771,00	15200	816,23	785,89	45,23	14,89
40	777,20	15600	816,18	784,21	38,98	7,01
41	800,80	16000	807,68	807,68	6,88	6,88