

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

MODELAGEM PARA DIMENSIONAMENTO DE TANQUE DE
ESCORVA PARA INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO
UTILIZANDO A LEI DE BOYLE

Marcos de Oliveira Bettini
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Agosto de 2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

MODELAGEM PARA DIMENSIONAMENTO DE TANQUE DE
ESCORVA PARA INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO
UTILIZANDO A LEI DE BOYLE

Marcos de Oliveira Bettini

Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Agosto de 2007

B565m Bettini, Marcos de Oliveira

Modelagem para dimensionamento de tanque de escorva para instalações de bombeamento utilizando a Lei de Boyle/ Marcos de Oliveira Bettini. – Jaboticabal, 2007

Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal 2007.

Orientador: José Renato Zanini

Banca examinadora: Luis Carlos Pavani, Tarlei Arriel Botrel

Bibliografia

1.Bombas hidráulicas. 2. Válvula-de-pé; 3. Lei de Boyle; 6. Tanque de escorva. I. Título. II. Jaboticabal -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.67

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCOS DE OLIVEIRA BETTINI

Filiação: Rogério de Oliveira Bettini e Maria das Dores de Oliveira Bettini

Nascimento: 03 de maio de 1970, São Paulo - SP.

Técnico Agrícola - ETAESG - Benedito Storani - Jundiaí/SP 1987;

Eng. Agrônomo - ESALQ - USP - Piracicaba/SP 1993;

MBA em Marketing - FGV - Uberlândia/MG 2001;

Mestrando em Agronomia FCAV - UNESP Jaboticabal/SP - 2007;

Administrador agrícola Sítio Santa Filomena 1989 - 1993

Pesquisador agrícola - Cica Unilever 1994 - 1996 - Petrolina - PE .

Coordenador regional Netafim Petrolina 1996 - 1998

Coordenador regional Netafim Uberlândia 1998 - 2000

Gerência de marketing e vendas - Netafim cerrado 2000 - 2002

Gerência de Pós-venda - Netafim Brasil 2002 - 2005

Diretor proprietário A\$ GOT A\$ - Assistência em Gotejamento Associados 2005 - 2007

Coordenador GPG - Grupo de Profissionais de Gotejamento 2006 - 2007

Product manager - Acadian Agritech Brasil - 2007

*Às vezes parecia que de tanto acreditar
Em tudo que achávamos tão certo
Teríamos o mundo inteiro e até um pouco mais
Fariamos florestas nos desertos
E diamantes de pedaços de vidro*

*Às vezes parecia que era só improvisar
E o mundo então seria um livro aberto
Até chegar o dia em que tentamos ter demais
Vendendo fácil o que não tinha preço...*

Renato Russo

“A vida é um combate, sucesso é dor”

Rogério Caldas

DEDICATÓRIA

Este trabalho é fruto de uma necessidade interior em manter-me estudando, aprendendo, experimentando novos conhecimentos e sempre que possível gerando e difundindo ciência aplicada.

Dedico esta dissertação de mestrado à minha mãe Maria das Dores e avó Maria Amélia (in memoriam), figuras marcantes que muito me incentivaram nesta busca.

Dedico à mãe dos meus filhos Taciana e, especialmente, a meus filhos Arthur e Gabriel na expectativa que este exemplo lhes traga estímulo e valor a seus estudos.

Com humildade ofereço ao mercado e aos profissionais de irrigação, acreditando que o conhecimento aqui apresentado, possa contribuir de forma simples e eficaz no aprimoramento e confiabilidade de nossos projetos.

AGRADECIMENTOS

A meu pai, irmãos e todos familiares que sempre estiveram ao meu lado.

Ao Prof. Dr. José Renato Zanini, pela oportunidade, ensino, orientação, confiança e dedicação na realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Luiz Carlos Pavani, pelas ótimas aulas, pelo apoio na fundamentação hidráulica, livros emprestados e boas horas de conversa.

Aos professores Dr. Gener Tadeu Pereira pelo auxílio na metodologia estatística e Dr. Jairo Campos de Araújo pela disposição em contribuir com a qualificação do trabalho.

Aos professores, colegas e funcionários da FCAV-UNESP Jaboticabal, pelo ensino, acolhimento, carinho e companheirismo.

À Eng. Agr. Letícia Foratto, pela amizade e participação ativa nos trabalhos da fase experimental e na redação da dissertação.

À empresa NETAFIM por autorizar meus estudos, em paralelo com as atribuições funcionais. Especialmente ao grande companheiro de trabalho e amigo Rephael Sulkoviak, pela ajuda técnica sobre o equipamento e pelo incentivo à continuidade dos estudos.

Às empresas Iavant e Irmãos Gallo pelo fornecimento dos equipamentos e ao colega Daniel Iavant, pela atenção, gentileza e horas de explicações técnicas.

Ao colega Eng. Agr. Marco Antonio Lemos Franco pelo incentivo e pelas boas idéias ao projeto.

Aos clientes e colegas de minha empresa - A\$ GOTA\$ - Assistência em Gotejamento Associados e do GPG - Grupo de Profissionais de Gotejamento, por acreditarem em minha iniciativa, comprarem minhas idéias e trabalharmos em grupo.

À empresa Acadian, por apoiar e permitir a conclusão de meus estudos.

Aos amigos em geral.

E sempre a DEUS, como força superior que dá confiança a superar obstáculos e realizar sonhos.

Estudar e trabalhar com ENGENHARIA AGRONÔMICA - IRRIGAÇÃO.

Atuar com excelentes profissionais e amigos.

Ter paixão em desenvolver-se e desenvolver pessoas.

Praticar ciência e titular-me mestre em Agronomia.

Buscar e transferir benefícios ao nosso maravilhoso BRASIL

Obrigado a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
 I INTRODUÇÃO	 1
 II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 4
 III MATERIAL E MÉTODOS	 9
3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO TANQUE DE ESCORVA.....	9
3.2 DESCRIÇÃO DO TANQUE DE ESCORVA MODELO 1.....	14
3.3 DESCRIÇÃO DO TANQUE DE ESCORVA MODELO 2.....	14
3.4 AVALIAÇÕES HIDRÁULICAS.....	16
 IV RESULTADOS E DISCUÇÃO	 26
4.1 CALIBRAÇÃO DO DIAFRAGMA	26
4.2 VALORES OBTIDOS PARA CÁLCULO DA REALAÇÃO ($V_u + V_l$) / ($V_t + V_l$) ...	26
 V CONCLUSÕES	 49
 VI REFERÊNCIAS	 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores mínimos da relação $(V_l+V_u)/(V_t+V_l)$, em função de H_s , para que ocorra o escorvamento da bomba.....	13
Tabela 2	Planilha de anotações durante os testes hidráulicos e cálculos para avaliação dos tanques de escorva.....	25
Tabela 3	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.....	27
Tabela 4	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.....	28
Tabela 5	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.....	29
Tabela 6	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 4 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.....	30
Tabela 7	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 4,85 m, para o tanque modelo 1.....	31
Tabela 8	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 4,85 m, para o tanque modelo 1.....	32
Tabela 9	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 4,85 m, para o tanque modelo 1.....	33

Tabela 10	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.....	34
Tabela 11	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.....	35
Tabela 12	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.....	36
Tabela 13	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 4 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.....	36
Tabela 14	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 6,00 m, para o tanque modelo 2.....	37
Tabela 15	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 6,00 m, para o tanque modelo 2.....	38
Tabela 16	Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 6,00 m, para o tanque modelo 2.....	39
Tabela 17	Médias calculadas das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidas para o tanque 1, avaliado com diferentes valores de hgs, Hs e de LH.....	40
Tabela 18	Médias calculadas das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidas para o tanque 2, avaliado com diferentes valores de hgs, Hs e de LH.....	40
Tabela 19	Análise estatística referente aos dados experimentais e aos calculados pela equação de Boyle para o tanque 1.....	43

Tabela 20	Análise estatística referente aos dados experimentais e aos calculados pela equação de Boyle para o tanque 2.....	44
Tabela 21	Diferenças percentuais entre os valores médios das relações $(V_u + V_l) / (V_t + V_l)$ obtidas experimentalmente e pela Lei de Boyle.....	45
Tabela 22	Valores mínimos e com 30% de acréscimo da relação $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$, em função de H_s	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	Esquema de instalação de uma bomba não-afogada, contendo válvula-de-pé.....	5
Figura 2.....	Esquema de uma instalação de bombeamento utilizando balão de escorva de forma cilíndrica. (Adptado de VILLA NOVA et al., 1997).....	7
Figura 3.....	Representação gráfica da Lei de Boyle.....	10
Figura 4.....	Esquema de uma instalação de bombeamento com tanque de escorva. V_t – volume da tubulação de sucção; h_{gs} – altura geométrica de sucção; H_0 – altura de coluna de água equivalente à pressão atmosférica local; e, N_A – nível da água na captação.....	11
Figura 5.....	Tanque de escorva – modelo 1.....	15
Figura 6.....	Esquema do tanque de escorva – modelo 1.....	15
Figura 7.....	Tanque de escorva – modelo 2.....	16
Figura 8.....	Esquema do tanque de escorva modelo 2.....	16
Figura 9.....	Esquema da montagem experimental para avaliação do escorvamento utilizando tanques de escorva.....	17
Figura 10.....	Foto da montagem do tanque e posicionamento do piezômetro.....	18
Figura 11.....	Curvas características da bomba KSB BLOC 32-125.....	20
Figura 12.....	Vista geral do reservatório de captação a dois metros de altura geométrica de sucção (h_{gs}).....	21
Figura 13.....	Vista geral do medidor diafragma, com tomadas de pressão ligadas ao manômetro de mercúrio.....	21
Figura 14.....	Vista em detalhe do medidor difragma utilizado para medição da vazão.....	22
Figura 15.....	Curva de regressão vazão $\times$ diferença de pressão, para o medidor diafragma avaliado em laboratório.....	26
Figura 16.....	Curvas e equações de regressão dos valores médios das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ em função de H_s , obtidas pela equação de Boyle e nos testes hidráulicos, para o tanque 1.....	42
Figura 17.....	Curvas e equações de regressão dos valores médios das relações $(V_u+V_l) / V_t+V_l$ em função de H_s , obtidas pela equação de Boyle e nos testes hidráulicos, para o tanque 2.....	42
Figura 18.....	Relações $(V_l+V_u) / (V_t+V_l)$ e $(V_l+V_u) / (V_t+V_l) + 30\%$, em função da altura manométrica de sucção (H_s).....	47

MODELAGEM PARA DIMENSIONAMENTO DE TANQUE DE ESCORVA PARA INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO UTILIZANDO A LEI DE BOYLE

RESUMO: A maioria das instalações de abastecimento de água utiliza bombas hidráulicas do tipo turbobombas. Esse tipo de bomba requer que o interior de sua carcaça e o da tubulação de sucção estejam preenchidos com água (escorvados), para que a sucção da água a partir do reservatório de captação possa ser efetivada. O escorvamento das bombas é conseguido instalando-as abaixo do nível de água do reservatório de captação (bomba afogada). Nos casos de instalações com bombas acima do nível do reservatório, há necessidade do uso de válvulas-de-pé, que têm partes móveis suscetíveis ao mau funcionamento por desgastes, quebras, sujeira ou outros problemas, que limitam a confiabilidade desse sistema, principalmente em caso de automação. Como alternativa ao uso da válvula-de-pé, foram estudados dois modelos de tanques escorva, testados no Laboratório de Hidráulica da FCAV - UNESP - Jaboticabal - SP. Avaliaram-se diferentes situações de altura manométrica de sucção, comprimento e diâmetro de tubulação de sucção e relações entre volume útil do tanque e volume do tubo de sucção, tendo-se concluído que: a) o volume do tanque de escorva é função do volume da tubulação de sucção e da altura manométrica de sucção; b) o volume do tanque de escorva pode ser calculado seguindo-se a Lei de Boyle, com uma percentagem de acréscimo no volume útil, que neste estudo foi cerca de 10% para o modelo 1 e cerca de 30% para o modelo 2.

PALAVRAS-CHAVE: bombas hidráulicas, bomba não-afogada, escorvamento

MODELING USING BOYLE'S LAW TO DIMENSION PRIMING TANK FOR PUMP STATION INSTALLATIONS

ABSTRACT: The most of water supply installations uses hydraulic pumps type turbine pumps. This kind of pump must to have its casing body and suction pipe filled with water (primed) to be started. The priming can be done installing the pump underneath the suction reservoir water level. In the installations cases that the pump is above of water it is necessary to use foot valves to keep the pump primed. Foot valves have mobile parts, can be damaged or broke by use, dirty and others, that limits the reliability specially for automatic start-up of the system. As an alternative solution the current work in São Paulo State University Hidraulic Laboratory – Jaboticabal – Brazil, were evaluated two priming-tank models tested in different suction manometric heights, suction pipe diameters and relations between net tank volume and suction pipe volume. The conclusions show that: a) the priming tank volume is a function of the suction pipe volume and suction manometric height; b) the prime tank volume is calculated using Boyle equation with a percentage safety margin added in the net tank volume, that in this work was nearly to 10% for the model 1 and 30% for the model 2.

KEYWORDS: hidraulic pumps, not submerged pump, priming.

I. INTRODUÇÃO

Em muitas situações de abastecimento de água é necessário o seu bombeamento, para elevação ou recalque. Este assunto – instalações de bombeamento – torna-se cada dia mais importante, seja no meio industrial, urbano ou rural.

A agricultura brasileira tem experimentado um crescimento relevante nas áreas irrigadas e os projetos de irrigação apresentam melhorias no nível tecnológico com o uso de equipamentos mais sofisticados. Diante desta nova perspectiva, é importante o estudo de alternativas e soluções simples que ofereçam alta confiabilidade, redução de custos de energia e manutenção.

Segundo MACINTYRE (1997), as bombas hidráulicas podem ser definidas como máquinas hidráulicas geratrizes, que transferem energia ao fluido, a fim de promover o seu deslocamento. Elas podem ser subdivididas em dois grandes grupos: *bombas volumógenas e turbobombas*. Essas últimas, quando colocadas para funcionar, por meio da ação centrífuga de seus rotores expellem o fluido para a saída da carcaça, gerando uma situação de redução de pressão em seu interior. Assim, é preciso que a tubulação de sucção e a carcaça da bomba estejam preenchidas com água (escorvadas) para que o fluxo se estabeleça, pela ação da pressão atmosférica. Esse mesmo autor comenta que os defeitos mais comuns verificados nas turbobombas se relacionam com a sucção, por isso, essa parte da instalação deve receber especial atenção.

CARVALHO (1992) comenta que dos diversos modelos existentes de bombas, destacam-se as hidrodinâmicas de fluxo radial, também conhecidas como bombas centrífugas, pois são utilizadas nas situações mais comuns, como, por exemplo, abastecimento e irrigação. Segundo VILELA et al. (2003), esse tipo de bomba pode ser instalado tanto abaixo do nível de água do reservatório de sucção (sucção negativa) como acima do mesmo (sucção positiva). Quando a bomba é instalada abaixo do nível

do reservatório, a tubulação de sucção permanece constantemente preenchida com o líquido, o que constitui uma vantagem. Por outro lado, o excesso de umidade, a maior dificuldade para instalação e manutenção, e o risco de entupimento são os maiores inconvenientes. Assim, na maioria dos sistemas de recalque, opta-se por instalar o conjunto de bombeamento acima do nível da água do reservatório de sucção. Entretanto, quando a instalação é realizada dessa maneira, a maioria dos modelos de turbobombas requer tanto a escorva da carcaça como da tubulação de sucção, ou seja, essas partes devem ser totalmente preenchidas com o líquido a bombear.

Para manter a escorva da tubulação de sucção, é muito comum o uso de válvulas-de-pé. Uma alternativa ao uso das válvulas-de-pé é a instalação de tanques de escorva.

Os tanques de escorva oferecem maior garantia de escorva do que as válvulas-de-pé, quando dimensionados e aplicados corretamente. O equipamento é de fácil construção e instalação, não tem partes móveis, praticamente não sofre desgastes, tem baixo custo de aquisição, além de gerar redução de energia pela ausência da perda de carga da válvula-de-pé. Dentre as limitações que oferecem, devem ser mencionadas: possuem maior peso e tamanho que as válvulas-de-pé, requerendo maior área e estrutura para sua instalação; existem poucos fabricantes comerciais, conhecimento e informação técnica sobre seu uso.

É importante salientar que a utilização do tanque de escorva só é necessária quando a bomba estiver acima do nível de água da captação e não for do tipo auto-escorvante.

Na prática os tanques de escorva vem sendo muito utilizados em sistemas de irrigação em geral e também em sistemas de bombeamento de vinhaça no cultivo de cana-de-açúcar. O dimensionamento prático dos mesmos propõe a construção de tanques com duas a três vezes o volume do tubo de sucção. Porém, essa recomendação

muitas vezes tem apresentado falha de funcionamento dos tanques. Por essa razão, este estudo teve por objetivo realizar testes hidráulicos em laboratório, visando estudar a aplicação da Lei de Boyle, para dimensionamento de tanques de escorva aplicáveis em instalações de bombeamento, analisando dois modelos de tanques.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

VILELA et al. (2003) relatam a necessidade de escorvamento ou escorva de turbobombas, que pode ser explicada pela equação da conservação de energia (Teorema de Bernoulli – eq. 1) aplicada entre o nível da água no reservatório de captação e a entrada da bomba, da seguinte forma:

$$P_1 = P_0 - \gamma (h_{gs} + h_{fs}) \quad (1)$$

em que,

P_1 – pressão na entrada da bomba;

P_0 – pressão atmosférica local;

γ – peso específico do fluido;

h_{gs} – altura de instalação ou altura geometria de sucção, e

h_{fs} – perda de carga na tubulação de sucção.

Se a bomba não está escorvada, o fluido operado é o ar, cujo peso específico é muito pequeno ($9,81 \text{ N m}^{-3}$), comparado ao peso específico da água (9.810 N m^{-3}). Assim, a pressão à entrada da bomba é praticamente a mesma apresentada pela atmosfera local. Logo, a diferença de pressão $(P_0 - P_1)/\gamma$ responsável pelo vencimento da diferença de nível e da perda de carga na sucção fica pequena, a ponto de ser incapaz de fazer a água chegar até a bomba.

A escorva da instalação refere-se ao preenchimento do interior da bomba e da tubulação de sucção, com o líquido a ser bombeado, podendo haver duas situações, dependendo do tipo de instalação:

a) Bombas afogadas

A bomba encontra-se em posição inferior ao nível da água do reservatório de sucção e, portanto o escorvamento ocorre naturalmente;

b) Bombas não-afogadas

Estando a bomba acima do nível da água do reservatório de sucção, é necessário realizar-se o escorvamento da mesma, antes de dar partida no motor. Na maioria das vezes, para possibilitar o escorvamento, na tubulação de sucção existe a válvula-de-pé, conforme esquema apresentado a seguir:

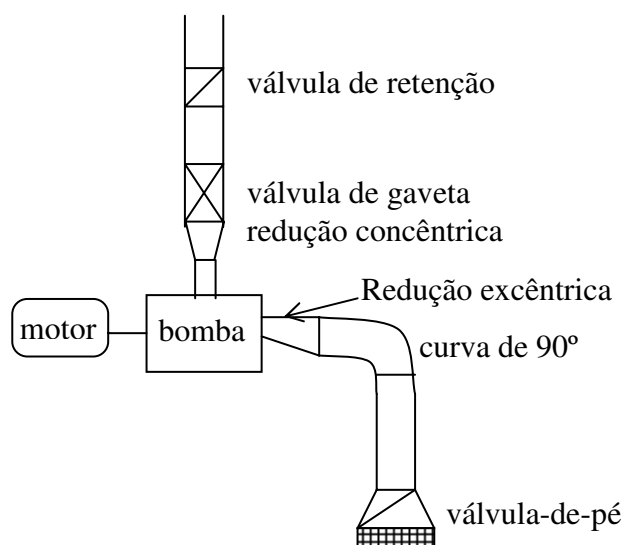


FIGURA 1. Esquema de instalação de uma bomba não-afogada, contendo válvula-de-pé.

Conforme AZEVEDO NETTO et al. (1998), antes de pôr em funcionamento muitas bombas requerem a realização do escorvamento, que significa encher a canalização de sucção com o líquido a ser bombeado. Além disso, as peças dentro da bomba dependem da lubrificação que lhes é fornecida pelo líquido a deslocar; gripam-se caso a bomba funcione a seco. As formas e equipamentos mais comuns para efetivar o processo de escorva são: bomba submersa, injetor, bomba de vácuo, válvula-de-pé e escorva automática.

Segundo MACINTYRE (1997), as turbobombas não são auto-aspirantes ou auto-escorvantes, isto é, não são capazes de expulsar o ar, criando o vácuo capaz de permitir

a entrada do líquido, no início do funcionamento. Quando postas a funcionar, já devem estar cheias de líquido, e por conseguinte, também a tubulação de sucção. As situações comuns em relação ao escorvamento de bombas são:

a) bomba afogada: a escorva ocorre automaticamente, pois a bomba está abaixo do nível da água;

b) válvula-de-pé: se ela estiver funcionando bem e não surgir nenhum corpo estranho, é capaz de manter a bomba e a tubulação de sucção preenchidos de líquido entre dois períodos de funcionamento;

Apesar da aplicação de válvula-de-pé em muitas instalações, ela aumenta acentuadamente a perda de carga na sucção, possui custo considerável, necessita de limpeza freqüente e representa riscos em instalações com automação da partida. Mesmo com válvulas-de-pé de boa estanqueidade e qualidade, elas não permitem total garantia contra falhas devido a desgastes ou mau-funcionamento, oriundo de partículas contidas na água.

c) Tanque de escorva: reservatório fechado, acoplado à entrada de aspiração da bomba, que permite a esta retirar água do reservatório para o seu funcionamento inicial, criando vácuo, de modo que a água do poço de abastecimento sobe pelo tubo de sucção, repondo o que foi retirado e dando continuidade ao processo.

Segundo VILLA NOVA et al. (1997), em instalações de recalque é freqüente o uso da tradicional válvula-de-pé, que geralmente apresenta problemas de vazamento, exigindo limpeza freqüente; caso não se instale a válvula-de-pé, são necessários injetores para a escorva do cano de aspiração. Como alternativa à válvula-de-pé ou aos injetores, esses autores propuseram a utilização de um “balão de escorva”, que atende também a situações de variação de nível estático de aspiração, muito freqüentes em problemas de recalque de água. Considerando-se o balão de forma cilíndrica, colocado

em posição vertical (Figura 2), esses autores apresentaram uma equação (eq. 2) para o dimensionamento do diâmetro do balão, em função dos parâmetros da aspiração, apresentada a seguir:

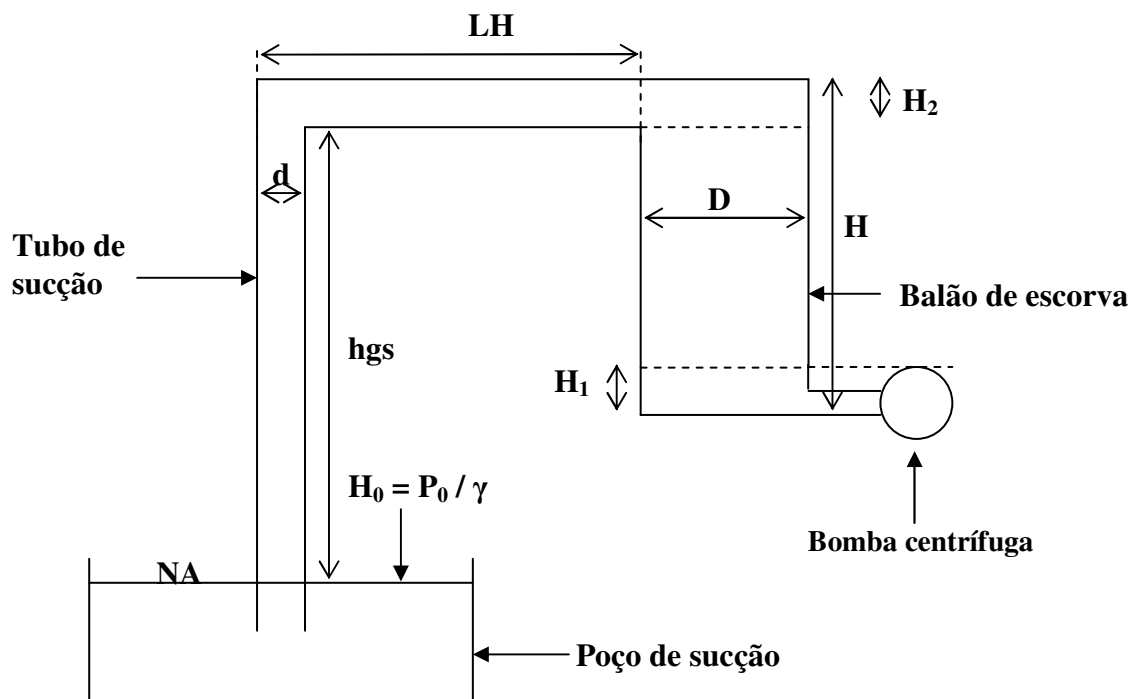


FIGURA 2. Esquema de uma instalação de bombeamento utilizando balão de escorva de forma cilíndrica. (Adptado de VILLA NOVA et al., 1997).

$$D = d \sqrt{\frac{LH + hgs}{\frac{(H - H_1) [H_0 - hgs - (LH + hgs) J]}{H_0} - H_2}} \quad (2)$$

em que,

D – diâmetro do balão, m;

d – diâmetro da tubulação de sucção, m;

LH – distância horizontal do balão até a aspiração, m;

hgs – distância vertical do nível da água na aspiração até a superfície livre da água no balão, m;

H – altura do balão, m;

H_0 – altura de coluna d’água (m) correspondente à pressão atmosférica local, P_0 , $N\ m^{-2}$

H_1 – altura do nível mínimo de água no balão, m;

H_2 – altura do volume livre no balão, m.

J – perda de carga unitária na tubulação de sucção, $m\ m^{-1}$;

Como pode ser verificado pela equação apresentada por esses autores (eq. 2), o cálculo do diâmetro do balão depende de muitos parâmetros da aspiração e principalmente da altura do balão, para o qual deve-se assumir um valor. Segundo os autores, o tempo de equilíbrio (tempo para atingir o nível dinâmico de trabalho H_1 dentro do balão) pode ser calculado dividindo-se o volume a ser aspirado pela bomba até o início do equilíbrio pela vazão da bomba. Entretanto, em relação a essa afirmação, deve-se fazer as seguintes considerações: a) em muitas instalações de bombeamento, a partida do conjunto motobomba é realizada com vazão inicial igual a zero e em seguida, abre-se manualmente a válvula de gaveta da tubulação de recalque, até atingir a vazão máxima; em locais com automação da partida, a válvula de abertura manual pode ser substituída por válvula de abertura automática. Esse procedimento é vantajoso, pois com vazão inicial zero a potência exigida do motor durante a partida é mínima, evitando sobrecarga e muitas vezes o desligamento automático da chave de partida da instalação elétrica. Sendo assim, a vazão durante o escorvamento da tubulação é crescente, não podendo ser considerada como vazão média a vazão da bomba no regime de trabalho; b) partindo-se o conjunto motobomba com a válvula da tubulação de recalque totalmente aberta, a vazão aumenta instantaneamente de zero para um valor máximo durante o escorvamento, caracterizando um transiente hidráulico. Também nesse caso, não se pode considerar como vazão média a vazão do regime de trabalho.

Segundo PALMIERI (1985), os reservatórios hidropneumáticos podem ser interpretados como acumuladores hidráulicos, que possuem como principal função acumular uma energia potencial (sob a forma de líquido sob pressão), para restituí-la no momento requerido e com rapidez desejada. Em relação aos tipos de acumuladores, no acumulador do tipo nível livre não existe separação entre o fluido e o gás. Que consiste basicamente de um cilindro com duas tomadas distintas, uma para o fluido e outra para o gás. É denominada de “superfície livre”, a superfície de separação entre o fluido e o gás. Quanto mais fluido é introduzido no acumulador, mais comprimido ficará o gás, aumentando a energia acumulada. O gás geralmente utilizado nos acumuladores é o nitrogênio, por se tratar de um gás inerte. Dentre os diversos tipos de aplicações que se pode ter com um acumulador é como escorvador de bombas de baixo poder de sucção.

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Princípio de funcionamento do tanque de escorva

Pela lei geral dos gases perfeitos, $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$, em que: P_1 – pressão do gás no estado inicial; V_1 – volume do gás no estado inicial; P_2 – pressão do gás no estado final; V_2 - volume do gás no estado final; T_1 – temperatura do gás no estado inicial; T_2 – temperatura do gás no estado final. Sendo a temperatura constante, $T_1 = T_2$ (transformação isotérmica), verifica-se que a pressão e o volume são inversamente proporcionais, e a expressão se reduz a:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad (3)$$

Segundo RAMALHO JÚNIOR et al. (1996), a expressão $P_1 V_1 = P_2 V_2$ é chamada Lei de Boyle, em homenagem ao físico e químico Irlandês que a descobriu no século

dezessete, representada graficamente por uma hipérbole equilátera, conforme a Figura 3.

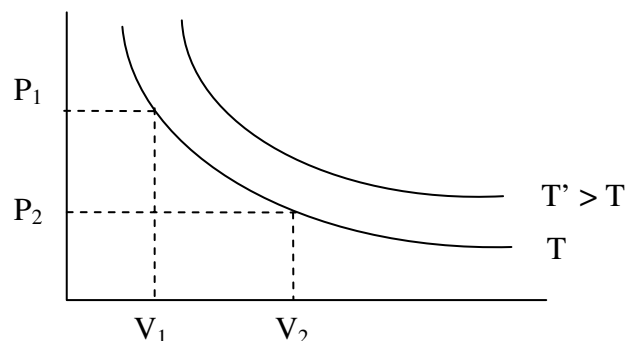


FIGURA 3. Representação gráfica da Lei de Boyle.

Conforme SISSOM & PITTS (1988), todos os gases tendem a possuir o comportamento de um gás perfeito, para pressões de até 1 atmosfera. A equação de gás perfeito conduz a bons resultados quando a densidade do gás for da ordem de um milésimo da densidade do líquido correspondente. Desse modo, em se tratando de um sistema envolvendo água e ar ou vapor d' água, conforme ocorre em instalações de bombeamento de água, sendo as massas específicas de aproximadamente 998; 1,22 e de $0,8 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, presume-se que se pode aplicar a Lei de Boyle para a situação de escorvamento de bombas.

Segundo PALMIERI (1985), a Lei de Boyle pode ser expressa pela seguinte equação: $P_1 (V_1)^n = P_2 (V_2)^n$. Ocorrendo condição isotérmica, em que a variação de pressão é feita vagarosamente de forma a permitir tempo suficiente para a dissipação de calor, o valor de n será igual a 1 quando o gás utilizado for o nitrogênio. Quando, porém, ocorre a condição adiabática (sem troca de calor com o meio externo), em que a compressão e a expansão é feita rapidamente de forma a não permitir tempo suficiente para a dissipação de calor, o valor de n será 1,4 quando o gás utilizado for o nitrogênio.

A condição adiabática ocorre quando a compressão ou a expansão do gás se der em menos de um minuto.

Conforme esquematizado na Figura 4, para a utilização do reservatório, inicialmente o mesmo deve estar preenchido com o fluido a ser bombeado, definindo uma superfície livre. Ao se dar a partida no conjunto motobomba, a água aspirada diminui o nível no reservatório, definindo um nível mínimo que não deve ser inferior ao da parte superior da caracaça da bomba; a diferença de volume entre o nível máximo e o nível mínimo define o volume útil (V_u). Abaixo do nível mínimo define-se um “volume morto”.

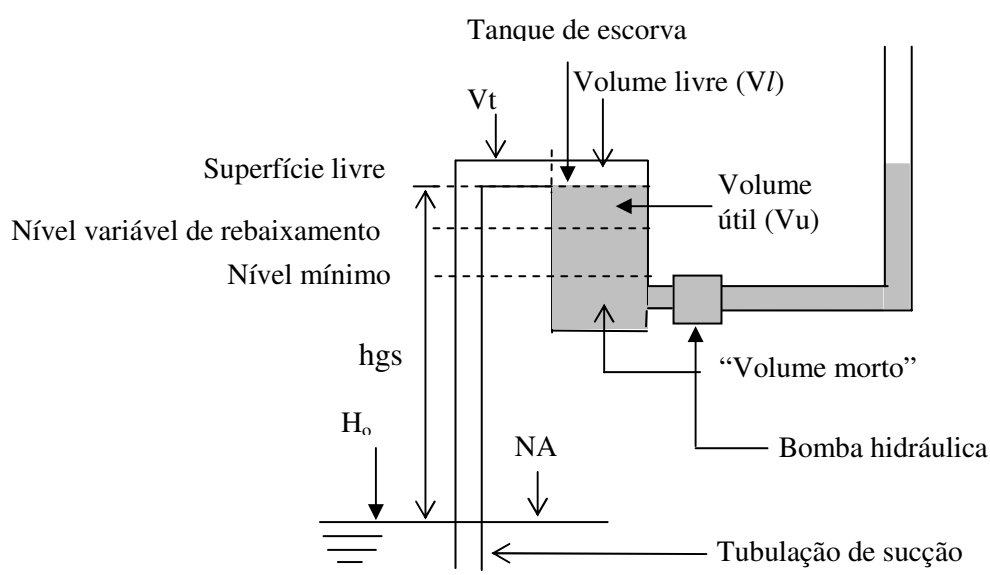


FIGURA 4. Esquema de uma instalação de bombeamento com tanque de escorva. V_t – volume da tubulação de sucção; h_{gs} – altura geométrica de sucção; H_0 – altura de coluna de água equivalente à pressão atmosférica local; e, NA – nível da água na captação.

Então, primeiro deve-se fazer-se a escorva do conjunto preenchendo-se com água a bomba e o tanque de escorva até o nível da superfície livre no tanque. Fazendo-se a partida do conjunto motobomba ocorre a aspiração da água do tanque até o nível de

rebaixamento, que é variável em função dos volumes do tanques e do tubo de sucção. Nesse momento, para que se tenha continuidade na aspiração é necessário que a água que sobe pela tubulação de sucção tenha atingido a superfície livre, reabastecendo o tanque. Se esse rebaixamento for inferior ao nível mínimo ocorre cavitação e falha de funcionamento. Isso ocorre quando o tanque está subdimensionado para um referido tubo de sucção. O volume vazio (ar + vapor d'água) estabelecido no tanque será o volume livre (V_l) mais o volume até o nível de rebaixamento da água no tanque.

Lei de Boyle

$$P_1 V_1 = P_2 V_2; (T_1 = T_2) \text{ ou } (P_1/\gamma) V_1 = (P_2/\gamma) V_2; (T_1 = T_2) \quad (4)$$

Para as condições estabelecidas na Figura 4, a aplicação da Lei de Boyle ao sistema, fica: $V_1 = V_t + V_l$; $V_2 = V_l + V_u$; $(P_1/\gamma) = (P_0/\gamma) = H_0$

$$H_0(V_t + V_l) = (P_2/\gamma)(V_u + V_l); (T_1 = T_2) \quad (5)$$

Sendo P_1 a pressão atmosférica local, P_2 será a pressão de sucção no interior do tanque de escorva, dependente da altura manométrica de sucção (H_s).

$$\text{Portanto, } (P_2/\gamma) = H_0 - H_s \quad (6)$$

$$H_s = h_{gs} + h_{fs} \quad (7)$$

Em que h_{gs} é a altura geométrica de sucção e h_{fs} é a perda de carga em todo o sistema de sucção (tubulação + tanque de escorva + peças e correções).

Substituindo (6) em (5) e rearranjando os termos:

$$(V_u + V_l) / (V_t + V_l) = H_0 / (H_0 - H_s) \quad (8)$$

As avaliações da instalação de bombeamento com tanques de escorva foram realizadas no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da UNESP – Jaboticabal, utilizando-se dois tanques de escorva:

Na determinação do volume útil do tanque (V_u), considerando o caso estudado tem-se: altitude 614 metros, pressão atmosférica média de 9,65 metros de coluna d'água

(mc.a.), e 25 °C de temperatura média da água (pressão de vapor igual a 0,322 metro de coluna d'água (mc.a.)), logo $H_0 = 9,65$ mc.a. Substituindo na equação (8) tem-se:

$$(V_l + V_u) / (V_t + V_l) = 9,65 / (9,65 - H_s) \quad (9)$$

Pela equação (9), que fornece a relação (volume livre + volume útil do tanque)/(volume da tubulação de sucção + volume livre) em função da altura manométrica de sucção, foi elaborada a Tabela 1.

TABELA 1. Valores mínimos da relação $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$, em função de H_s , para que o escorvamento da bomba seja mantido.

H_s (m c.a.)	$(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$
1	1,11
2	1,26
3	1,45
4	1,71
5	2,07
6	2,64
7	3,64
8	5,84
9	14,84
9,33*	30,15

*valor para o qual ocorre a pressão de vapor da água, impossibilitando a manutenção do escorvamento

Pela equação (9) e valores apresentados na Tabela 1, pode-se verificar que, com o valor de H_s aproximando-se do valor da pressão atmosférica do local de instalação da bomba, a relação $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$ tende a valores muito grandes. Os valores de H_s e os correspondentes valores de $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$, relacionados na Tabela 1, referem-se aos valores teoricamente necessários para o escorvamento. Entretanto, para a garantia da continuidade do bombeamento, a condição $NPSH_{disponível} > NPSH_{exigido}$ deve ser satisfeita para não ocorrer o fenômeno cavitação. Ocorrendo cavitação, o rendimento da bomba será reduzido, tendo-se também desgastes de componentes da mesma e podendo interromper o bombeamento.

Os valores da relação $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$ apresentados na Tabela 1 são os valores mínimos calculados para se obter o escorvamento e manter o bombeamento para valores de vazões correspondentes.

3.2 Descrição do tanque de escorva modelo 1

Este modelo (Figura 5 e 6) possui formato cilíndrico, com a parte superior recurvada, diâmetro de 0,46 m e altura de 0,49 m. A entrada para ligação da tubulação de sucção e a saída para o acoplamento na bomba são com tubos flangeados de 75 mm (3") de diâmetro. O tanque possui em sua parte superior três aberturas de 25 mm (1") de diâmetro, para instalação de vacuômetros e válvula de abastecimento; na parte lateral do tanque existem duas aberturas também de 25 mm (1"): uma para instalação de sensor de nível mínimo, e outra para drenagem e limpeza do tanque. Como pode ser observado na Figura 8, no interior do tanque os tubos de entrada e saída do mesmo possuem curvas de 90°, de modo a reduzir o volume livre e o "volume morto" do tanque.

3.3 Descrição do tanque de escorva modelo 2

O tanque modelo 2 (Figuras 7 e 8) possui formato cilíndrico, com as partes superior e inferior planas, diâmetro de 0,29 m e altura de 0,80 m. A entrada para ligação da tubulação de sucção e a saída para o acoplamento na bomba possuem curvas com roscas internas de 63 mm (2,5") de diâmetro. Acoplado à curva para ligação da tubulação de sucção, existe um tubo inserido verticalmente no interior do tanque, que permite manter a superfície livre próxima da superfície superior do tanque. Em sua parte superior, o tanque possui uma abertura de 25 mm (1") de diâmetro, para instalação da válvula de abastecimento.



FIGURA 5. Tanque de escorva – modelo 1.

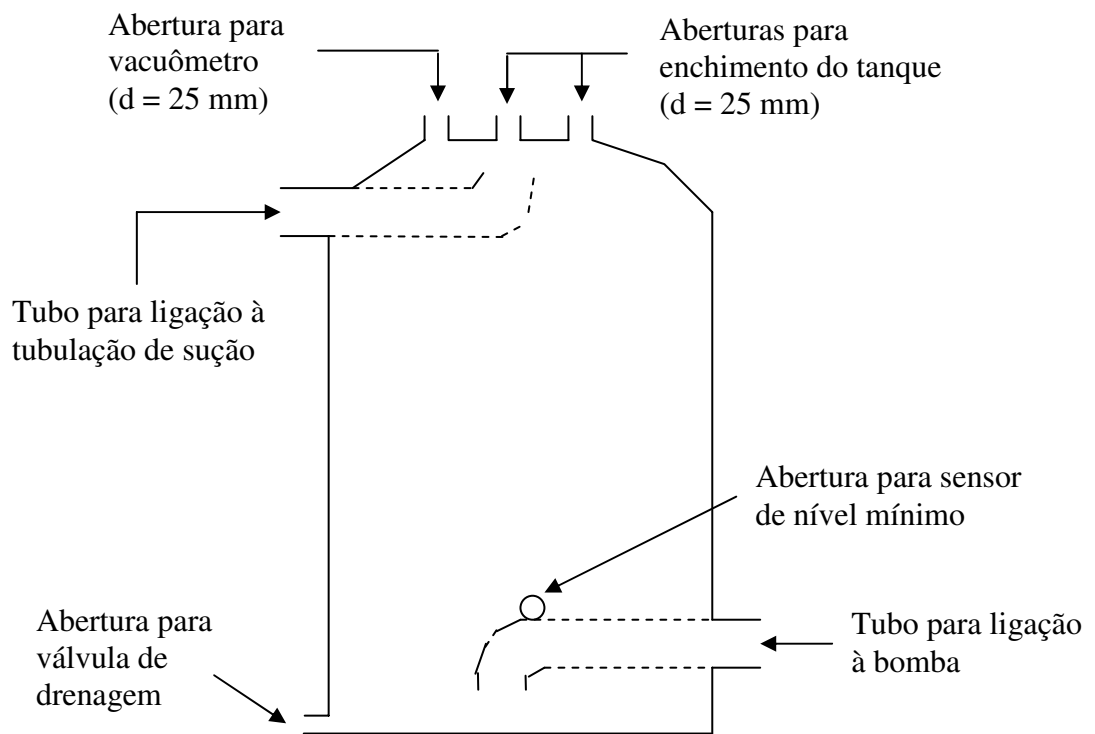


FIGURA 6. Esquema do tanque de escorva – modelo 1.



FIGURA 7. Tanque de escorva – modelo 2.

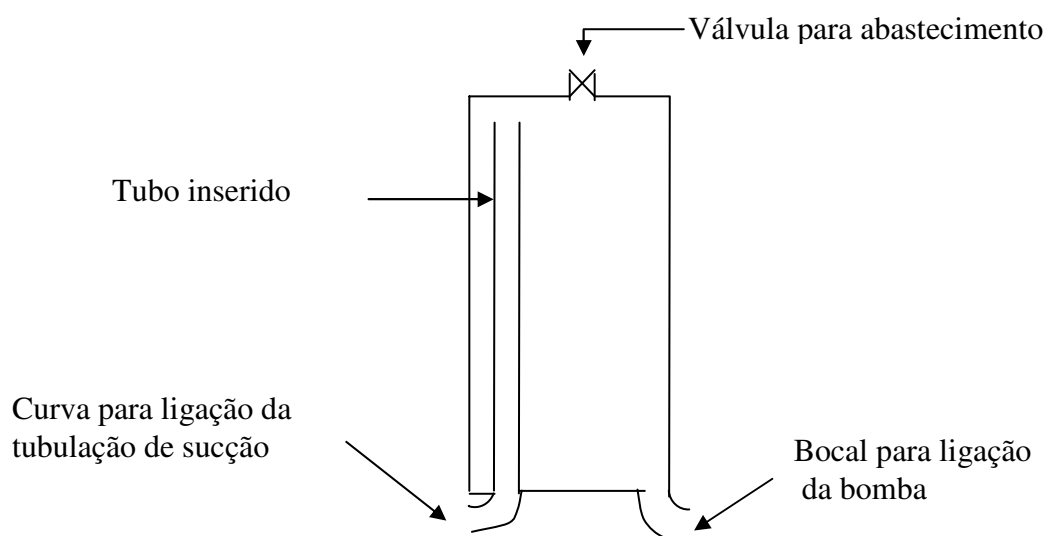
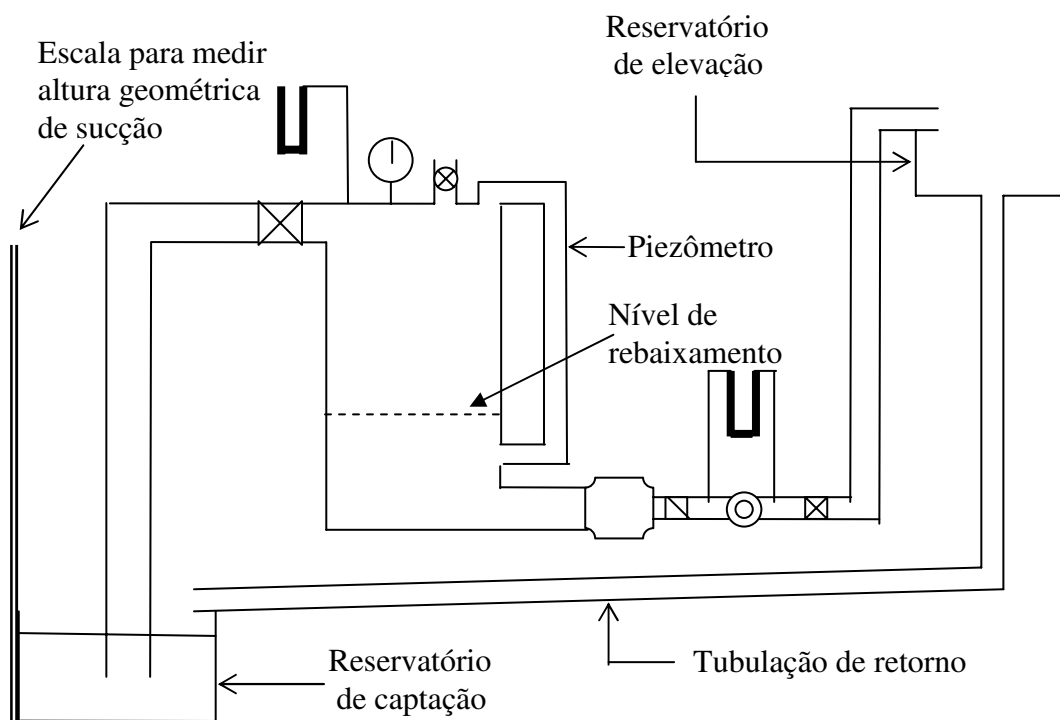


FIGURA 8. Esquema do tanque de escorva modelo 2.

3.4 Avaliações hidráulicas.

As avaliações hidráulicas foram realizadas montando-se uma bancada de testes, com instalação dos reservatórios em um conjunto de bombeamento, conforme esquema apresentado na Figura 9 e na foto apresentada na Figura 10.



Legenda:

-  Manômetro (vacuômetro) de coluna de mercúrio
-  Manômetro (vacuômetro) de Bourdon
-  Válvula para enchimento do reservatório
-  Válvula de retenção
-  Válvula de gaveta
-  Medidor diafragma (placa de orifício) para medição de vazão
-  Motobomba centrífuga

FIGURA 9. Esquema da montagem experimental para avaliação do escorvamento utilizando tanques de escorva.

Conforme esquema apresentado nas Figuras 9 e foto apresentada na Figura 10, foram utilizados os seguintes componentes na bancada de testes:

a) Escala para medir altura de sucção: foi constituída de uma trena com graduação em milímetros, com o valor zero coincidindo com o nível da superfície livre da água no interior do tanque de escorva; com essa escala, mediu-se a altura geométrica de sucção

(hgs), que refere-se à distância vertical entre o zero da trena e o nível da água no reservatório de sucção;



FIGURA 10. Foto da montagem do tanque e posicionamento do piezômetro.

b) Tubulação de sucção: no tanque modelo 1, foi utilizado tubo de PVC, com diâmetro nominal de 75 mm (3") e pressão nominal de 40 mc.a.; para o tanque modelo 2, foi utilizado tubo de PVC, com diâmetro nominal de 50 mm (2") e pressão nominal de 40 mc.a.. O comprimento total da tubulação de sucção foi variável, em função da altura geométrica de sucção. Em relação à distância horizontal do centro do reservatório de captação até a entrada do tanque 1 os testes foram realizados com 2,16 m e 4,85 m; para o tanque 2, os testes foram realizados com 3,18 m e com 6,00 m.

c) Válvula de gaveta: com diâmetro de 50 mm (2"), permitiu aumentar a perda de carga na tubulação de sucção, para estabelecimento dos valores de altura manométrica de sucção (H_s).

d) Vacuômetro de mercúrio: ligado à parte superior do tanque, foi utilizado para calcular a altura manométrica de sucção, em função da altura geométrica e da perda de carga na tubulação;

e) Vacuômetro de Bourdon: foi utilizado para leitura direta da altura manométrica de sucção, facilitando a leitura por ocasião do fechamento da válvula de gaveta até o valor de altura manométrica desejado em cada teste;

f) Piezômetro: foi constituído de um duto transparente de plástico, colocam-se ao lado uma escala graduada em milímetros.

g) Conjunto motobomba: foi utilizada a bomba centrífuga modelo KSB BLOC 32-125, rotor de 139 mm de diâmetro, com motor elétrico de, aproximadamente, 3 kW (4 cv), operando a 3500 rpm no eixo do rotor. As curvas características dessa bomba, conforme catálogo do fabricante (KSB), estão apresentadas na Figura 11;

h) Tubulação de recalque: foi constituída por tubo de PVC de 40 mm (1,5”) de diâmetro, contendo uma válvula de retenção, um medidor de vazão constituído de diafragma e manômetro de mercúrio para medição de vazão (Figuras 12 e 13) e uma válvula de gaveta para controle da vazão; a partir dessa última válvula, o tubo de recalque descarregava a vazão em uma caixa d’água a, aproximadamente, 2 m de altura em relação ao eixo da bomba;

i) Tubulação de retorno: constituída de um duto flexível de polietileno de 50 mm (2”) de diâmetro, permitia o reabastecimento do reservatório de captação, com a recirculação da água;

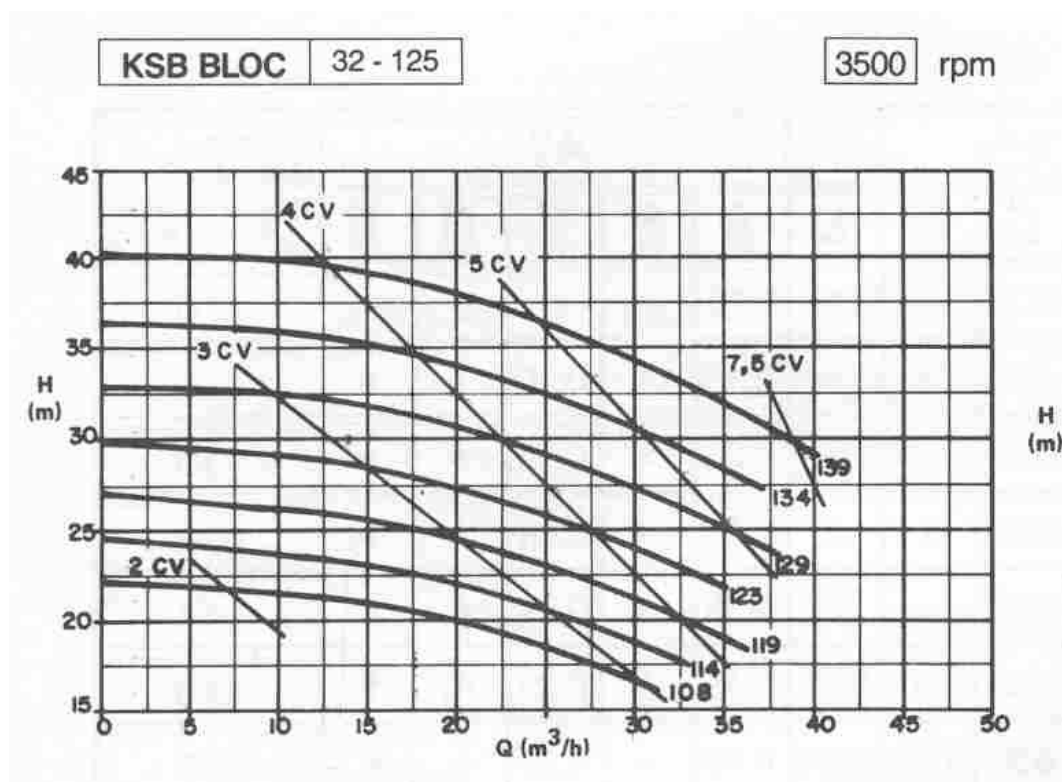


FIGURA 11. Curvas características da bomba KSB BLOC 32-125.

j) Reservatório de captação: foi constituído de um tambor com 1,2 m de diâmetro e altura de 1,5 m. Um piezômetro instalado junto à parede externa do tambor permitia verificar o nível de água no mesmo e auxiliar a medição da altura geométrica de sucção (Figura 12).

k) Medidor diafragma: foi construído utilizando-se uma placa de orifício com 16 mm de diâmetro interno (d), inserida em um tubo de PVC com 32 mm de diâmetro interno (D), definindo uma relação $\frac{d}{D} = 0,50$. A placa foi inserida em uma luva de união de PVC, de diâmetro nominal de 40 mm (1,5") (Figuras 13 e 14) e as tomadas de pressão a montante e à jusante foram instaladas a 2D e a 8D, respectivamente, conforme DELMÉE (1983).



FIGURA 12. Vista geral do reservatório de captação a dois metros de altura geométrica de sucção (hgs).

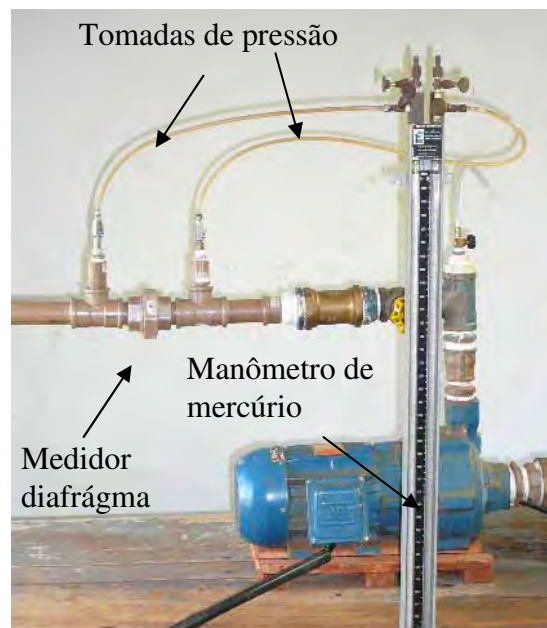


FIGURA 13. Vista geral do medidor diafragma, com tomadas de pressão ligadas ao manômetro de mercúrio.

Para a avaliação dos tanques, utilizando-se a montagem esquematizada na Figura 9, foram testadas quatro alturas geométricas de sucção: 1, 2, 3 e 4 m. Para cada uma dessas alturas geométricas, a partida no conjunto motobomba foi realizada abrindo-se

gradualmente a válvula de gaveta na saída da bomba. Em seguida, abrindo-se a válvula e observando-se o manômetro acoplado ao medidor diafragma, a vazão era regulada para $8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, de acordo com equação de regressão obtida com a curva de calibração do medidor. Tendo-se estabelecido a abertura da válvula de gaveta, o conjunto era desligado e nova partida era realizada com a válvula aberta. Em cada repetição de realização dos testes hidráulicos, a seguinte rotina de procedimento era realizada:



FIGURA 14. Vista em detalhe do medidor difragma utilizado para medição da vazão.

- a) Abrir a válvula de enchimento do tanque e completar o nível do mesmo até a superfície livre;
- b) Ajustar o nível da água no reservatório de captação, para a altura geométrica de sucção em estudo (1, 2, 3 ou 4 m);
- c) Fechar a válvula de enchimento do tanque, ligar o conjunto motobomba e purgar o manômetro do diafragma;

- d) Ajustar a vazão para $8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, atuando na válvula de gaveta no recalque e observando a coluna de mercúrio do manômetro do diafragma;
- e) Reajustar o nível do reservatório de captação;
- f) Aguardar aproximadamente 2 minutos para equilibrar o sistema, fazendo novo ajuste da vazão, se necessário;
- g) Estabelecer a altura manométrica de sucção, atuando na válvula de gaveta da sucção e com leituras do vacuômetro de Bourdon e de coluna de mercúrio. Uma vez que a altura manométrica afeta a vazão, realizar novo ajuste da vazão;
- h) Ler a escala do piezômetro do tanque de escorva, permitindo obter o volume de rebaixamento no mesmo;
- i) Observar se a instalação mantém o escorvamento sem esgotar o tanque além do nível mínimo, ou se entra em cavitação;
- j) Desligar o conjunto e realizar as etapas de **a** a **j**, fazendo-se três repetições.

Baseando-se na equação (9) e Tabela 1, para cada uma das quatro alturas geométricas, foram avaliadas as possíveis relações $(V_u + V_l) / (V_t + V_l)$, para as diversas alturas manométricas de sucção, obtidas com as leituras dos vacuômetros. Assim, a primeira altura manométrica avaliada foi a existente com a válvula de gaveta totalmente aberta na tubulação de sucção. Em seguida, fechando-se essa válvula, foram avaliadas as demais alturas manométricas, com valores crescentes de 1 m, até a queda do escorvamento ou cavitação da bomba, conforme planilha de anotações apresentada na Tabela 2. Uma vez que a altura manométrica da tubulação de sucção afeta a vazão, para cada valor de altura manométrica testado, foram manobradas conjuntamente as válvulas de gaveta na sucção e no recalque, para manter a vazão em $8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, observando-se a

coluna de mercúrio do manômetro do diafragma. Para cada avaliação realizada, foram efetuadas três repetições e extraída a média dos resultados.

De acordo com a equação (9), para obtenção da relação $(V_u + V_l) / (V_t + V_l)$, além da altura manométrica, foi determinado o volume da tubulação de sucção. Para isso, antes de iniciar os testes, a tubulação foi preenchida e em seguida esvaziada, coletando-se e pesando-se o volume de água do interior do tubo. Para obtenção do volume livre e volume útil dos tanques de escorva, anteriormente aos testes hidráulicos, os reservatórios foram preenchidos e esvaziados de litro em litro em uma proveta, anotando-se o valor correspondente em uma escala graduada em milímetros, montada ao lado do piezômetro (Figura 10), o que possibilitou obter uma tabela relacionando o volume de água no tanque em função do nível indicado pela escala do piezômetro.

TABELA 2. Planilha de anotações durante os testes hidráulicos e cálculos para avaliação dos tanques de escorva.

hgs (m)	Hs pretendi- do (m c.a.)	Hs obtido (m c.a.)		P. absoluta (Patm-Hs) (m c.a.)	Diafragma		Piezômetro		Tubulação de sucção			$\frac{Vu + Vl}{Vt + Vl}$	$\frac{Vt+Vl}{L}$	$\frac{Vl}{L}$	Bombea- mento (Sim/Não)	Obs. gerais
		Bourdon	Vacuômetro mercúrio		mm Hg	$\frac{Q}{(m^3\ h^{-1})}$	mm	Vu	Comprimento (m)	Volume (L)						
1	1...															
	2															
	3															
	4															
	5															
2	2...															
	3															
	4															
	5															
3	3...															
	4															
	5															
4	4,															
	5															

hgs = altura geométrica de sucção; Hs = altura manométrica de sucção;

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Calibração do diafragma

A calibração do medidor diafragma foi realizada em laboratório, utilizando-se o método direto de medição de vazão. Com os dados de vazão x coluna de mercúrio (diferença de pressão), foi obtida a equação de regressão apresentada na Figura 15.

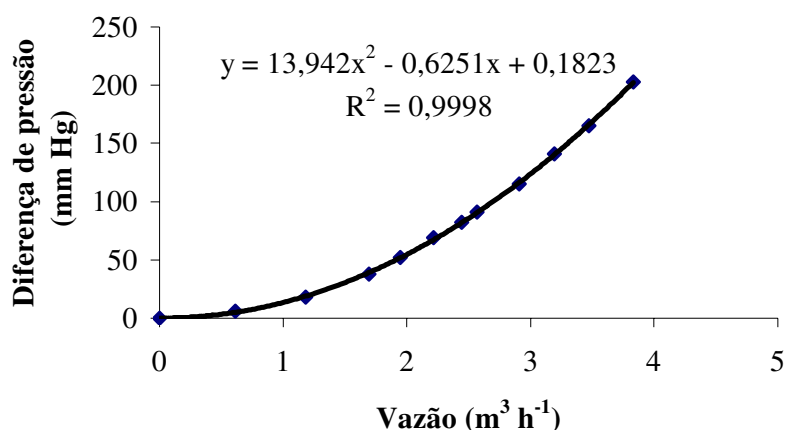


FIGURA 15. Curva de regressão vazão x diferença de pressão, para o medidor diafragma avaliado em laboratório.

Conforme equação de regressão apresentada na Figura 15, uma vez que a vazão utilizada nos testes de avaliação dos tanques foi $8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, a diferença de pressão estabelecida para o manômetro de mercúrio foi de 888 mm.

4. 2. Valores obtidos para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$

Os dados coletados durante os testes hidráulicos para cálculo das relações $(V_u+V_l) / V_t+V_l$ estão apresentados nas Tabelas 3 a 16 e a partir dessas tabelas, foram calculadas as médias das relações $(V_u+V_l) / V_t+V_l$ para as diferentes alturas manométricas H_s (Tabelas 17 e 19).

TABELA 3. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		VI	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
1	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LT(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	1,155	1,035	1,155	8,495	16,80	3,16	12,51	7,38	1,22	x		
2ª R.		1,035	1,142	8,508	16,17	3,16	12,51	7,38	1,18	x		
3ª R.		1,035	1,142	8,508	16,67	3,16	12,51	7,38	1,21	x		
Média		1,035	1,146	8,504	16,55	3,16	12,51	7,38	1,20	x		
1ª R.	2	1,967	2,147	7,503	20,43	3,16	12,51	7,38	1,40	x		
2ª R.		2,001	2,147	7,503	19,60	3,16	12,51	7,38	1,36	x		
3ª R.		2,001	2,147	7,503	20,43	3,16	12,51	7,38	1,40	x		
Média		1,990	2,147	7,503	20,15	3,16	12,51	7,38	1,38	x		
1ª R.	3	2,967	3,166	6,484	25,83	3,16	12,51	7,38	1,67	x		
2ª R.		3,002	3,194	6,456	24,57	3,16	12,51	7,38	1,61	x		
3ª R.		2,967	3,166	6,484	24,71	3,16	12,51	7,38	1,61	x		
Média		2,979	3,176	6,474	25,04	3,16	12,51	7,38	1,63	x		
1ª R.	4	3,830	4,036	5,614	32,67	3,16	12,51	7,38	2,01	x		
2ª R.		3,830	4,036	5,614	30,33	3,16	12,51	7,38	1,90	x		
3ª R.		3,830	4,036	5,614	31,83	3,16	12,51	7,38	1,97	x		
Média		3,830	4,036	5,614	31,61	3,16	12,51	7,38	1,96	x		
1ª R.	5	4,761	5,028	4,622	44,50	3,16	12,51	7,38	2,61	x		
2ª R.		4,761	4,974	4,676	40,67	3,16	12,51	7,38	2,42	x		
3ª R.		4,761	5,028	4,622	42,17	3,16	12,51	7,38	2,49	x		
Média		4,761	5,010	4,640	42,45	3,16	12,51	7,38	2,51	x		
1ª R.		5,175	5,518	4,132	51,00	3,16	12,51	7,38	2,94		x	Cavitação
2ª R.		5,175	5,545	4,105	49,00	3,16	12,51	7,38	2,83		x	Cavitação
3ª R.		5,175	5,450	4,200	49,5	3,16	12,51	7,38	2,86		x	Cavitação
Média		5,175	5,504	4,146	49,8	3,16	12,51	7,38	2,88		x	Cavitação
1ª R.		6,124	6,143	3,507	59,23	3,16	12,51	7,38	3,35		x	Cavitação
2ª R.		6,072	6,197	3,453	59,23	3,16	12,51	7,38	3,35		x	Cavitação
3ª R.		6,176	6,360	3,290	59,23	3,16	12,51	7,38	3,35		x	Cavitação
Média		6,124	6,279	3,371	59,23	3,16	12,51	7,38	3,35		x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; VI – volume livre; R = repetições.

TABELA 4. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
		Bourdon	mercúrio			LT(m)	Vt (L)			sim	não	
2	(m c.a)			(Patm-Hs)	Vu (L)			(L)				
1ª R.	2,174	2,001	2,174	7,476	26,17	4,16	16,47	7,38	1,41	x		
2ª R.		2,001	2,161	7,489	25,33	4,16	16,47	7,38	1,37	x		
3ª R.		2,001	2,174	7,476	25,33	4,16	16,47	7,38	1,37	x		
Média		2,001	2,170	7,480	25,61	4,16	16,47	7,38	1,38	x		
1ª R.	3	3,002	3,180	6,470	33,33	4,16	16,47	7,38	1,71	x		
2ª R.		2,967	3,180	6,470	31,33	4,16	16,47	7,38	1,62	x		
3ª R.		2,967	3,180	6,470	31,00	4,16	16,47	7,38	1,61	x		
Média		2,979	3,180	6,470	31,89	4,16	16,47	7,38	1,65	x		
1ª R.	4	3,795	4,023	5,627	40,67	4,16	16,47	7,38	2,01	x		
2ª R.		3,830	4,077	5,573	39,00	4,16	16,47	7,38	1,94	x		
3ª R.		3,830	4,023	5,627	38,50	4,16	16,47	7,38	1,92	x		
Média		3,818	4,041	5,609	39,39	4,16	16,47	7,38	1,96	x		
1ª R.	5	4,727	5,028	4,622	51,67	4,16	16,47	7,38	2,48	x		
2ª R.		4,785	5,001	4,649	49,67	4,16	16,47	7,38	2,39	x		
3ª R.		4,727	4,988	4,662	47,50	4,16	16,47	7,38	2,30	x		
Média		4,746	5,006	4,644	49,61	4,16	16,47	7,38	2,39	x		
1ª R.		5,175	5,749	3,901	*	4,16	16,47	7,38		x		Cavitação
2ª R.		5,175	5,966	3,684	*	4,16	16,47	7,38		x		Cavitação
3ª R.		5,175	5,966	3,684	*	4,16	16,47	7,38		x		Cavitação
Média		5,175	5,894	3,756	*	4,16	16,47	7,38		x		Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 5. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
3	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LT(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	3,180	2,933	3,180	6,470	37,83	5,16	20,43	7,38	1,63	x		
2ª R.		2,933	3,180	6,470	38,67	5,16	20,43	7,38	1,66	x		
3ª R.		2,967	3,166	6,484	37,50	5,16	20,43	7,38	1,61	x		
Média		2,944	3,176	6,474	38,00	5,16	20,43	7,38	1,63	x		
1ª R.	4	3,761	4,023	5,627	46,67	5,16	20,43	7,38	1,94	x		
2ª R.		3,761	4,023	5,627	46,33	5,16	20,43	7,38	1,93	x		
3ª R.		3,761	4,009	5,641	45,86	5,16	20,43	7,38	1,91	x		
Média		3,761	4,018	5,632	46,29	5,16	20,43	7,38	1,93	x		
1ª R.	5	4,727	4,988	4,662	58,14	5,16	20,43	7,38	2,36	x		
2ª R.		4,761	4,988	4,662	56,71	5,16	20,43	7,38	2,30	x		
3ª R.		4,796	5,001	4,649	57,57	5,16	20,43	7,38	2,34	x		
Média		4,761	4,992	4,658	57,47	5,16	20,43	7,38	2,33	x		
1ª R.		5,175	5,762	3,888	59,23	5,16	20,43	7,38	2,40	x		Cavitação
2ª R.		5,175	5,436	4,214	59,23	5,16	20,43	7,38	2,40	x		Cavitação
3ª R.		5,175	5,436	4,214	59,23	5,16	20,43	7,38	2,40	x		Cavitação
Média		5,175	5,545	4,105	59,23	5,16	20,43	7,38	2,40	x		Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 6. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 4 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 2,16 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		VI	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
4	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LT(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	4,091	3,899	4,091	5,559	55,70	6,16	24,39	7,38	1,99	X		
2ª R.		3,899	4,091	5,559	52,30	6,16	24,39	7,38	1,88	X		
3ª R.		3,899	4,077	5,573	52,90	6,16	24,39	7,38	1,90	X		
Média		3,899	4,086	5,564	53,63	6,16	24,39	7,38	1,92	X		
1ª R.	5	4,727	5,001	4,649	58,10	6,16	24,39	7,38	2,06	X		
2ª R.		4,727	5,001	4,649	58,30	6,16	24,39	7,38	2,07	X		
3ª R.		4,761	5,001	4,649	57,10	6,16	24,39	7,38	2,03	X		
Média		4,738	5,001	4,649	57,83	6,16	24,39	7,38	2,05	X		
1ª R.		5,175	5,450	4,200	*	6,16	24,39	7,38			X	Cavitação
2ª R.		5,175	5,422	4,228	*	6,16	24,39	7,38			X	Cavitação
3ª R.		5,175	5,341	4,309	58,30	6,16	24,39	7,38	2,07		X	Cavitação
Média		5,175	5,404	4,246	58,30	6,16	24,39	7,38	2,07		X	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; VI – volume livre; R = repetições.

TABELA 7. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 4,85 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
		Bourdon	mercúrio			LT(m)	Vt (L)			sim	não	
1	(m c.a.)			(Patm-Hs)	Vu (L)			(L)				
1ª R.	1,169	1,035	1,169	8,481	30,33	5,85	23,17	7,38	1,23	x		
2ª R.		1,070	1,169	8,481	33,00	5,85	23,17	7,38	1,32	x		
3ª R.		1,035	1,169	8,481	30,17	5,85	23,17	7,38	1,23	x		
Média		1,047	1,169	8,481	31,17	5,85	23,17	7,38	1,26	x		
1ª R.	2	2,070	2,134	7,516	38,00	5,85	23,17	7,38	1,49	x		
2ª R.		2,001	2,161	7,489	39,29	5,85	23,17	7,38	1,53	x		
3ª R.		2,036	2,202	7,448	35,50	5,85	23,17	7,38	1,40	x		
Média		2,036	2,165	7,485	37,60	5,85	23,17	7,38	1,47	x		
1ª R.	3	2,898	3,112	6,538	45,57	5,85	23,17	7,38	1,73	x		
2ª R.		2,967	3,044	6,606	46,67	5,85	23,17	7,38	1,77	x		
3ª R.		2,967	3,071	6,579	42,67	5,85	23,17	7,38	1,64	x		
Média		2,944	3,076	6,574	44,97	5,85	23,17	7,38	1,71	x		
1ª R.	4	3,726	4,050	5,600	56,57	5,85	23,17	7,38	2,09	x		
2ª R.		3,761	4,009	5,641	55,00	5,85	23,17	7,38	2,04	x		
3ª R.		3,795	4,023	5,627	50,50	5,85	23,17	7,38	1,89	x		
Média		3,761	4,027	5,623	54,02	5,85	23,17	7,38	2,01	x		
1ª R.	5	4,727	5,001	4,649	58,86	5,85	23,17	7,38	2,17	x		
2ª R.		4,761	4,974	4,676	59,12	5,85	23,17	7,38	2,18	x		
3ª R.		4,727	4,960	4,690	59,09	5,85	23,17	7,38	2,18	x		
Média		4,738	4,978	4,672	59,02	5,85	23,17	7,38	2,17	x		
1ª R.		5,072	5,273	4,377	*	5,85	23,17	7,38		x		Cavitação
2ª R.		5,175	5,409	4,241	*	5,85	23,17	7,38		x		Cavitação
3ª R.												
Média		5,123	5,341	4,309	*	5,85	23,17	7,38				Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 8. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 4,85 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
2	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LT(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	2,174	2,001	2,174	7,476	44,33	6,85	27,13	7,38	1,50	x		
2ª R.		2,036	2,188	7,462	42,17	6,85	27,13	7,38	1,44	x		
3ª R.		2,070	2,229	7,421	41,17	6,85	27,13	7,38	1,41	x		
Média		2,036	2,197	7,453	42,56	6,85	27,13	7,38	1,45	x		
1ª R.	3	2,795	3,031	6,619	53,17	6,85	27,13	7,38	1,75	x		
2ª R.		2,829	3,031	6,619	51,17	6,85	27,13	7,38	1,70	x		
3ª R.		2,864	3,044	6,606	49,50	6,85	27,13	7,38	1,65	x		
Média		2,829	3,035	6,615	51,28	6,85	27,13	7,38	1,70	x		
1ª R.	4	3,726	4,009	5,641	57,29	6,85	27,13	7,38	1,87	x		
2ª R.		3,795	4,023	5,627	57,14	6,85	27,13	7,38	1,87	x		
3ª R.		3,761	3,995	5,655	58,00	6,85	27,13	7,38	1,89	x		
Média		3,761	4,009	5,641	57,48	6,85	27,13	7,38	1,88	x		
1ª R.	5	4,761	5,001	4,649	59,12	6,85	27,13	7,38	1,93	x		
2ª R.		4,727	4,974	4,676	58,86	6,85	27,13	7,38	1,92	x		
3ª R.		4,761	5,001	4,649	59,28	6,85	27,13	7,38	1,93	x		
Média		4,750	4,992	4,658	59,09	6,85	27,13	7,38	1,93	x		
1ª R.		5,175	5,368	4,282	*	6,85	27,13	7,38			x	Cavitação
2ª R.		5,175	5,422	4,228	*	6,85	27,13	7,38			x	Cavitação
3ª R.												
Média		5,175	5,395	4,255	*	6,85	27,13	7,38			x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 9. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 4,85 m, para o tanque modelo 1.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		VI	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
3	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LT(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	3,180	2,967	3,180	5,885	54,71	7,85	31,09	7,38	1,61	x		
2ª R.		2,967	3,180	5,885	55,57	7,85	31,09	7,38	1,64	x		
3ª R.		2,829	3,031	6,034	51,17	7,85	31,09	7,38	1,52	x		
Média		2,921	3,130	5,935	53,82	7,85	31,09	7,38	1,59			
1ª R.	4	3,795	4,036	5,029	57,29	7,85	31,09	7,38	1,68	x		
2ª R.		3,795	4,009	5,056	59,09	7,85	31,09	7,38	1,73	x		
3ª R.		3,795	4,023	5,042	57,14	7,85	31,09	7,38	1,68	x		
Média		3,795	4,023	5,042	57,84	7,85	31,09	7,38	1,70			
1ª R.	5	4,727	4,974	4,091	57,29	7,85	31,09	7,38	1,68	x		
2ª R.		4,796	5,083	3,982	59,04	7,85	31,09	7,38	1,73	x		
3ª R.		4,761	5,001	4,064	57,14	7,85	31,09	7,38	1,68	x		
Média		4,761	5,019	4,046	57,82	7,85	31,09	7,38	1,69			
1ª R.		5,175	5,395	3,670	59,07	7,85	31,09	7,38	1,73		x	Cavitação
2ª R.		5,175	5,300	3,765	*	7,85	31,09	7,38			x	Cavitação
3ª R.												
Média		5,175	5,348	3,717	59,07	7,85	31,09	7,38	1,73		x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; VI – volume livre; R = repetições.

TABELA 10. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
1	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LH(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	1,1332	1,208	1,332	8,318	19,12	3,18	8,90	6,35	1,67	x		
2ª R.		1,208	1,318	8,332	19,76	3,18	8,90	6,35	1,71	x		
3ª R.		1,208	1,318	8,332	18,00	3,18	8,90	6,35	1,60	x		
Média		1,208	1,323	8,327	18,96	3,18	8,90	6,35	1,66	x		
1ª R.	2	2,036	2,147	7,503	24,88	3,18	8,90	6,35	2,05	x		
2ª R.		2,001	2,134	7,516	24,59	3,18	8,90	6,35	2,03	x		
3ª R.		1,967	2,106	7,544	22,12	3,18	8,90	6,35	1,87	x		
Média		2,001	2,129	7,521	23,86	3,18	8,90	6,35	1,98	x		
1ª R.	3	2,967	3,166	6,484	32,06	3,18	8,90	6,35	2,52	x		
2ª R.		3,071	3,166	6,484	32,71	3,18	8,90	6,35	2,56	x		
3ª R.		2,933	3,153	6,497	28,00	3,18	8,90	6,35	2,25	x		
Média		2,990	3,162	6,488	30,92	3,18	8,90	6,35	2,44	x		
1ª R.	4	3,864	4,063	5,587	39,13	3,18	8,90	6,35	2,98	x		
2ª R.		3,864	4,009	5,641	38,83	3,18	8,90	6,35	2,96	x		
3ª R.		3,795	4,036	5,614	38,06	3,18	8,90	6,35	2,91	x		
Média		3,841	4,036	5,614	38,67	3,18	8,90	6,35	2,95	x		
1ª R.	5	4,830	5,028	4,622	42,04	3,18	8,90	6,35	3,17		x	Cavitação
2ª R.		4,830	5,015	4,635	39,53	3,18	8,90	6,35	3,01		x	Cavitação
3ª R.		4,761	5,001	4,649	39,93	3,18	8,90	6,35	3,03		x	Cavitação
Média		4,807	5,015	4,635	40,50	3,18	8,90	6,35	3,07		x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 11. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
2	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LH(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	2,433	2,243	2,433	7,217	23,41	3,18	10,63	6,35	1,75	X		
2ª R.		2,243	2,446	7,204	23,23	3,18	10,63	6,35	1,74	X		
3ª R.		2,243	2,446	7,204	23,23	3,18	10,63	6,35	1,74	X		
Média		2,243	2,442	7,208	23,29	3,18	10,63	6,35	1,75	X		
1ª R.	3	3,002	3,180	6,470	27,88	3,18	10,63	6,35	2,02	X		
2ª R.		2,967	3,180	6,470	28,19	3,18	10,63	6,35	2,03	X		
3ª R.		2,933	3,166	6,484	26,88	3,18	10,63	6,35	1,96	X		
Média		2,967	3,176	6,474	27,65	3,18	10,63	6,35	2,00	X		
1ª R.	4	3,864	4,063	5,587	34,47	3,18	10,63	6,35	2,40	X		
2ª R.		3,795	4,063	5,587	34,05	3,18	10,63	6,35	2,38	X		
3ª R.		3,864	4,077	5,573	32,82	3,18	10,63	6,35	2,31	X		
Média		3,841	4,068	5,582	33,78	3,18	10,63	6,35	2,36	X		
1ª R.	5	4,830	5,055	4,595	38,41	3,18	10,63	6,35	2,64		X	Cavitação
2ª R.		4,796	5,028	4,622	38,72	3,18	10,63	6,35	2,65		X	Cavitação
3ª R.		4,796	5,028	4,622	38,83	3,18	10,63	6,35	2,66		X	Cavitação
Média		4,807	5,037	4,613	38,65	3,18	10,63	6,35	2,65		X	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 12. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		VI	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
3	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LH(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	3,493	3,278	3,493	6,157	31,24	3,18	12,36	6,35	2,01	X		
2ª R.		3,278	3,493	6,157	30,25	3,18	12,36	6,35	1,96	X		
3ª R.		3,278	3,479	6,171	32,18	3,18	12,36	6,35	2,06	X		
Média		3,278	3,488	6,162	31,22	3,18	12,36	6,35	2,01	X		
1ª R.	4	3,795	4,050	5,600	36,63	3,18	12,36	6,35	2,30	X		
2ª R.		3,795	4,036	5,614	34,53	3,18	12,36	6,35	2,18	X		
3ª R.		3,864	4,063	5,587	36,63	3,18	12,36	6,35	2,30	X		
Média		3,818	4,050	5,600	35,93	3,18	12,36	6,35	2,26	X		
1ª R.	5	4,830	5,055	4,595	46,82	3,18	12,36	6,35	2,84		X	Cavitação
2ª R.		4,830	5,042	4,608	41,64	3,18	12,36	6,35	2,56		X	Cavitação
3ª R.		4,830	5,069	4,581	41,91	3,18	12,36	6,35	2,58		X	Cavitação
Média		4,830	5,055	4,595	43,46	3,18	12,36	6,35	2,66		X	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; VI – volume livre; R = repetições.

TABELA 13. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 4 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 3,18 m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		VI	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
4	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LH(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	4,452	4,278	4,525	5,125	39,13	3,18	14,1	6,35	2,23	x		
2ª R.		4,278	4,553	5,097	39,33	3,18	14,1	6,35	2,23	x		
3ª R.		4,278	4,553	5,097	40,95	3,18	14,1	6,35	2,31	x		
Média		4,278	4,544	5,106	39,80	3,18	14,1	6,35	2,26	x		
1ª R.	5	4,830	5,096	4,554	45,45	3,18	14,1	6,35	2,53		x	Cavitação
2ª R.		4,830	5,028	4,622	42,05	3,18	14,1	6,35	2,37		x	Cavitação
3ª R.		4,865	5,055	4,595	46,82	3,18	14,1	6,35	2,60		x	Cavitação
Média		4,842	5,060	4,590	44,77	3,18	14,1	6,35	2,50		x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; VI – volume livre; R = repetições.

TABELA 14. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 1 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 6,00 m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl	$\frac{(V_u+V_l)}{(V_t+V_l)}$	Bombeam.		Obs.
1	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LH(m)	Vt (L)	(L)		sim	não	
1ª R.	1,454	1,380	1,454	8,196	24,00	6,00	13,56	6,35	1,52	x		
2ª R.		1,380	1,427	8,223	22,82	6,00	13,56	6,35	1,47	x		
3ª R.		1,380	1,427	8,223	23,41	6,00	13,56	6,35	1,49	x		
Média		1,380	1,436	8,214	23,41	6,00	13,56	6,35	1,49	x		
1ª R.	2	2,415	2,487	7,163	29,33	6,00	13,56	6,35	1,79	x		
2ª R.		2,415	2,487	7,163	28,19	6,00	13,56	6,35	1,73	x		
3ª R.		2,415	2,487	7,163	28,19	6,00	13,56	6,35	1,73	x		
Média		2,415	2,487	7,163	28,57	6,00	13,56	6,35	1,75	x		
1ª R.	3	2,933	3,058	6,592	32,12	6,00	13,56	6,35	1,93	x		
2ª R.		2,933	3,058	6,592	31,53	6,00	13,56	6,35	1,90	x		
3ª R.		2,933	3,058	6,592	31,24	6,00	13,56	6,35	1,89	x		
Média		2,933	3,058	6,592	31,63	6,00	13,56	6,35	1,91	x		
1ª R.	4	3,795	4,063	5,587	36,63	6,00	13,56	6,35	2,16	x		
2ª R.		3,795	4,063	5,587	36,94	6,00	13,56	6,35	2,17	x		
3ª R.		3,795	4,063	5,587	36,94	6,00	13,56	6,35	2,17	x		
Média		3,795	4,063	5,587	36,84	6,00	13,56	6,35	2,17	x		
1ª R.	5	4,830	5,028	4,622	36,63	6,00	13,56	6,35	2,16		x	Cavitação
2ª R.		4,830	5,028	4,622	36,31	6,00	13,56	6,35	2,14		x	Cavitação
3ª R.		4,830	5,028	4,622	34,24	6,00	13,56	6,35	2,04		x	Cavitação
Média		4,830	5,028	4,622	35,73	6,00	13,56	6,35	2,11		x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LH- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 15. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 2 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 6,00 m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		VI	(V_u+V_l)	Bombeam.		Obs.
2	(m c.a.)	Bourdon	mercúrio	(Patm-Hs)	Vu (L)	LH(m)	Vt (L)	(L)	(Vt+Vl)	sim	não	
1ª R.	2,487	2,415	2,487	7,163	30,31	6,00	15,29	6,35	1,69	x		
2ª R.		2,415	2,501	7,149	31,23	6,00	15,29	6,35	1,74	x		
3ª R.		2,415	2,473	7,177	31,23	6,00	15,29	6,35	1,74	x		
Média		2,415	2,487	7,163	30,92	6,00	15,29	6,35	1,72	x		
1ª R.	3	2,933	3,058	6,592	34,53	6,00	15,29	6,35	1,89	x		
2ª R.		2,933	3,058	6,592	34,82	6,00	15,29	6,35	1,90	x		
3ª R.		2,933	3,058	6,592	34,12	6,00	15,29	6,35	1,87	x		
Média		2,933	3,058	6,592	34,49	6,00	15,29	6,35	1,89	x		
1ª R.	4	3,864	4,050	5,600	40,00	6,00	15,29	6,35	2,14	x		
2ª R.		3,795	4,050	5,600	40,68	6,00	15,29	6,35	2,17	x		
3ª R.		3,795	4,023	5,627	40,00	6,00	15,29	6,35	2,14	x		
Média		3,818	4,041	5,609	40,23	6,00	15,29	6,35	2,15	x		
1ª R.	5	4,830	5,028	4,622	36,94	6,00	15,29	6,35	2,00		x	Cavitação
2ª R.		4,658	5,001	4,649	34,53	6,00	15,29	6,35	1,89		x	Cavitação
3ª R.		4,830	5,015	4,635	33,94	6,00	15,29	6,35	1,86		x	Cavitação
Média		4,773	5,015	4,635	35,14	6,00	15,29	6,35	1,92		x	Cavitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; VI – volume livre; R = repetições.

TABELA 16. Valores obtidos nos testes hidráulicos, para cálculo da relação $(V_u + V_l) / (V_t + V_l)$, com altura geométrica de sucção (hgs) de 3 m e comprimento do trecho horizontal da tubulação de sucção (LH) de 6,00 m, para o tanque modelo 2.

hgs (m)	Hs	Hs obtido (m c.a.) Vacuômetro		Pabs. (m c.a.)	Piez.	Tub. Sucção		Vl (L)	$\frac{(V_u + V_l)}{(V_t + V_l)}$	Bombeam.		Obs.
		Bourdon	mercúrio			Vu (L)	LH(m)			sim	não	
3	(m c.a.)			(Patm-Hs)								
1ª R.	3,533	3,347	3,533	6,117	37,88	6	17,02	6,35	1,89	x		
2ª R.		3,347	3,533	6,117	38,44	6	17,02	6,35	1,92	x		
3ª R.		3,347	3,520	6,130	38,17	6	17,02	6,35	1,91	x		
Média		3,347	3,529	6,121	38,16	6	17,02	6,35	1,90	x		
1ª R.	4	3,795	4,050	5,600	39,00	6	17,02	6,35	1,94	x		
2ª R.		3,864	4,077	5,573	39,67	6	17,02	6,35	1,97	x		
3ª R.		3,795	4,077	5,573	40,00	6	17,02	6,35	1,98	x		
Média		3,818	4,068	5,582	39,56	6	17,02	6,35	1,96	x		
1ª R.	5	4,830	5,055	4,595	41,36	6	17,02	6,35	2,04		x	Caviitação
2ª R.		4,830	5,028	4,622	40,68	6	17,02	6,35	2,01		x	Caviitação
3ª R.		4,830	5,028	4,622	41,36	6	17,02	6,35	2,04		x	Caviitação
Média		4,830	5,037	4,613	41,13	6	17,02	6,35	2,03		x	Caviitação

Hs - altura manométrica estabelecida; Pabs – pressão absoluta; LT- comprimento total da tubulação; Vt – volume da tubulação; Vl – volume livre; R = repetições.

TABELA 17. Médias calculadas das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidas para o tanque 1, avaliado com diferentes valores de hgs, Hs e de LH.

LH = 4,85 m						LH = 2,16 m						Médias	
hgs = 1m			hgs = 2m			hgs = 3m			hgs = 4m				
Hs (mca)	$\frac{Vu+Vl}{Vt+Vl}$	$\frac{Hs}{Vt+Vl}$ (mca)	Hs (mca)	$\frac{Vu+Vl}{Vt+Vl}$	$\frac{Hs}{Vt+Vl}$ (mca)	Hs (mca)	$\frac{Vu+Vl}{Vt+Vl}$	$\frac{Hs}{Vt+Vl}$ (mca)	Hs (mca)	$\frac{Vu+Vl}{Vt+Vl}$	$\frac{Hs}{Vt+Vl}$ (mca)		
1,169	1,262		1,146	1,203		1,157	1,232		1,136				
2,165	1,472	2,197	2,147	1,384	2,170	2,170	1,422		2,190				
3,076	1,714	3,035	3,176	1,630	3,180	3,129	1,652		1,480				
4,027	2,010	4,009	4,036	1,960	4,041	4,034	1,908		1,718				
4,978	2,174	4,992	5,010	2,505	5,006	5,000	2,153		2,075				

TABELA 18. Médias calculadas das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidas para o tanque 2, avaliado com diferentes valores de hgs, Hs e de LH.

LH = 6,00 m						LH = 3,18 m						Médias	
hgs = 1m		hgs = 2m		hgs = 3m		hgs = 1m		hgs = 2m		hgs = 3m			
Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$	Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$	Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$	Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$	Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$	Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$	Hs	$\frac{V_u+V_l}{(mca)}$
1,436	1,495					1,323	1,660					1,379	1,577
2,487	1,754	2,487	1,722			2,129	1,981	2,442	1,746			2,386	1,801
3,058	1,908	3,058	1,887	3,529	1,905	3,162	2,444	3,176	2,002	3,488	2,008	3,245	2,026
4,063	2,169	4,041	2,152	4,068	1,964	4,036	2,952	4,068	2,363	4,050	2,260	4,124	2,303
5,028	2,113	5,015	1,917	5,037	2,032	5,015	3,072	5,037	2,650	5,055	2,662	5,035	2,421
												5,035	2,421
													2,091

Com as médias calculadas nas Tabelas 17 e 18, foram elaboradas as curvas e equações nas Figuras 16 e 17. Observando-se essas figuras, verifica-se que os valores das relações $(V_u + V_l) / (V_t + V_l)$ calculados com os dados obtidos nos testes hidráulicos apresentaram a mesma tendência das relações obtidas pela Lei de Boyle, ou seja, aumentaram em função da altura manométrica H_s . Entretanto, pode-se verificar também que as relações $(V_u + V_l) / (V_t + V_l)$ obtidos com os valores experimentais foram sempre superiores às relações obtidas pela Lei de Boyle.

Para comparar os valores obtidos experimentalmente com os valores obtidos pela Lei de Boyle, apresentados nas Figuras 16 e 17, foram realizadas as análises estatísticas (Tabelas 19 e 20) segundo DIXON & MASSEY (1969), empregando-se o programa ESTAT (programa para análise estatística, desenvolvido pelo Departamento de Ciências Exatas da FCAV-UNESP). A comparação estatística revelou que as regressões obtidas para os dois modelos de tanques foram significativas ($p < 0,01$) para o modelo linear, com coeficientes de correlação 0,9974 e 0,9939. Como o modelo linear foi significativo, foram comparados os coeficientes lineares e angulares da equação das retas obtidas com valores experimentais e com a Lei de Boyle, estabelecendo a hipótese da nulidade H_0 , de que as retas não são coincidentes e não são paralelas.

Para o tanque 1, o teste para coincidência foi significativo ($p < 0,05$) e, portanto, as duas retas não podem ser consideradas coincidentes. Porém, o teste para paralelismo apresentou resultado não significativo e, portanto as duas retas podem ser consideradas paralelas.

Para o tanque 2, o resultado para os testes de coincidência foi também significativo ($p < 0,01$) e também não significativo para o paralelismo. Assim, as retas são paralelas, e, não coincidentes.

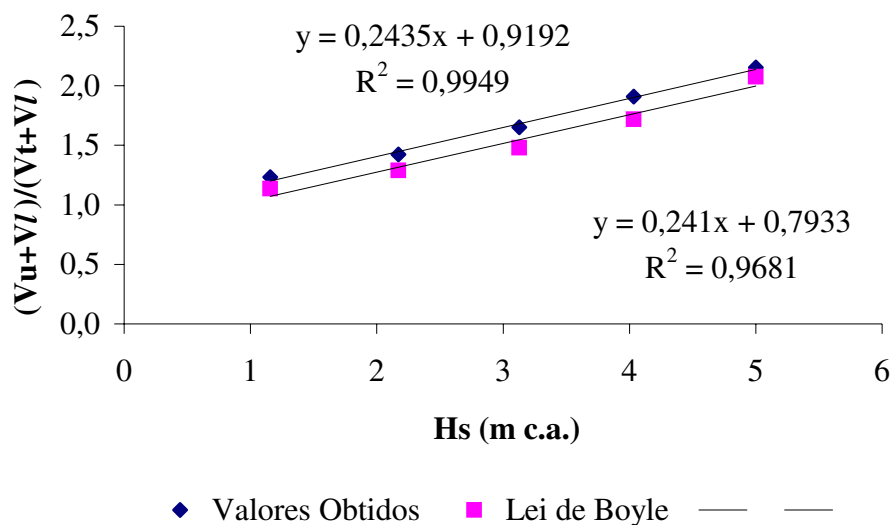


FIGURA 16. Curvas e equações de regressão dos valores médios das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ em função de H_s , obtidas pela equação de Boyle e nos testes hidráulicos, para o tanque 1.

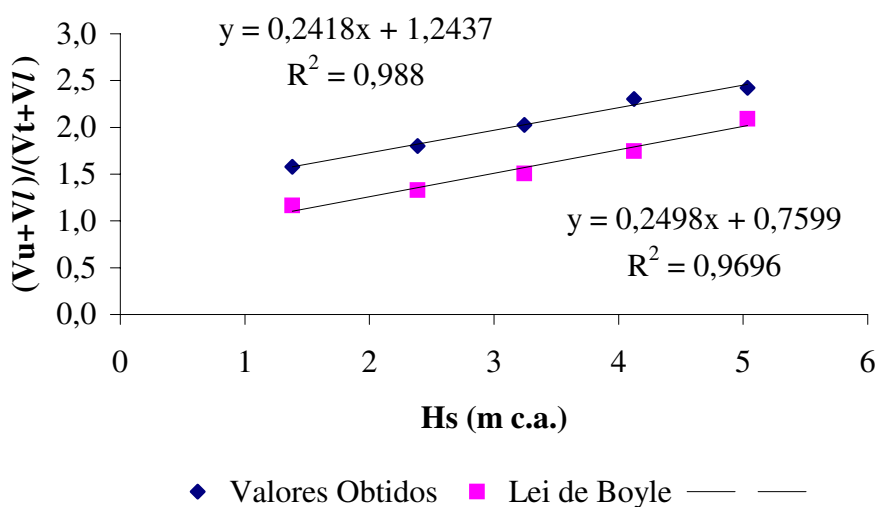


FIGURA 17. Curvas e equações de regressão dos valores médios das relações $(V_u+V_l) / V_t+V_l$ em função de H_s , obtidas pela equação de Boyle e nos testes hidráulicos, para o tanque 2.

TABELA 19. Análise estatística referente aos dados experimentais e aos calculados pela equação de Boyle para o tanque 1.

TANQUE 1			RETA 1			RETA 2			RETA 1 X RETA 2		
Causas de variação			GL	SQ	QM	F	GL	SQ	QM	F	F
Regressão Linear	1	0,5408	0,5408	584,40**	1	0,5298	0,5298	91,09**	1	1,0705	1,0705
	3	0,0028	0,0009		3	0,0174	0,0058		8	0,6459	0,0081
Desvios de regressão											
Total			4	0,5435		4	0,5472		9	1,1354	
Estimativa de parâmetros da Equação de Regressão ($Y = AX + B$)											
A			0,2435	EPA	0,0101	A	0,2410	EPA	0,0252	A	0,2422
B			0,9192	EPB	0,0340	B	0,7933	EPB	0,0853	B	0,8562
Coeficiente de correlação e teste											
R			0,9974	T	24,174**	R	0,9839	T	9,544**	R	0,9710
											11,490**
TESTE F PARA COINCIDENCIA: F = 6,62*											
TESTE T PARA PARALELISMO: T = 0,09 NS											
TESTE T PARA R = T											
EPA = ERRO PADRÃO DE A											
EPB = ERRO PADRÃO DE B											

TABELA 20. Análise estatística referente aos dados experimentais e aos calculados pela equação de Boyle para o tanque 2.

TANQUE 2					RETA 1					RETA 2					RETA 1 X RETA 2				
Causas de variação		GL	SQ	QM	F	GL	SQ	QM	F	GL	SQ	QM	F	GL	SQ	QM	F		
Regressão Linear		1	0,4791	0,4791	245,17**	1	0,5109	0,5109	95,77**	1	0,9897	0,9897	14,51**						
Desvios de regressão		3	0,0059	0,0020		3	0,0160	0,0053		8	0,5456	0,0682							
Total		4	0,4850			4	0,5269			9	1,5353								
Estimativa de parâmetros da Equação de Regressão (Y = AX + B)																			
A		0,2418	EPA	0,0154		A	0,2497	EPA	0,0255	A	0,2457	EPA	0,0682						
B		1,2437	EPB	0,0537		B	0,7607	EPB	0,0887	B	1,0022	EPB	0,2243						
Coeficiente de correlação e teste																			
R		0,9939	T	15,658**		R	0,9847	T	9,786**	R	0,8029	T	3,809**						

TESTE F PARA COINCIDENCIA: F = 71,86 **

TESTE T PARA PARALELISMO: T = -0,26 NS

TESTE T PARA R = T

EPA = ERRO PADRÃO DE A

EPB = ERRO PADRÃO DE B

Como apresentado nas Figuras 16 e 17 e pelas análises estatísticas realizadas, verifica-se que as relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidas experimentalmente são superiores às previstas utilizando-se a Lei de Boyle, conforme percentagens apresentadas na Tabela 21.

TABELA 21. Diferenças percentuais entre os valores médios das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidas experimentalmente e pela Lei de Boyle.

Tanque 1				Tanque 2			
Hs (m c.a.)	Valores experimentais	Lei de Boyle	Diferença (%)	Hs (m c.a.)	Valores experimentais	Lei de Boyle	Diferença (%)
1,157	1,232	1,136	8,5	1,379	1,577	1,167	35,2
2,170	1,422	1,290	10,2	2,386	1,801	1,329	35,5
3,129	1,652	1,480	11,6	3,245	2,026	1,507	34,5
4,034	1,908	1,718	11,1	4,124	2,303	1,746	31,9
5,000	2,153	2,075	3,8	5,035	2,421	2,091	15,8
Média			9,0	Média			30,6

Pela Tabela 22, verifica-se que, em média os valores de relação $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ obtidos experimentalmente, foram de 9,0% e 30,6% superiores aos previstos pela Lei de Boyle. Essa superioridade, provavelmente ocorre, porque nas condições de bombeamento de água existem ar e vapor d'água, diferentemente da situação de gás ideal preconizada pela Lei de Boyle.

As maiores diferenças das relações $(V_u+V_l) / (V_t+V_l)$ comparadas com a Lei de Boyle, possivelmente também podem ser explicadas pela montagem experimental realizada. Como a calibração dos volumes dos tanques foi realizada em estática, relacionando-se com o nível da água no piezômetro, durante o bombeamento, em função do formato do tanque, o volume livre e o volume útil (V_u) podem estar parcialmente ocupados, não sendo identificado no piezômetro. Assim, é possível que a soma V_u+V_l seja menor do que a medida durante os testes. Também o formato do tanque pode afetar a distribuição de água ao mesmo, pois o tubo inserido faz com que a água atinja sua parte superior e escorra pelas laterais até definir o nível mínimo

identificado no piezômetro. Dessa forma, o tanque 2 apresentou maiores diferenças entre os valores experimentalmente obtidos e os previstos pela Lei de Boyle, com diferença média de aproximadamente 30%.

Tendo-se constatado que os valores experimentais são maiores que os previstos teoricamente, no dimensionamento de tanques de escorva deve-se procurar elaborá-los com formato que proporcione volume livre mínimo e com uma percentagem de acréscimo.

Considerando-se que na prática ocorre dificuldade de medição do V_u e a possibilidade de variação de h_{gs} e conseqüentemente de H_s , pode-se indicar uma percentagem de acréscimo da relação $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$. Admitindo-se, por exemplo, 30% de acréscimo para os valores calculados pela equação 2, seriam obtidos os dados apresentados na Tabela 22 e na Figura 18.

TABELA 22. Valores mínimos e com 30% de acréscimo da relação $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$, em função de H_s .

H_s (m c.a.)	Valores mínimos de $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$	$(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$ com 30% de acréscimo
1	1,11	1,44
2	1,26	1,64
3	1,45	1,88
4	1,71	2,22
5	2,07	2,69
6	2,64	3,43
7	3,64	4,73
8	5,85	7,60
9	14,84	19,33
9,33*	30,15	-

*valor para o qual ocorre a pressão de vapor da água, impossibilitando a manutenção do escorvamento.

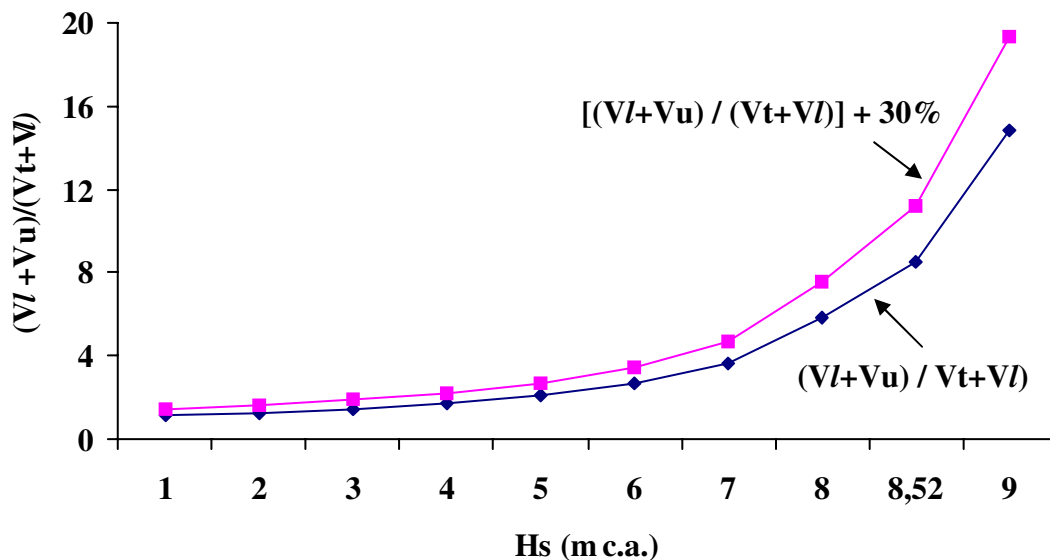


FIGURA 18. Relações $(V_l + V_u) / (V_t + V_l)$ e $[(V_l + V_u) / (V_t + V_l)] + 30\%$, em função da altura manométrica de sucção (H_s).

Segundo VILLA NOVA et al. (1997), o dimensionamento do tanque de escorva pode ser baseado totalmente na Lei de Boyle, porém a indicação desses autores foi sustentada apenas na teoria da equação geral dos gases. Na prática, os resultados da presente pesquisa indicaram que deve-se fazer um acréscimo do volume dimensionado do tanque.

É importante observar que a altura do tanque de escorva (H) eleva a altura manométrica de sucção (H_s). Tal fato permite considerar que quanto menor for a altura H menor será o volume do tanque, uma vez que a relação entre volume útil e volume do tubo de sucção é função de H_s . Assim, tanques com posicionamento horizontal são recomendáveis e mais eficientes. Também é recomendável tanques com posicionamento paralelo à tubulação horizontal de sucção, pois nessa posição reduzem o tamanho e volume da tubulação de sucção, reduzindo-se o volume útil necessário do tanque.

Para a garantia das partidas, é condição fundamental que o tanque sempre esteja cheio de água ou com pressão negativa remanescente da última partida. Em condição de

campo e mesmo em laboratório percebe-se que nem sempre isso ocorre, devido não haver total vedação da tubulação em conexões, do tanque ou de gaxeta da bomba.

KARASSIK et. al. (1985) explicam que toda vez que a bomba pára e reinicia, é possível que uma certa quantidade de líquido do tanque de escorva seja removido por sifonamento, reduzindo o volume do líquido no tanque. A menos que o tanque de escorva seja completado novamente com líquido, ele terá seu uso limitado. Assim, um reabastecimento automático no tanque de escorva fica limitado quando há uma válvula de retenção na descarga da bomba. Portanto, recomenda-se uma ligação em “*by-pass*” da rede de recalque até a parte superior do tanque, que permite mantê-lo sempre cheio, mesmo que haja qualquer problema de sifonamento ou também de vedação.

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos nas avaliações hidráulicas realizadas em laboratório e análises estatísticas realizadas, para os dois modelos de tanques de escorva estudados, chegou-se às seguintes conclusões:

- o volume do tanque de escorva é função do volume da tubulação de sucção da instalação de bombeamento e da altura manométrica de sucção;
- a comparação entre os dados obtidos em laboratório com a utilização da Lei de Boyle demonstra que essa lei pode ser aplicada no dimensionamento de tanques de escorva.

Os dados obtidos para os dois modelos de tanque, comparados como os dados estimados pela Lei de Boyle, resultaram diferenças, sugerindo que outros fatores podem influenciar o dimensionamento e precisam ser estudados.

6. REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, J.M; FERNANDES, M.F; ARAUJO, R.DE; ITO, A.E. *Manual de hidráulica*. 8.ed. São Paulo: Edgard Blücker, 1998. 670p.
- CARVALHO, D.F. *Instalações elevatórias – bombas*. 5.ed. Belo Horizonte: FUMARC, 1992. 352p.
- DELMÉE, G.J. *Manual de medição de vazão*. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 476p.
- DIXON, W.J.; MASSEY, F.J. *Introduction to statistical analysis*. McGraw-Hill, New York, 1969. 370p.
- KARASSIK, I.J.; KRUTZSCH, W.C.; FRASER, W.H.; MESSINA, J.P. *Pump handbook*. 2. ed. McGraw-Hill, New York, 1986. 1351p.
- MACINTYRE, A.J. *Bombas e instalações de bombeamento*. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 782p.
- PALMIERI, A.C. *Manual de hidráulica básica*. 5.ed. Porto Alegre: Racine, 1985. 326p.
- RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N.G.; SOARES, P.A.de T. *Os fundamentos da física*. 6 ed. São Paulo: Moderna, 1996. v.2. 463p.
- SISSOM, L.E.; PITTS, D.R. *Fenômenos de transporte*. Rio de Janeiro: Guanabara. 1988. 765p.
- VILLA NOVA, N.A.; DOURADO NETO, D.; TOMAZELA, C.; FANCELLI, L.A. A - Dimensionamento de um balão de escorva; B - Estimativa de perda por deriva em pivô central. TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DO FEIJÃO IRRIGADO. Piracicaba: FEALQ - USP, 1997, p.159-65.
- VILELA, L.A.A.; BOTREL, T.A.; SOCCOL, O.J.; GERVÁSIO, E.S.; NETO, O.R. Dispositivo para monitoramento da operação de conjuntos motobomba elétricos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.2, 2003, p. 250-6.