

VOLUME 2 – ENSAIOS PITOMÉTRICOS



VOLUME 2

Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água

ENSAIOS PITOMÉTRICOS



Ministério
das Cidades

Secretaria Nacional de
Saneamento Ambiental



Apoio

Guias práticos –
Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água

ENSAIOS PITOMÉTRICOS

VOLUME 2

Autor
Márcio Frangipani

Organizador/Revisor técnico
Airton Sampaio Gomes

Programa de Modernização do Setor Saneamento
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
Ministério das Cidades
Governo Federal

Ministro das Cidades: *Marcio Fortes de Almeida*
Secretário Executivo: *Rodrigo José Pereira-Leite Figueiredo*
Secretário Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) - Substituto: *Sérgio Antônio Gonçalves*
Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica (SNSA): *Marcos Helano Fernandes Montenegro*
Diretor do Departamento de Água e Esgotos (SNSA): *Márcio Galvão Fonseca*
Diretora do Departamento de Articulação Institucional (SNSA) - Substituta: *Norma Lúcia de Carvalho*
Coordenador do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS): *Ernani Ciríaco de Miranda*
Coordenadora do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA): *Cláudia Monique F. de Albuquerque*

PMSS e PNCDA - SCN, Quadra 1, Bloco F, 8º andar, Edifício América Office Tower - CEP 70711-905

Fones: (61) 3327-5006 e 3315-5329 - FAX: (61) 3327-9339

pmss@cidades.pmss.gov.br

www.cidades.gov.br/pncda e www.cidades.pmss.gov.br

Autor: Márcio Frangipani

Organizador/Revisor técnico: Ailton Sampaio Gomes

Guias práticos : técnicas de operação em sistemas de
abastecimento de água / organização, Ailton Sampaio
Gomes. - Brasília : SNSA, 2007.
5 v.

Conteúdo: v. 2. Ensaio pitométrico / Márcio Frangipani
ISBN 978-85-60133-58-1

1. Abastecimento de água. I. Gomes, Ailton Sampaio.
II. Frangipani, Márcio. III. Título.

CDU 628.1

Coordenação editorial: Rosana Lobo; Revisão: Eduardo Perácio; Projeto gráfico: Rosana Lobo; Editoração eletrônica: GRAU Design;
Fotolitos e impressão: Gráfica e editora POSIGRAF

Todas as informações técnicas constantes da presente publicação são de responsabilidade do(s) autor(es).
É permitida a reprodução total ou parcial desta publicação, desde que citada a fonte.

Apresentação

O PNCD – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, instituído em 1997, vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades, tem por objetivo geral a promoção do uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas.

Em termos de abrangência temática, o Programa comporta ações com interface junto aos recursos hídricos, no âmbito da bacia hidrográfica, passando pelo sistema público de abastecimento de água, propriamente dito, atingindo o uso racional da água pelos usuários (sistemas prediais). O Programa centra suas principais ações em linhas de capacitação, elaboração de estudos, disseminação tecnológica e articulação institucional visando ao desenvolvimento de ações conjuntas e complementares de combate ao desperdício de água.

A maior concentração de ações do PNCD está no tema das perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento, motivo pelo qual deve-se estar atento à sua melhor compreensão conceitual. As perdas de água englobam tanto as perdas reais (físicas), que representam a parcela não consumida, como as perdas aparentes (não-físicas), que correspondem à água consumida e não registrada. As perdas reais originam-se de vazamentos no sistema, que vão desde a captação até a distribuição propriamente dita, além de procedimentos operacionais como lavagem de filtros e descargas na rede, quando esses provocam consumos superiores ao estritamente necessário para operação. No que diz respeito às perdas aparentes, as mesmas originam-se de ligações clandestinas ou não cadastradas, hidrômetros parados ou que submedem, fraudes em hidrômetros e outras.

A redução de perdas reais diminui os custos de produção, pois propicia um menor consumo de energia, de produtos químicos e de outros insumos, utilizando as instalações existentes para ampliação da oferta, sem expansão do sistema produtor. No caso das perdas aparentes, sua redução permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador dos serviços.

A proposição de medidas visando à redução e ao controle das perdas enseja o conhecimento de parâmetros (tais como volumes, pressões, níveis, etc.) que permitem qualificar a situação em que se encontra determinado

sistema público de abastecimento. Neste contexto, torna-se fundamental o estabelecimento da “cultura” da medição, garantindo-se a apropriação contínua de parâmetros hidráulicos e elétricos e a possibilidade de elaboração do balanço hídrico, do completo diagnóstico do sistema de abastecimento e da sua modelagem hidráulica, com base no real funcionamento do sistema. Para se alcançar um cenário como esse, é necessário estruturar um plano de ação visando à redução e ao controle das perdas e desperdícios, coerente com a disponibilidade de recursos financeiros, humanos e materiais. Esse plano deve considerar os custos e benefícios resultantes das ações correspondentes, conduzindo a uma hierarquização das ações preconizadas.

Também é necessário que os planos de redução e controle das perdas e desperdícios estejam associados a outros programas que levem às mudanças estruturais e comportamentais necessárias, como os programas de qualidade, planejamento estratégico ou outros planos de modernização. Desta forma, devem integrar e envolver todos os funcionários da empresa prestadora de serviços, adquirindo caráter permanente e auto-sustentabilidade. Para isso, a mobilização e a comunicação social, tanto internas ao prestador de serviços, como externas junto à sociedade, são ferramentas estratégicas.

Neste contexto, o PNCDA, em sua vertente de elaboração de estudos, já publicou vinte e três Documentos Técnicos de Apoio (DTA), cobrindo as áreas de abrangência temática do Programa, antes mencionadas. Os Documentos têm por objetivo auxiliar no planejamento e implementação de medidas no âmbito da temática do PNCDA, além de serem utilizados nos eventos de capacitação do Programa, que vêm ocorrendo desde 1999.

Dando seqüência a essa vertente, em parceria com o PMSS – Programa de Modernização do Setor Saneamento, o PNCDA inaugura uma nova linha de DTAs, sob forma de “Guias Práticos”, que visam ao atendimento a uma forte demanda, por parte das equipes operacionais dos prestadores de serviços de saneamento, por documentos de fácil entendimento, aplicativos e práticos, de modo a serem úteis quando da realização de serviços de campo. Assim, os Guias abordam temas relacionados às questões cotidianas vivenciadas por equipes responsáveis pela operação e manutenção de sistemas de abastecimento de água no país, usando uma linguagem acessível, recursos gráficos, fotos, desenhos e croquis, adotando, enfim, uma mensagem visual para o adequado entendimento dos procedimentos descritos.

A presente série de Guias Práticos, denominada Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento de Água, inicia-se com cinco publicações sobre temas fundamentais aos trabalhos de campo, quais sejam: a macromedição,

os ensaios pitométricos, a pesquisa e combate a vazamentos não visíveis, o controle de pressões e operação de válvulas reguladoras de pressão e a conta de energia elétrica no saneamento.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, por meio de seus programas PNCD A e PMSS, esperam que os “Guias Práticos” contribuam tecnicamente para o desempenho das atividades operacionais nos serviços de abastecimento de água e desejam contar com a colaboração do leitor enviando sugestões para a melhoria e o aprimoramento das publicações.

Brasília, janeiro de 2007

Ministério das Cidades

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCD A)

Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)

O PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO

O **Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)** consolidou-se, ao longo de seus quatorze anos, como um instrumento permanente de apoio à instância executiva da política de saneamento do Governo Federal, tendo suas ações voltadas à criação das condições propícias a um ambiente de mudanças e de desenvolvimento do setor saneamento no país. Atualmente, é um dos principais programas da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades.

O Programa tem, no **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**, o seu mais reconhecido produto. A credibilidade construída em torno deste instrumento permitiu, em seus 11 anos de existência, consolidar séries históricas de diversos dados e informações fornecidos por uma amostra de prestadores de serviços, tanto de água e esgotos como de resíduos sólidos, que progressivamente se amplia em tamanho e representatividade.

Por sua vez, a **assistência técnica** aos órgãos e entidades do setor saneamento constituiu-se em pauta fundamental do PMSS, buscando promover reformas institucionais, especialmente nos prestadores de serviços, com vistas a melhorar a qualidade e o nível de eficiência e eficácia de suas ações, condição básica para universalização dos serviços. Neste sentido, são potenciais beneficiários do Programa: (i) os estados e municípios, na formulação de políticas públicas e desenvolvimento de planos de saneamento; (ii) as instâncias de regulação e fiscalização, na implementação de atividades regulatórias; e (iii) os prestadores públicos de serviços, na sua revitalização e reestruturação.

Além do apoio direto ao prestador de serviços, operando segundo o modelo de gestão vigente, a assistência do PMSS estuda arranjos alternativos de gestão, que permitam o fortalecimento do prestador de serviços atual, funcionando em novas bases, mas que também possibilitem ao governante explorar novos modelos que enfrentem o quadro de dificuldades em que se encontram os serviços de saneamento nos estados e municípios brasileiros.

O Programa alavanca o desenvolvimento institucional do setor mediante ações de **capacitação** dos agentes que atuam no saneamento. Neste sentido, o PMSS liderou, em parceria com diversos órgãos do Governo Federal e a operacionalização da Financiadora de Estudos e Pesquisas (FINEP), o processo de criação e estruturação da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA). Foram constituídos quatro Núcleos Regionais, coordenados por 14 universidades e que agregam cerca de 80 instituições parceiras (entre prestadores de serviços, entidades do setor, sistema S e sistema Cefet). O PMSS exerce o papel de Núcleo Executivo do Comitê Gestor da ReCESA.

O PMSS também fornece o suporte técnico e de logística à SNSA/MCidades na implementação do projeto de **Cooperação Internacional Brasil-Itália em Saneamento Ambiental**, que conta com a participação de instituições do governo italiano e da HYDROAID – *Scuola Internazionale dell'Acqua per lo Sviluppo*, além da participação de municípios e universidades brasileiras.

O Programa desempenha ainda um papel de vanguarda em **temas emergentes para o setor**, como atingir as Metas do Milênio e atender aos tratados internacionais. Destacam-se parcerias com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA),

o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Projeto Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) aplicado a Resíduos Sólidos e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

O PMSS se insere efetivamente na **agenda político-institucional da SNSA/MCidades**, oferecendo suporte técnico na formulação e implementação do marco legal e regulatório para o setor. O programa contribuiu de forma destacada para a discussão e aprovação da Lei nº 11.107/2005 que regulamenta os Consórcios Públicos e no apoio a construção e aprovação da Lei nº 11.445/2007 que estabelece as diretrizes gerais e institui a política federal de saneamento básico.

O Programa de Modernização do Setor Saneamento conta, ainda, com um **projeto editorial**, que recentemente ganhou fôlego renovado com o lançamento da série de publicações e da revista periódica, denominadas “Saneamento para Todos”, abrangendo edições que fomentam a reflexão político-institucional e o intercâmbio técnico entre os agentes do setor.

Marcos Helano Fernandes Montenegro

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica da SNSA/MCidades

Ernani Ciríaco de Miranda

Coordenador da UGP/PMSS

Sumário

1. Introdução	12
2. O que é o tubo Pitot.	13
2.1. Líquidos pitométricos	15
2.2. Partes componentes do tubo Pitot.	16
3. Implantação da estação pitométrica.	18
3.1 Descrição do TAP	18
3.2 Características da estação pitométrica	19
3.3 Determinação do ponto de instalação da estação pitométrica (EP)	19
3.4 Procedimento para a instalação do Tap.	20
3.4.1 Cuidados na instalação conforme o material da tubulação	21
3.4.2 Operação da máquina Muller	23
3.4.3 Construção da caixa abrigo da estação pitométrica	30
4. Utilização do calibre para levantamento do diâmetro real da tubulação e projeção do TAP	32
5. Determinação do fator de velocidade – FV	35
5.1 Procedimento de instalação do tubo Pitot	35
5.2 Determinação dos pontos para a curva de velocidade	38
5.3 Cálculo do fator de velocidade	41
6. Determinação da constante pitométrica – K_{ep}	46
6.1 Fator de correção do diâmetro.	46
6.2 Fator de correção pela projeção do Tap – C_{proj}	47
6.3 Área corrigida	48
6.4 Exemplo do cálculo da constante pitométrica – K_{ep}	50

7. Determinação de vazão instantânea com o tubo Pitot	52
7.1. Determinação da velocidade central – V_{central}	52
7.2. Fator de correção da densidade – $C_{\text{dens.}}$	53
7.3. Determinação da densidade real do líquido pitométrico.	54
7.4. Exemplo de cálculo da vazão instantânea.	55
8. Equipamentos registradores	59
8.1. Registradores gráficos	59
8.1.1. Princípio de funcionamento	60
8.1.2. Características	60
8.1.3. Procedimentos de instalação – Registrador gráfico	61
8.1.4. Leitura e interpretação do gráfico	63
8.1.5. Aferição e calibração.	67
8.1.5.1. Construção da régua de aferição	67
8.1.5.2. Procedimentos de aferição	68
8.1.5.3. Ajuste e calibração do aparelho	69
8.1.6. Substituição das penas.	71
8.2. Registradores eletrônicos (<i>data logger</i>)	72
8.3. Elaboração de histogramas de vazão	73
9. Ensaio de bombas	76
9.1. Equipamentos necessários	76
9.2. Verificações iniciais	76
9.3. Execução do ensaio	78
9.4. Ensaio de associação de bombas	80
9.5. Outros dados necessários	80
9.6. Procedimentos de cálculo	81
9.6.1. Procedimentos de cálculo	82
9.6.2. Elaboração da curvas reais de <i>performance</i>	83

9.7	Análise dos gráficos	84
9.7.1	Altura manométrica	84
9.7.2	Rendimento da bomba	85
9.7.3	Potência no eixo da bomba.	86
9.7.4	NPSH disponível x NPSH requerido	86
9.7.5	Perda de carga na sucção	87
10.	Ensaios de determinação de perda de carga – coeficiente “C” da fórmula de Hazen-Williams	88
10.1	Procedimentos de ensaio	89
10.2	Cálculos.	89
10.2.1	Cálculo do coeficiente “C” de trabalho entre as EP-1 e EP-2.	91
11.	Elaboração de curva de sistemas.	94
11.1	Definição	94
11.2	Construção da curva de sistema	94
11.3	Curva da bomba	98
11.4	Curva do sistema.	99
11.5	Considerações sobre a curva de sistema.	100
11.5.1	Enchimento de reservatórios “por baixo”	100
11.5.2	Alteração da perda de carga na linha de recalque	101
11.5.3	Associação de bombas	102
12.	Referências bibliográficas	104
13.	Referências na internet	105
	Apêndice A – Planilha sugerida para traçado da curva de velocidades.	106
	Apêndice B – Planilhas de velocidade em função da deflexão e densidade do líquido pitométrico	107
	Apêndice C – Toxicidade dos líquidos pitométricos usados em pitometria	123

1. Introdução

Este Guia Prático de Ensaio Pitométrico trata das técnicas de levantamentos e ensaios pitométricos com a utilização de tubo Pitot e tem o intuito de contribuir para a melhoria da medição e do gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água brasileiros. A proposta não é discutir as fórmulas da hidráulica que garantem os resultados – pelo contrário, elas serão apenas citadas. Não se tem tampouco a pretensão de esgotar o assunto – inesgotável, aliás – apenas mostrar alguns fundamentos e técnicas necessários para realizar tipos comuns de medições em sistemas de abastecimento de água.

O trabalho encontra-se dividido em tópicos específicos com os seguintes conteúdos: o que é o Pitot; implantação de estação pitométrica; utilização do calibre para levantamento do diâmetro real da tubulação e projeção do registro de derivação (tap); determinação do fator de velocidade; determinação da constante pitométrica; determinação de vazão instantânea com o tubo Pitot e equipamentos registradores. Finalmente, são apresentados ensaios típicos em que se podem utilizar as técnicas pitométricas.

O leitor verá que as divagações teóricas foram poupadas ao máximo, até pelo fato de serem facilmente acessíveis em qualquer manual de hidráulica. Foram sim enfatizados os procedimentos necessários para as práticas da pitometria.

Espera-se que este Guia seja útil para muitos técnicos de empresas operadoras, que talvez já utilizem a pitometria, mas de maneira tímida, ou ainda não a utilizem.

Cláudia Monique Frank de Albuquerque
Coordenadora Técnica do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
Ministério das Cidades

2. O que é o tubo Pitot

Em 1732, Henry Pitot utilizou pela primeira vez um equipamento para medir a velocidade de líquidos. O tubo Pitot daquela época era bem rudimentar. Um tubo de vidro em forma de “L” era introduzido na corrente de água e a deflexão observada tida como proporcional à velocidade da corrente.



Figura 1 – Tubo Pitot original

Do primeiro equipamento até hoje, houve vários desenvolvimentos e melhorias.

Para medições de velocidade dentro de condutos sob pressão, deve-se obter também a pressão do meio, pois, neste caso, a velocidade é proporcional à diferença de pressão existente na corrente do líquido e a existente em todo o meio. Dos diversos tipos de tubo Pitot existentes para medições em condutos fechados (Prandtl, Cole, Simplex, Anular, Estático, etc.), o mais difundido e fabricado no Brasil é o tipo cole. Por esta razão, este manual está voltado para o uso deste tipo de equipamento.

O tubo Pitot do tipo cole é um instrumento destinado à medição de vazão através da obtenção da velocidade do fluxo, sendo deste modo obtida indiretamente a vazão. Sendo um instrumento leve e portátil, sua utilização é extremamente prática devido à facilidade com que pode ser instalado em qualquer ponto do sistema de produção e distribuição de água, propiciando a determinação de dados reais acerca do funcionamento do sistema.



Figura 2 – Tubo Pitot tipo cole

Trata-se de uma haste com dois tubos metálicos em seu interior. A haste corre dentro de uma base a qual pode ser acoplada em um registro especial que é instalado na tubulação. Com a parte da haste inserida dentro da tubulação, os tubos metálicos em seu interior comunicam o líquido com o ambiente exterior à tubulação. Na extremidade dos tubos metálicos existem tomadas de velocidade, denominadas “tip”. Orientando-se convenientemente as duas tomadas, contra e a favor do fluxo, pode-se medir apenas a pressão diferencial, a qual será proporcional à velocidade do fluxo.

O diferencial de pressão resultante entre as tomadas de impacto (contra o fluxo) e a de referência (a favor do fluxo) é muito pequeno, da ordem de poucos centímetros. Assim, para se obter precisão nestas medições utiliza-se um tubo “Ü” de vidro e líquidos pitométricos de diferentes densidades.

2.1. Líquidos pitométricos

Líquidos pitométricos são compostos químicos com densidade superior a da água, possuindo ainda a característica de não serem solúveis em água. Os líquidos manométricos mais utilizados são os seguintes:

Tetrabrometano: densidade de 2,90

Tetracloroetileno: densidade de 1,60

Foram realizados estudos em laboratório submetendo-se o tubo Pitot a várias velocidades e relacionando as mesmas com deflexões observadas em tubo “U”.

Os resultados obtidos foram documentados em tabelas onde se relaciona a velocidade em função da deflexão e densidade do líquido manométrico utilizado. Nestes estudos foram utilizados líquidos manométricos de densidade 2,90, 1,60, 1,25 e 1,11.

Para se obter líquidos com densidade de 1,25 e 1,11, o tetracloroetileno, acima citado, é diluído com benzina. A tabela a seguir resume os líquidos e densidades utilizadas:

DENSIDADE	LÍQUIDO MANOMÉTRICO
1,11	Tetracloroetileno + Benzina
1,25	Tetracloroetileno + Benzina
1,60	Tetracloroetileno puro
2,90	Tetrabrometano
13,58	Mercúrio

A toxicidade destes líquidos é apresentada no Apêndice C. Cuidados especiais devem ser tomados no seu manuseio, para evitar acidentes.

Tentativas têm sido realizadas no sentido de substituir a utilização de tubo “U” e líquidos manométricos por sensores eletrônicos de diferencial de pressão. Esta substituição ainda não se mostrou possível para baixas velocidades.

des nas tubulações, dada a dificuldade de se medir com precisão pequenos diferenciais de pressão com os sensores existentes.

2.2. Partes componentes do tubo Pitot

A figura a seguir descreve as partes componentes do Pitot e equipamentos auxiliares:

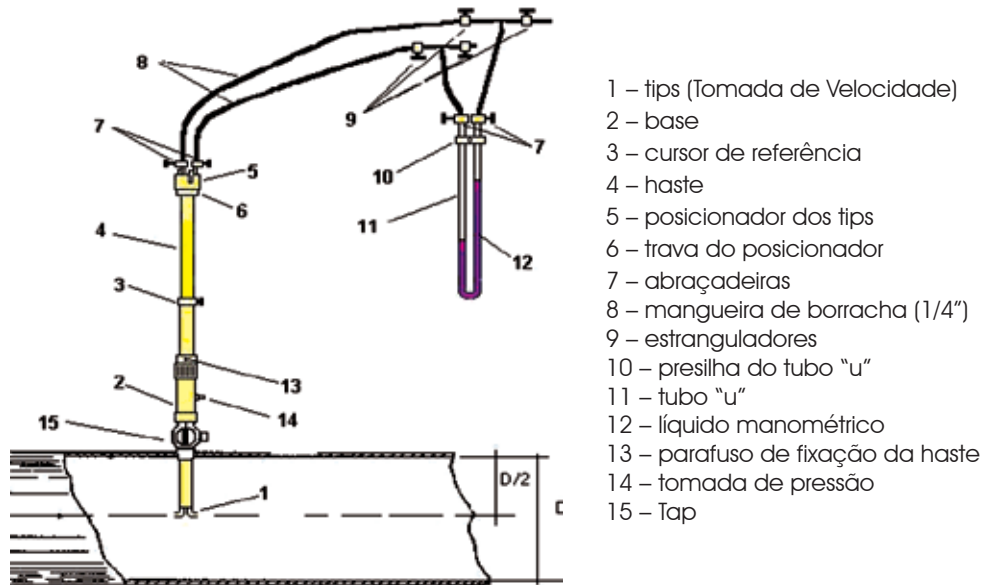


Figura 3 – Componentes do tubo Pitot e acessórios



Figura 4 – Mangueira com estranguladores, para tubo Pitot

3. Implantação da estação pitométrica

Entende-se por Estação Pitométrica o ponto da tubulação utilizado para medições da pitometria, sendo composto do poço de visita (PV) e do registro de derivação de 1" (Tap) instalado ou, simplesmente, do registro de derivação de 1" (Tap) instalado, no caso de tubulação aparente.

O "Tap" é similar ao registro de esfera e é fabricado com dimensões padronizadas, fato que permite a sua instalação em tubulações em carga, utilizando-se equipamento específico (denominado de máquina muller, em homenagem ao seu criador), bem como seu acoplamento ao tubo Pitot.

3.1 Descrição do TAP

São encontradas no mercado várias versões de Tap, sendo em sua maioria com rosca padrão ABNT e com rosca Whitworth (padrão americano ou muller).

Para possibilitar a padronização dos equipamentos utilizados em pitometria (broca da máquina muller, acoplamento do tubo Pitot), é importante que sejam utilizados Taps sempre de mesmo padrão. Dentre os modelos disponíveis recomenda-se o padrão ABNT, que se encontra descrito abaixo:



TAP 1" – PADRÃO ABNT

- 1) "rosca superior: bsp paralela 1 1/4" (11 fpp);
- 2) rosca inferior: bspt cônica 1" (11 fpp);
- 3) fabricado em bronze.

Figura 5 – Tap padrão ABNT

O Tap padrão muller apresenta as seguintes dimensões principais:

Rosca superior: Whitworth 1 ½” – 11 fpp

Rosca inferior: Whitworth 36,2 – 12 fpp – con.: 1:8

3.2 Características da estação pitométrica

Para que a medição de vazão em condutos forçados através das práticas pitométricas apresente resultados confiáveis, deverão ser observadas as condições abaixo:

- diâmetro do conduto a ser medido deve ser igual ou superior a 100 mm. Para diâmetros menores a área de obstrução devida à haste do tubo Pitot resultará em valores de velocidade imprecisos;
- velocidade no conduto deve ser superior a 0,32 m/s, que corresponde teoricamente, a uma deflexão no tubo "U" igual a 60 mm com o líquido manométrico de densidade 1,11;
- pressão dinâmica no ponto de medição superior a 3,0 mca para que a altura da haste do tubo Pitot seja vencida e a pressão diferencial seja transmitida ao tubo "U";
- deverá ser evitada a ocorrência de ar no ponto selecionado para a instalação. Para tanto, deverão ser evitados pontos altos na tubulação.

Além destas condições, salienta-se que a pressão máxima de trabalho, segundo a norma europeia E9551 é de 20 kg/cm².

3.3 Determinação do ponto de instalação da estação pitométrica (EP)

Antes da escolha do ponto para instalação de estação pitométrica, os condutos alvos das práticas pitométricas deverão ser localizados, caso sejam enterrados. Para tanto, dados cadastrais são a fonte imediata para obtenções de informações. Se, eventualmente, estes dados não forem confiáveis, outro recurso será o uso de equipamento localizador de condutos metálicos.

Uma vez localizados os condutos, a escolha dos pontos para instalações de EPs deverá ser mediante a verificação da existência de trecho reto superior a 30 vezes o diâmetro do conduto, distribuídos da seguinte forma: a montante do ponto, trecho reto superior a 20 diâmetros; a jusante, trecho reto superior a 10 diâmetros.

Quando forem constatadas altas velocidades ou existência de curvas ou cotovelos de 90°, o comprimento retilíneo total poderá ser elevado para 70 vezes o diâmetro do conduto, sendo 50 a montante e 20 a jusante.

O ponto para instalação da EP deve ficar distante, no mínimo 20 metros, de rede de alta tensão. Esta condição visa evitar curtos-circuitos causados por eventuais vazamentos de água sob pressão decorrente de abertura ou rompimento do tubo no local do Tap.

Quando a locação de EPs estiver no perímetro urbano, evitar entradas de garagens, oficinas, etc., locais de muita movimentação de veículos, o que poderia atrapalhar o trabalho de equipes no local.

3.4 Procedimento para a instalação do Tap

Em tubulações enterradas é necessária a abertura de vala, com área horizontal de no mínimo 1,5 m x 1,5 m, sendo que acima de 2.0 m de profundidade é aconselhável a utilização de escoramento.

A tubulação deverá ser totalmente descoberta, deixando um pequeno vão sob a mesma para permitir a passagem da corrente de fixação da máquina que irá furar a tubulação e colocar o Tap.

Para a instalação do registro de derivação de 1" (Tap) em redes de ferro fundido ou aço deve ser usada a máquina tipo "muller", que apresenta as características mostradas na figura.

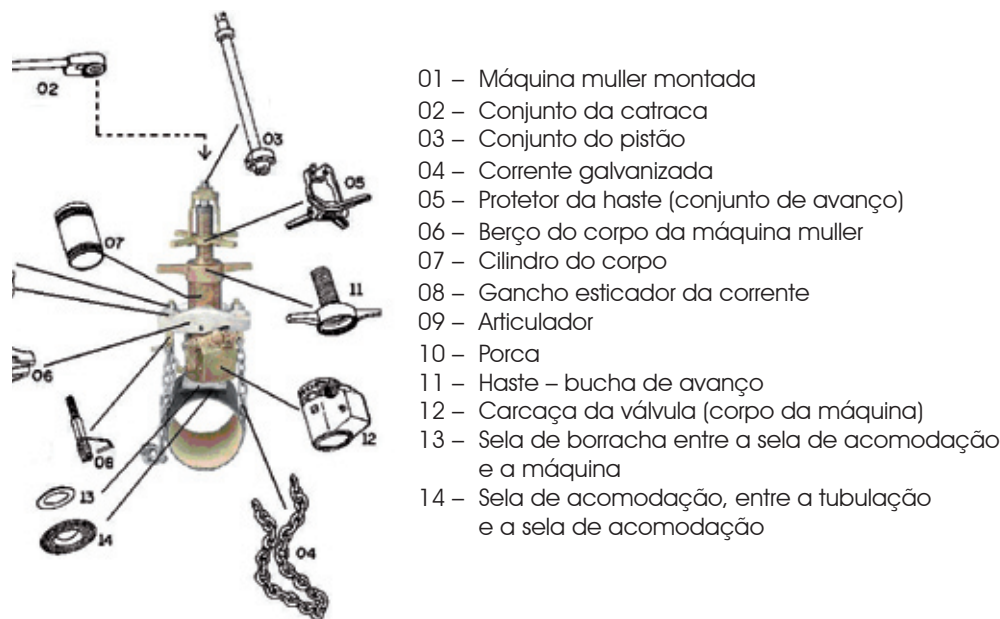


Figura 6 – Componentes na máquina muller para instalação de registros de derivação (Taps) em tubulações em carga

3.4.1 Cuidados na instalação conforme o material da tubulação

Para a correta instalação do Tap alguns cuidados devem ser considerados conforme o material do tubo.

Tubulação de PVC

Quando a tubulação for PVC, a instalação do registro de derivação (Tap) será de acordo com a pressão “estática” e poderá ocorrer de duas formas: até 15 mca, a instalação do registro de derivação de 1” (Tap) poderá ser de acordo com o procedimento adotado para a tubulação de ferro fundido ou aço; acima de 15 mca, a instalação do

registro de derivação de 1" (Tap) deverá ser com o colar de tomada. Esta operação é realizada com rede fechada (fora de carga) ou com a utilização de máquina para perfurar por dentro do Tap.

Tubulação de Cimento Amianto (CA)

Neste caso, a instalação do registro de derivação de 1" (Tap) só é recomendável com o colar de tomada.

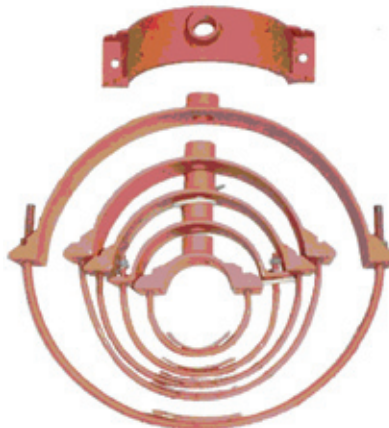


Figura 7 – Colares de tomada para instalação de Tap em tubo de CA

Tubulação de FºFº

Neste caso, a furação da tubulação pode ser realizada sem nenhum procedimento preliminar, uma vez que sua espessura e rigidez atendem às exigências para a instalação do registro de derivação de 1" (Tap).

Tubulação de Aço



Neste caso, deverá ser soldado no local da furação uma chapa em aço 20 cm x 20 cm x 5 mm, para que possa ser garantida a quantidade de fios de rosca necessários para a instalação do registro de derivação de 1".

3.4.2 Operação da máquina Muller

Instalação

As fotografias a seguir demonstram passo a passo os procedimentos para a instalação da máquina Muller.

Observa-se que, para maior clareza das figuras, os procedimentos foram feitos utilizando-se um toco de tubo. Na situação real, na maioria das vezes, os procedimentos são executados dentro da vala. Desta forma é importante ter em mente os procedimentos de instalação quando da execução da vala, garantindo-se espaço suficiente para os operadores da máquina.

PASSO 1	PASSO 2	PASSO 3
		
Verificar a sela de acomodação que melhor se acomoda na tubulação	Colocar a sela de borracha e a sela de acomodação	Colocar o anel de vedação da máquina
Obs.: Verificar a posição em que será instalado o TAP. Lembrar que posteriormente deverá haver altura suficiente para a instalação do tubo Pitot		







Ensaio pitométrico

PASSO 4	PASSO 5	PASSO 6
 <p>Colocar o corpo da máquina, verificando se está perfeitamente horizontal Obs.: O <i>flap</i> e o <i>by-pass</i> devem estar abertos</p>	 <p>Instalar o gancho da corrente</p>	 <p>Envolver a tubulação com a corrente</p>
PASSO 7	PASSO 8	PASSO 9
 <p>Encaixar a corrente no gancho esticador</p>	 <p>Verificar o alinhamento do corpo da máquina em relação à corrente</p>	 <p>Aperatar as porcas dos ganchos, alternadamente, até que a máquina esteja bem fixada</p>

Execução do furo e da rosca

PASSO 1	PASSO 2	PASSO 3
		
Instalar a broca no conjunto do pistão. O parafuso de fixação deve ser firmemente apertado	Inserir o pistão com a broca no corpo da máquina	Rosquear o conjunto do pistão no corpo da máquina. Descer o pistão até sentir que a broca encostou na tubulação
PASSO 4	PASSO 5	PASSO 6
		
Ajustar o conjunto de avanço do pistão, aproximando a trava do eixo	Prender o pistão com a trava do eixo	Instalar a catraca




Ensaio pitométrico

PASSO 7	PASSO 8	PASSO 9
		
<p>Iniciar a furação com movimentos firmes e contínuos, evitando dar trancos na catraca para não danificar a broca</p>	<p>Durante a furação, controlar o avanço da broca, girando o protetor da haste no sentido horário</p>	<p>Fechar o <i>by-pass</i> quando vazar água, indicando que o furo está iniciando</p>
PASSO 10	PASSO 11	PASSO 12
		
<p>O término do furo poderá ser sentido quando folgar a catraca</p>	<p>Girar lentamente o protetor da haste no sentido horário até sentir que o macho da broca encostou no furo</p>	<p>Inicia-se a execução da rosca, contando-se o número de voltas da catraca</p>
<p>Obs.: Número de voltas (fios de rosca) Tubo \geq a 300 mm: de 7 a 8 voltas completas Tubo entre 100 e 300 mm: de 4 a 5 voltas completas</p>		




PASSO 13	PASSO 14	PASSO 15
		
Obs.: Para facilitar a contagem, recomenda-se que seja realizada marcação no corpo do eixo	A figura acima demonstra a penetração da broca, quando da realização da rosca	Ajustar a catraca para rosca inversa
PASSO 16	PASSO 17	PASSO 18
		
Iniciar a retirada da broca	Cuidado: Ao remover a trava do eixo, conforme a pressão da rede, o pistão pode "saltar"	Fechar o <i>flap</i> , observando seu travamento

PASSO 19	PASSO 20
	
Remover o conjunto do pistão	Obs.: Pode-se visualizar na broca o número de fios executados na rosca

Instalação do Tap

PASSO 1	PASSO 2	PASSO 3
		
Preparar o Tap instalando-se os adaptadores Obs.: Colocar teflon na rosca do Tap		Obs.: Verificar se o Tap encontra-se na posição fechada

PASSO 4	PASSO 5	PASSO 6
 <p>Instalar o Tap conforme os procedimentos de instalação da broca</p>	 <p>Reinstalar o conjunto do pistão no corpo da máquina, seguindo os mesmos passos já vistos</p>	 <p>Após rosquear o conjunto do pistão, proceder à abertura do <i>by-pass</i></p>
PASSO 7	PASSO 8	PASSO 9
 <p>Com o <i>by-pass</i> aberto, proceder à abertura do <i>flap</i></p>	 <p>Rosquear o Tap no tubo, contando o número de fios rosqueados</p>	 <p>Após rosquear o Tap, girar a catraca no sentido anti-horário com movimento brusco, visando desacoplar o pistão do Tap</p>

PASSO 10	PASSO 11	PASSO 12
		
Abriu o <i>by-pass</i> para observar o escoamento de água. Se o Tap foi instalado corretamente, não há o escoamento de água	Proceder à desmontagem da máquina	Tap instalado

Uma vez instalado o Tap, providencia-se o desmonte da máquina com a limpeza total de seus componentes e acessórios, guardando-os em seguida na caixa de proteção para transporte.

3.4.3 Construção da caixa abrigo da estação pitométrica

Para esta construção, tem-se que pensar que a Caixa Abrigo da EP, em tubulações enterradas, deve ter espaço suficiente para a instalação e operação do tubo Pitot e a instalação conjunta de equipamentos, tais como registradores de vazão e pressão, sejam do tipo “gráfico”, seja do tipo *data-logger*.

As figuras 8 e 9 descrevem as dimensões recomendadas para as caixa abrigo. Observa-se que, conforme a profundidade da tubulação, o Tap deve ser instalado na lateral ou na parte inferior da tubulação. Lembre-se sempre que ocorrem situações em que o Pitot ficará instalado por longo tempo, no caso de registro continuado de vazão, e para tanto a caixa deverá ser fechada para proteção e guarda do mesmo.

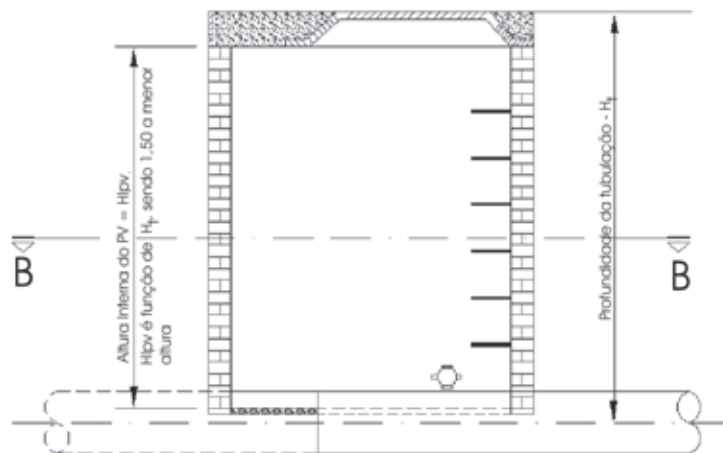


Figura 8 – Vista em corte da uma caixa abrigo de EP

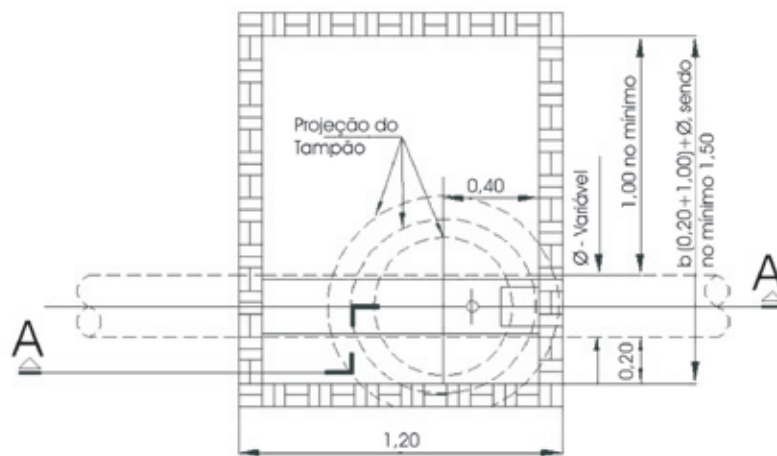


Figura 9 – Vista em planta de uma caixa abrigo de EP

4. Utilização do calibre para levantamento do diâmetro real da tubulação e projeção do TAP

Dentre os dados que são utilizados nos levantamentos pitométricos para obtenção da vazão, encontra-se o diâmetro real da tubulação e a projeção do Tap no interior da tubulação.







Mesmo uma tubulação nova não apresenta o diâmetro perfeitamente igual ao nominal e no caso das tubulações mais antigas é possível a existência de incrustações que podem reduzir o seu diâmetro interno. Torna-se necessário, portanto, a determinação do diâmetro real do tubo, na seção onde está sendo feita a medição. Além disso, ao se instalar o registro de derivação, não raras vezes este se projeta para dentro da tubulação provocando uma redução na seção de escoamento. É necessária a determinação desta projeção para efetuar as correções necessárias na área da tubulação.

Para os levantamentos do diâmetro real da tubulação e a projeção do Tap é utilizado o equipamento denominado de *cálibre* ou *galgador*. É um instrumento semelhante ao Pitot, tanto em aparência, como em procedimentos de instalação. A diferença fundamental é que este equipamento possui no interior da haste um só tubo metálico e na extremidade o gancho de calibração.



Figura 10 – Vista de um calibre, ou galgador

As fotografias a seguir demonstram os procedimentos para a utilização do calibre.

PASSO 1	PASSO 2	PASSO 3
		
Roscar o corpo do calibre no Tap	Abrir o Tap	Inserir o calibre na tubulação, até sentir que o gancho encostou no fundo
PASSO 4	PASSO 5	PASSO 6
		
Ajustar o índice, apertando manualmente o parafuso de fixação	Suspender parcialmente a haste e abrir o gancho	Suspender totalmente a haste até sentir que o gancho encostou na tubulação

PASSO 7	PASSO 8	PASSO 9
		
Medir a distância na haste desde o corpo do galgador até o parafuso de referência. Esta medida é a distância de tubo a tubo (diâmetro real da tubulação)	Introduzir a haste e fechar parcialmente o gancho (ângulo de 45°)	Suspender totalmente a haste até sentir que o gancho encostou na borda do Tap. Medir a distância na haste desde o corpo do galgador até o parafuso de referência. Esta medida é a distância de tubo a Tap

Observação

Note-se que para a determinação do diâmetro real da tubulação devem ser acrescentados 20 mm, referente ao comprimento do gancho. A figura abaixo ilustra o exposto:

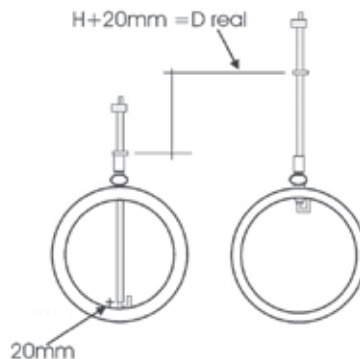


Figura 11 – Comprimento do gancho (a acrescentar no diâmetro medido do tubo)




5. Determinação do fator de velocidade – FV

Considerando-se que nas medições de velocidade o tubo Pitot é posicionado no centro da seção transversal da tubulação, para a velocidade neste ponto ser representativa do escoamento é necessário determinar o que chamamos “*fator de velocidade*”.






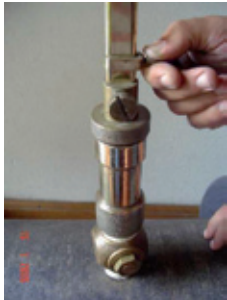
Para se obter o fator de velocidade é necessária a obtenção da velocidade em diversos pontos da seção transversal, visando obter uma curva típica representativa da velocidade do escoamento no conjunto da seção transversal que está sendo medida. Para o levantamento da curva de velocidades da tubulação será utilizado o tubo Pitot e no item 6.1 está descrito o procedimento de instalação do mesmo.





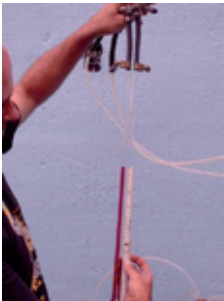
5.1 Procedimento de instalação do tubo Pitot

As figuras a seguir demonstram passo a passo os procedimentos de instalação do tubo Pitot na estação pitométrica.

PASSO 1	PASSO 2	PASSO 3
		
Rosquear a base do tubo Pitot no registro de derivação (Tap) onde se pretende fazer as medições	Acoplar as mangueiras aos tubos de transmissão do Pitot, com os estranguladores fechados	Colocar o líquido manométrico no tubo “U” CUIDADO: Realizar esta operação sem derramar o líquido

Ensaio pitométricos

PASSO 4	PASSO 5	PASSO 6
		
Instalar o tubo "U" nas mangueiras com bastante cuidado para não quebrá-lo	Apertar manualmente as presilhas	Girar o miolo do Tap para a posição "aberto" com o auxílio de uma chave
PASSO 7	PASSO 8	PASSO 9
		
Soltar o parafuso de fixação da haste e introduzi-la com os tips fechados até o fundo da canalização, tomando cuidado para que os mesmos não sofram impacto na parede do tubo		Com uma das mãos desloca-se o cursor até a origem de referência, fixando-o nesta posição, sendo que a outra mão deverá segurar firmemente a haste
Obs.: Quando a haste do tubo Pitot estiver introduzida na tubulação com o parafuso de fixação solto, esta deverá estar SEMPRE segura pelas mãos, para evitar que a pressão não provoque um deslocamento acidental danificando os tips ou até mesmo um acidente.		

PASSO 10	PASSO 11	PASSO 12
		
<p>Puxar levemente a haste e abrir os tips. Verificar o perfeito alinhamento dos mesmos com o eixo do tubo</p>		<p>Ajustar a altura de penetração para o ponto desejado (veja item 6.2)</p>
PASSO 13	PASSO 14	
		
<p>Remover o ar das mangueiras. Para tanto regule alternadamente os estranguladores da mangueira</p>	<p>Medir a deflexão do líquido.</p>	

5.2 Determinação dos pontos para a curva de velocidade

As técnicas de pitometria utilizam para a determinação do perfil de velocidades o método dos centróides de áreas iguais. Neste método se divide a seção do fluxo em cinco anéis com áreas iguais e consideram-se as velocidades em cada um destes anéis como sendo iguais. Pode-se demonstrar que o raio central de cada anel de mesma área é igual a 0,9487 R; 0,8367 R; 0,7071 R; 0,5477 R e 0,3162 R.

Alguns ajustes devem ser feitos para facilitar os trabalhos em campo, pois é impossível localizar a inserção do tubo Pitot nos pontos exigidos pelo método. Este ajuste consiste em localizar os pontos em 10 posições da seção (diâmetro dividido por 10) e posteriormente traçando-se a curva em planilhas especiais ou por cálculo matemático obtém-se o valor da velocidade considerando o raio do anel de mesma área.

Assim, a curva de velocidades é obtida ao longo da seção da tubulação, em dez posições de inserção do Pitot, sendo cada ponto correspondente a 1/10 do diâmetro (diâmetro dividido por dez).

O líquido pitométrico a ser utilizado deve ser tal que permita deflexões na faixa de 6 a 25 centímetros ao longo dos pontos de posicionamento do Pitot.

Para a seleção do líquido pitométrico recomenda-se posicionar inicialmente o tubo Pitot na posição central (diâmetro dividido por dois), e verificar a deflexão obtida, por exemplo, com líquido de densidade 2,90. A mesma deve situar-se entre 10 e 30 centímetros. Caso isto não ocorra, deve-se trocar o líquido por outro de menor densidade até a obtenção da deflexão na posição central entre a faixa apresentada.

Após a escolha do líquido pitométrico conveniente, procede-se conforme os passos descritos a seguir:

1º Passo: Dividir o diâmetro nominal (D) por dez: Por exemplo, tubulação de 500 mm: $500/10 = 50$ mm
2º Passo: Inserir o tubo Pitot até o fundo da tubulação, com os tips abertos.
3º Passo: Medir a deflexão do líquido pitométrico, anotando na planilha como ponto zero
4º Passo: Deslocar a haste do Pitot em D/10 (Para o exemplo, 50 mm)
5º Passo: Medir a deflexão do líquido pitométrico, anotando na planilha como ponto D/10
6º Passo: Deslocar a haste do Pitot em D/10
7º Passo: Medir a deflexão do líquido pitométrico, anotando na planilha como ponto 2 x D/10
8º Passo: Repetir os passos 6 e 7 até o fim de curso da haste do Pitot.

Observação

No apêndice A é fornecido um modelo de planilha que pode ser utilizado para o traçado da curva de velocidades. Os exemplos a seguir utilizam esta planilha para demonstração de sua utilização.

Exemplo

Determinação da curva de velocidades em Estação Pitométrica implantada em tubulação de 200 mm.

- Utilizando-se o calibre determinaram-se as seguintes medidas:
Distância de Tubo a Tubo (diâmetro real): 202 mm
Distância de Tubo a Tap: 197 mm
- Após a instalação do tubo Pitot, ele foi posicionado no centro da tubulação e escolhido o líquido de densidade 1,25 para os levantamentos.
- O tubo Pitot foi posicionado ao longo da tubulação em intervalos de 20 mm (diâmetro nominal dividido por 10), tendo-se obtido em cada posição as seguintes deflexões:

Ponto 0 (Fundo da tubulação): Posição Zero; deflexão 85 mm
 Ponto 1: Posição 20; Deflexão 96 mm
 Ponto 2: Posição 40; Deflexão 106 mm
 Ponto 3: Posição 60; Deflexão 117 mm
 Ponto 4: Posição 80; Deflexão 124 mm
 Ponto 5: Posição 100; Deflexão 128 mm
 Ponto 6: Posição 120; Deflexão 126 mm
 Ponto 7: Posição 140; Deflexão 121 mm
 Ponto 8: Posição 160; Deflexão 114 mm
 Ponto 9: Posição 180; Deflexão 103 mm
 Ponto 10: Posição 202; Deflexão 95 mm

CURVA DE VELOCIDADE PITOMETRIA

LOCAL: Exemplo guia prático de pitometria **CODIGO DA EP:** 9999

DATA: 99/99/99 **HORÁRIO:** 00:00 **RESPONSÁVEL:**

ADUTORA/SUB-ADUTORA: **DENSID.** 1,25 **DN** 200 mm.

LEITURA: TUBO A TUBO 202 + 20 = 222 mm. **LEITURA: TUBO A TAP** 197 + 20 = 217 mm.

PROJEÇÃO DO TAP: 5 mm

POSIÇÃO PITOT	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	202
DEFLEXÃO	85	96	106	117	124	128	126	121	114	103	95

Figura 12 – Exemplo de formulário para obtenção da curva de velocidades na EP

5.3 Cálculo do fator de velocidade

Estando determinadas as deflexões do líquido pitométrico em cada ponto de inserção do Pitot, passa-se a seguir ao traçado da curva de velocidade. Os pontos devem ser plotados na curva apresentada no formulário especial. Para tanto se deve configurar a melhor escala para o eixo “X”, de maneira a contemplar todas as deflexões observadas. Após definida a escala, traça-se os pontos nas linhas cheias horizontais que representam cada ponto das dez partes em que foi dividida a tubulação. Unindo-se os pontos, traça-se a curva de velocidades.

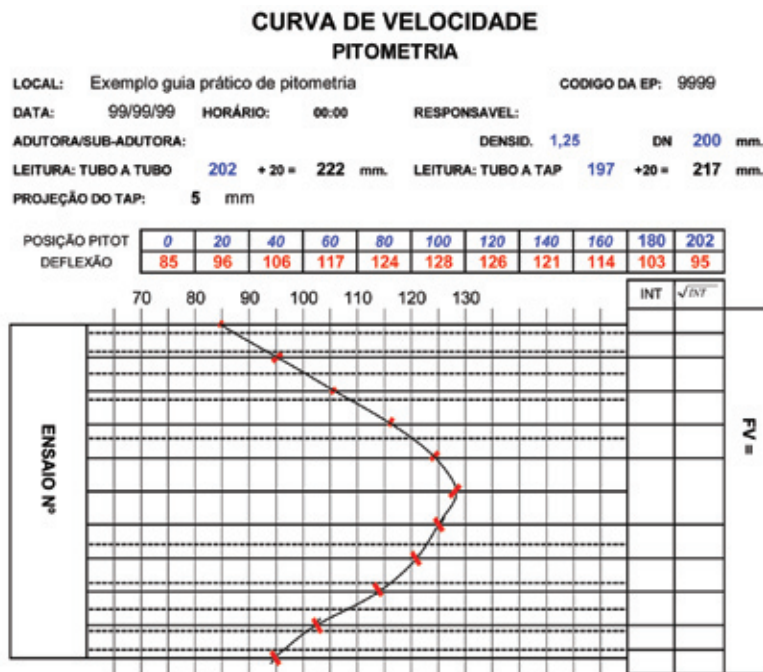


Figura 13 – Exemplo de traçado de curva de velocidade

Observar que no eixo X do gráfico, para a representação da deflexão medida no tubo “U”, foi criada uma escala variando de 70 a 130 mm, com cada linha vertical do gráfico representando 5 mm.

Para calcular o Fator de Velocidade, deve-se determinar os pontos em que a curva de velocidades intercepta as linhas pontilhadas horizontais (correspondentes aos raios dos centróides de áreas iguais), conforme destacado na figura 14. Para o exemplo são obtidos os seguintes valores para os pontos de cruzamento:

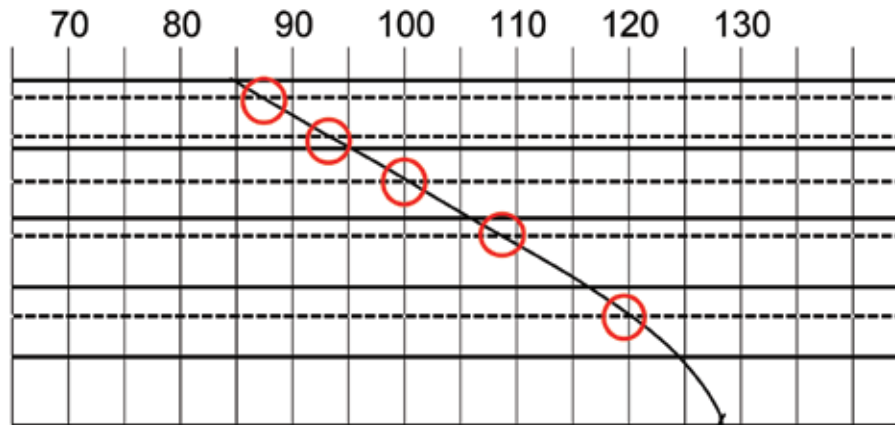


Figura 14 – Detalhes da intersecção da curva com as linhas pontilhadas

CURVA DE VELOCIDADE PITOMETRIA

LOCAL: Exemplo guia prático de pitometria

CODIGO DA EP: 9999

DATA: 99/99/99

HORÁRIO: 00:00

RESPONSÁVEL:

ADUTORA/SUB-ADUTORA:

DENSID. 1,25

DN 200 mm.

LEITURA: TUBO A TUBO 202 + 20 = 222 mm.

LEITURA: TUBO A TAP 197 + 20 = 217 mm.

PROJEÇÃO DO TAP: 5 mm

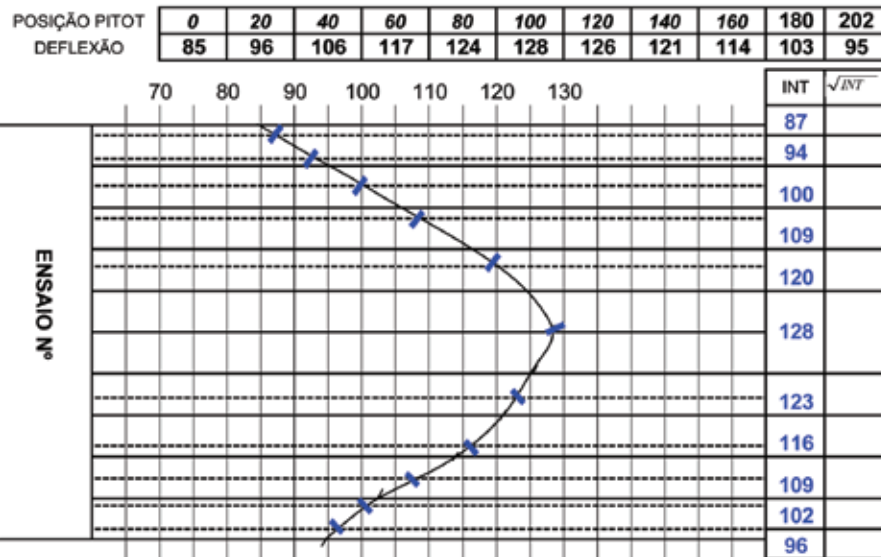


Figura 15 – Obtenção de valores de deflexão nas intersecções

O próximo passo é anotar, na coluna ao lado dos valores das deflexões nos cruzamentos, o valor da raiz quadrada destes valores (veja a figura 16).

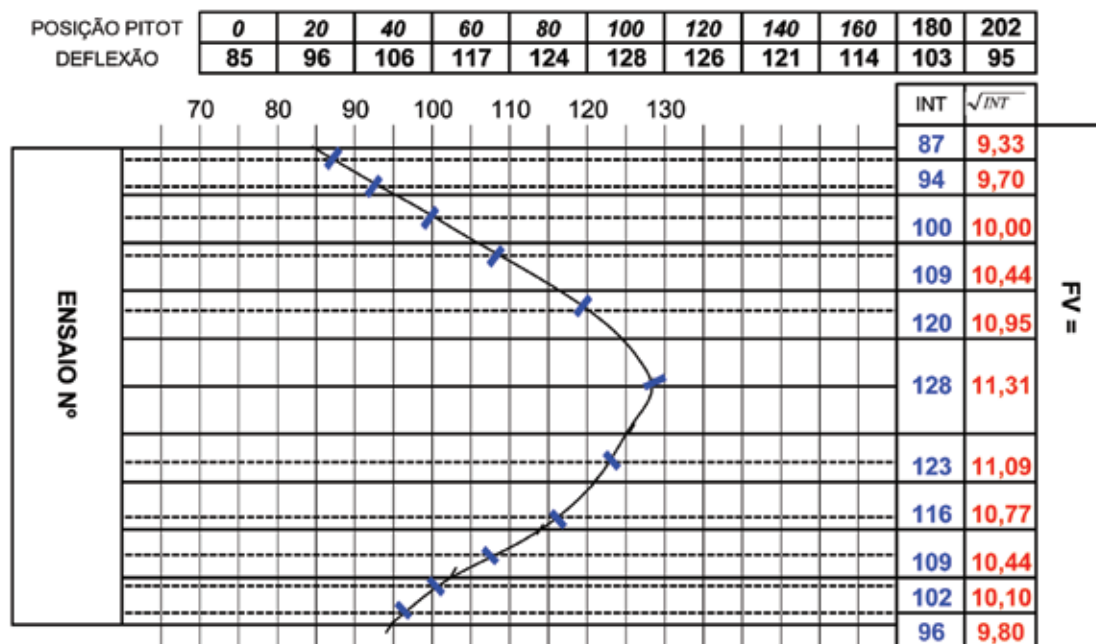


Figura 16 – Cálculo das raízes quadradas dos valores das intersecções

O FATOR DE VELOCIDADES é calculado da seguinte forma: soma-se os valores da raiz das deflexões obtidas excluindo-se a da velocidade central e divide-se por dez. Divide-se o valor obtido pela raiz da velocidade central. A fórmula abaixo resume esta descrição:

$$FV = \frac{\sum \sqrt{H}}{10} \times \frac{1}{\sqrt{H_{central}}}$$

Para o exemplo:

$$FV = \frac{9,33 + 9,7 + 10 + 10,44 + 10,95 + 11,09 + 10,77 + 10,44 + 10,1 + 9,8}{10} \times \frac{1}{11,3} = 0,9073$$

Cuidados na obtenção da curva de velocidades – FV

- certificar-se de que não há ar nos instrumentos de medição;
- o líquido manométrico deve ser selecionado para apresentar (preferencialmente) um diferencial entre 100 e 300 mm com as tomadas de pressão – tips – posicionadas no centro da tubulação;
- durante a construção da curva de velocidade a vazão deverá permanecer constante. A fim de comprovar isto, deve-se voltar a ler o diferencial de pressão no centro, após a leitura do último ponto. Os dois diferenciais do centro devem ser iguais;
- em redes de abastecimento, a obtenção das deflexões deve ser realizada no menor espaço de tempo possível;
- toda vez que for levantada a curva de velocidade, deverão ser realizados quatro testes, de preferência com vazões diferentes em cada teste. Deverá ser medida a deflexão máxima e mínima em cada ponto e a média destas deflexões é que será plotada no gráfico.

Experiências em laboratórios indicam que um desvio de até 10 %, em ambas as direções no alinhamento do Pitot, não altera a medida dos diferenciais.

Quando o ponto de medição apresentar curva anormal, apresentará diferentes valores de FV para diferentes vazões. Neste caso utilizar este ponto somente para medição de pressão; caso não seja necessário medir pressão, o ponto de medição deverá ser abandonado.

6. Determinação da constante pitométrica – K_{ep}

A constante pitométrica (K_{ep}) é um valor que caracteriza cada estação pitométrica. Esta constante é utilizada para o cálculo de vazão.

A constante pitométrica é calculada pela seguinte fórmula:

$$K_{ep} = C_d \times C_{proj} \times S_c \times FV_{médio}$$

Onde:

Q = Vazão
 K_{ep} = Constante da estação pitométrica
 C_d = Correção do diâmetro
 C_{proj} = Correção pela projeção do Tap
 S_c = Área corrigida
 $FV_{médio}$ = Fator de velocidade médio

Veremos a seguir como se calculam os coeficientes que multiplicam o $FV_{médio}$.

6.1 Fator de correção do diâmetro

Para se proceder ao cálculo do fator correção do diâmetro, utiliza-se o diâmetro real da tubulação. O fator e correção do diâmetro é calculado pela seguinte fórmula:

$$C_d = (\text{Diâmetro Real} / \text{Diâmetro Nominal})^2$$

Onde:

Diâmetro real = diâmetro determinado com a utilização do calibre (leitura tubo a tubo)
 Diâmetro nominal = diâmetro nominal da tubulação

Exemplo:

Estação pitométrica instalada em tubulação de 250 mm. A leitura de tubo a tubo no cálibre foi de 254 mm:

$$Cd = \left(\frac{254}{250} \right)^2 = 1,03226$$

6.2 Fator de correção pela projeção do Tap – C_{proj}

Dentre as determinações feitas com a utilização do cálibre, é feita a medição da distância tubo a Tap.

O valor da distância de tubo a tubo menos a distância de *tubo a Tap* resulta no valor denominado de projeção do Tap.

A Tabela 1 contém os valores do fator de correção devido à projeção do Tap, de acordo com o diâmetro nominal da tubulação e a projeção medida.

TABELA 1 – CORREÇÃO PELA PROJEÇÃO DO TAP

PROJ. (mm)	DIÂMETRO				
	100	150	200	250	300
01	0,9965	0,9984	0,9992	0,9995	0,9996
02	0,9931	0,9968	0,9985	0,9989	0,9993
03	0,9896	0,9953	0,9977	0,9984	0,9989
04	0,9862	0,9937	0,9969	0,9979	0,9986
05	0,9867	0,9921	0,9961	0,9974	0,9982
06	0,9792	0,9905	0,9954	0,9968	0,9979
07	0,9758	0,9889	0,9946	0,9963	0,9975
08	0,9723	0,9874	0,9938	0,9958	0,9971
09	0,9688	0,9858	0,9930	0,9953	0,9968
10	0,9654	0,9842	0,9923	0,9947	0,9964
11	0,9619	0,9826	0,9915	0,9942	0,9961
12	0,9585	0,9810	0,9908	0,9937	0,9957
13	0,9550	0,9795	0,9900	0,9931	0,9954

PROJ. (mm)	DIÂMETRO				
	100	150	200	250	300
14	0,9515	0,9779	0,9892	0,9926	0,9950
15	0,9481	0,9763	0,9885	0,9921	0,9946
16	0,9446	0,9747	0,9877	0,9916	0,9943
17	0,9411	0,9732	0,9869	0,9911	0,9939
18	0,9377	0,9716	0,9861	0,9905	0,9936
19	0,9342	0,9700	0,9854	0,9900	0,9932
20	0,9308	0,9684	0,9846	0,9895	0,9929

Exemplo:

Estação pitométrica instalada em tubulação de 200 mm. A leitura de tubo a tubo no calibre foi de 202 mm e leitura de tubo a Tap, 197 mm. A projeção do Tap equivale a:

$$202 \text{ mm} - 197 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

Consultando a tabela, para diâmetro de 200 e projeção de 5 mm, tem-se o valor para o fator de correção pela projeção do Tap (C_{proj}) de 0,9961.

6.3 Área corrigida

A área corrigida da seção pode ser determinada pela Tabela 2, de acordo com o diâmetro nominal da tubulação. A correção da área da seção é necessária devido à introdução da haste do tubo Pitot representar uma diminuição da área real da seção onde se está medindo.

TABELA 2 – CORREÇÃO DA ÁREA PELA PROJEÇÃO DA HASTE DO PITOT

DIAM. NOMINAL (mm)	ÁREA NOMINAL (m²)	ÁREA CORRIGIDA (m²)
75	0,00442	0,004418
100	0,00785	0,007527
125	0,01227	0,012506
150	0,01767	0,017188
200	0,03142	0,030673
250	0,04909	0,048105
275	0,05940	0,058786
300	0,07069	0,069467
350	0,09621	0,094749
375	0,11045	0,108897
400	0,12566	0,123961
450	0,15904	0,157103
500	0,19635	0,194175
550	0,23758	0,235200
600	0,28274	0,280088
650	0,33173	0,328973
700	0,38485	0,381722
750	0,44179	0,438424
800	0,50265	0,499051
900	0,63617	0,632090
1000	0,78540	0,780843
1050	0,86590	0,861125
1100	0,95033	0,945337
1200	1,13097	1,125461
1250	1,22729	1,221443
1500	1,76715	1,760212
1750	2,40528	2,397151
1800	2,54469	2,536370
2000	3,14159	3,132271

Exemplo:

Para uma tubulação de 250 mm, a área corrigida (S_c) é igual a 0,048105m², enquanto que o valor desta área sem nenhuma correção é igual a 0,04909 m².

6.4 Exemplo do cálculo da constante pitométrica – K_{ep}

Como já foi visto,

$$K_{ep} = C_d \times C_{proj} \times S_c \times FV_{médio}$$

Para exemplificar o cálculo da constante pitométrica, será utilizado o exemplo dado no cálculo do FV, em que:

$$FV_{médio} = 0,9073$$

Como no exemplo somente foi obtida uma curva de velocidade, esta será utilizada como se fosse a média obtida para o FV (por isso se chama FV médio). Na determinação real deve-se realizar no mínimo 4 (quatro) curvas de velocidade e portanto a determinação de 4 fatores de velocidade. Deve-se usar neste caso a média entre os quatro valores obtidos de FV.

Obtém-se o valor de S_c na Tabela 2, para o diâmetro de 200 mm, que estamos exemplificando:

$$S_c = \text{Área Corrigida} = 0,030673$$

Para a obtenção de C_d , correção do diâmetro, como já foi visto, usa-se a fórmula,

$$C_d = (\text{Diâmetro Real} / \text{Diâmetro Nominal})^2$$

Para o nosso exemplo, $C_d = (200/197)^2$, e então,

$$C_d = \text{Correção do diâmetro} = 1,0201$$

Para obter-se o fator de correção devido à projeção do Tap, consulta-se a Tabela 1, no nosso exemplo, considerando-se uma projeção de 5 mm e diâmetro nominal de 200 mm para a tubulação. Daí obtém-se:

$$C_{\text{proj}} = \text{Correção pela projeção do Tap} = 0,9961$$

Desta forma pode-se finalmente calcular a constante da estação pitométrica:

$$K_{\text{ep}} = 0,9073 \times 0,030673 \times 1,0201 \times 0,9961 = 1,0453$$

Normalmente considera-se uma constante calculada desta forma como válida para o período de um ano. Depois deste prazo, recomenda-se obter a constante novamente.

7. Determinação de vazão instantânea com o tubo Pitot

Uma vez determinada a constante de uma Estação Pitométrica, a medição de vazão naquele ponto passará a depender somente de medidas de deflexão por meio do tubo Pitot, no centro da tubulação. Ou quase isso: será também necessário **corrigir a densidade** do líquido manométrico, caso se utilize um tubo U para as medidas de deflexão. Utilizando-se um *data logger* com sensor de pressão diferencial, obviamente isto não será necessário.

Para o caso de cálculo de vazão com tubo U e líquido manométrico, a vazão será obtida por meio da seguinte fórmula:

$$Q = V_{\text{central}} \times K_{\text{ep}} \times C_{\text{dens}}$$

Onde:

- Q = vazão em m³/s
- V_{central} = velocidade medida com o Pitot no centro da tubulação
- K_{ep} = constante da estação pitométrica
- C_{dens} = Correção da densidade

7.1. Determinação da velocidade central – V_{central}

A determinação da velocidade central deve ser efetuada com os seguintes procedimentos:

- Com as tomadas de pressão posicionadas no centro da tubulação (D/2) executam-se 21 medidas de deflexão, espaçadas de 15, 30 ou 60 segundos, uma das outras, conforme o tipo de ensaio a ser realizado. Anotam-se no impresso adequado os valores lidos.
- Com esses valores determina-se, através da tabela de velocidades para Pitot do tipo cole (Apêndice B), os 21 valores das velocidades relativas às 21 deflexões medidas.
- A média dos 21 valores de velocidades é que será usada no cálculo da vazão.

Os cuidados abaixo **devem ser observados** para melhor precisão dos resultados:

- Observar se os tips do tubo Pitot estão alinhados corretamente com o centro da tubulação.
- As leituras do diferencial de pressão deverão ser feitas espaçadas a cada 15, 30 ou 60 segundos, conforme o ensaio a ser realizado.

- É imprescindível que o tubo Pitot seja girado à 180° no início ou na metade do teste.
- Quando se obtiver deflexões menores ou iguais a 60 mm, providenciar a troca do líquido manométrico por outro de densidade menor.

Em substituição aos valores de velocidade tabelados, pode-se determinar a velocidade a partir da deflexão aplicando-se a fórmula abaixo:

$$V = (0,8762 - 0,0274 \text{ Log } VT) \times VT$$

Sendo:

$$VT = \sqrt{2gh \times (dens - 1)}$$

Onde:

VT = velocidade teórica

dens = densidade do líquido

g = aceleração da gravidade local

h = deflexão do tubo U em metros

V = velocidade em metros/segundo

7.2 Fator de correção da densidade – C_{dens}

A correção da densidade do líquido pitométrico é feita comparando-se os valores de densidade nominal e real do líquido, através da seguinte fórmula:

$$C_{dens} = \sqrt{\frac{D_{real} - 1}{D_{nom} - 1}}$$

Onde:

C_{dens} = fator de correção da densidade

D_{real} = densidade real do líquido pitométrico

D_{nom} = densidade nominal do líquido pitométrico

7.3 Determinação da densidade real do líquido pitométrico

É muito importante a correta determinação da densidade do líquido pitométrico utilizado nos ensaios. Grandes variações de temperatura e presença de impurezas podem alterar a densidade de líquido.

Esta correção pode ser facilmente executada em campo, comparando-se as distâncias entre os meniscos do líquido e da água, estando o tubo exposto à pressão atmosférica. A seguinte fórmula é utilizada:

$$D_{\text{real}} = \text{Densidade real do líquido} = 1 + A / L$$

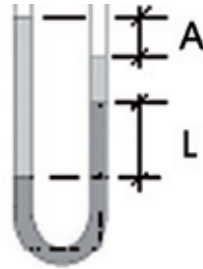


Figura 17 – Diferencial de água e de líquido manométrico no tubo U

Onde:

A = Distância entre os meniscos da água

L = Distância entre os meniscos de líquido manométrico

Imediatamente após o término dos testes de campo, desconectar o tubo “U” das mangueiras e, na posição vertical, fazer leituras sucessivas, tanto do diferencial de água (A) como do diferencial do líquido (L) conforme pode ser visualizado na figura abaixo:

Na prática recomenda-se que sejam realizadas 7 leituras, exceção feita ao mercúrio que não precisa ser corrigido. Obtida a média da densidade real em 7 leituras, aplica-se a fórmula dada para cálculo de C_{dens} (fator de correção da densidade).

Para a obtenção de valores diferentes de deflexões entre uma leitura e outra, deverá ser retirada uma parcela de água do lado do tubo que contiver uma coluna maior e somente deste lado para as demais leituras.

A correção da densidade deve sempre ser feita uma vez que as tabelas prontas que relacionam a deflexão do líquido com a velocidade foram calculadas para densidades padronizadas, difíceis de obter na prática com precisão.

7.4 Exemplo de cálculo da vazão instantânea

A seguir se exemplifica um cálculo completo de vazão instantânea. O cálculo foi realizado com uma planilha eletrônica, utilizando-se as equações e critérios apresentados neste manual.

Vamos supor que os dados obtidos em campo em uma estação pitométrica implantada em rede de diâmetro nominal 250 mm, foram:

1. Distância de tubo a tubo: 232 mm
2. Distância de tubo a Tap: 225 mm
3. Deflexões obtidas no levantamento de 4 curvas de velocidades:
4. Posição Zero mm: 29, 27, 28, 26
5. Posição 25 mm: 76, 78, 79, 77
6. Posição 50 mm: 115, 113, 114, 113
7. Posição 75 mm: 140, 138, 139, 137
8. Posição 100 mm: 155, 153, 154, 152
9. Posição 125 mm: 163, 161, 162, 163
10. Posição 150 mm: 158, 156, 157, 155
11. Posição 175 mm: 144, 140, 142, 141
12. Posição 200 mm: 121, 120, 121, 119

13. Posição 225 mm: 95, 98, 96, 97

14. Posição 250 mm: 70, 72, 69, 71

E para correção da densidade do líquido pitométrico foram:

1. Água: 40 Líquido: 165

2. Água: 50 Líquido: 200

3. Água: 55 Líquido: 225

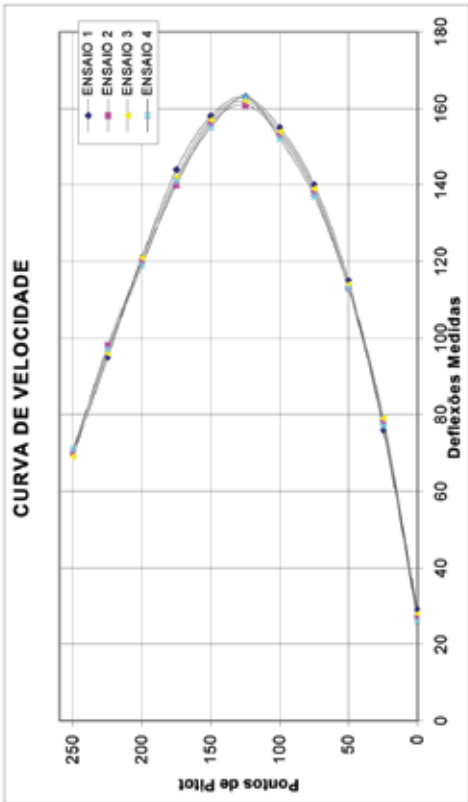
4. Água: 60 Líquido: 245

5. Água: 65 Líquido: 260

A figura 18 a seguir mostra a planilha utilizada para o cálculo do Fator de Velocidade e constante pitométrica K_p .

CURVA DE VELOCIDADE PITOMETRIA

EXEMPLO DE ENSAIO PITOMÉTRICO													
LOCAL	14-05-04		HORÁRIO		10:00		a		11:00		RESPONSÁVEL		
DATA	ADUTORAS/SUB-ADUTORA		ADUTORA DN 250		DENSID		1,25		DN		PM\$S		
	LEITURA - TUBO A TUBO		232		+ 20 =		252		mm.		250		
	PROJEÇÃO DO TAP:		7		LEITURA - TUBO A TAP		225		+20 =		245		
PONTOS DO PITOT:			0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
DEFLEXÕES			29	76	115	140	155	163	158	144	121	95	70
MEDIDAS			27	78	113	138	153	161	156	140	120	98	79
ENSAIO 3			28	79	114	139	154	162	157	142	121	96	69
ENSAIO 4			26	77	113	137	152	163	155	141	119	97	71



CÁLCULOS DO FATOR DE VELOCIDADE (FV)

ensaio 1		ensaio 2		ensaio 3		ensaio 4	
PONT.	RAIZ	PONT.	RAIZ	PONT.	RAIZ	PONT.	RAIZ
76,415	8,742	77,154	8,7855	75,928	8,7137	77,071	8,8131
90,417	9,509	92,868	9,6368	91,051	9,5421	92,234	9,6039
107,076	10,348	108,218	10,403	107,812	10,374	107,218	10,355
127,012	11,270	125,228	11,191	126,489	11,247	124,751	11,169
149,864	12,242	146,702	12,112	148,283	12,177	146,864	12,119
163,000	12,767	161,000	12,689	162,000	12,728	163,000	12,767
148,263	12,085	144,263	12,012	145,263	12,053	143,263	11,97
121,535	11,024	119,535	10,933	120,535	10,979	119,273	10,921
94,114	9,701	94,256	9,7086	95,256	9,7599	93,721	9,6809
67,385	8,208	68,652	8,2856	69,652	8,3458	67,652	8,2251
41,059	6,408	40,085	6,3313	41,085	6,4098	39,086	6,2519
FV(MÉDIO)		FV(1) =		FV(2) =		FV(3) =	
		0,7797		0,7834		0,7825	
						FV(4) =	
						0,7763	
						FV(MÉDIO) =	
						0,7805	
Sc = 0,048		C _{dist} = 1,016064		C _{proj} = 0,9963		K _{ap} = 0,03801	

Figura 18 – Aspecto da planilha eletrônica preparada para cálculo da constante da estação pitométrica

MEDICÃO INSTANTÂNEA DE VAZÃO - PITOMETRIA				SISTEMA:	
LOCAL: EXEMPLO ADUTORA/SUBADUTORA: ADUTORA DN 250 CÓDIGO: 30 EM 30 EXECUTADO POR: DATA: 14-05-04 INÍCIO: 10:00 hs FIM: 11:00 hs					
TESTE Nº 1	COTA GER. SUP.:	MAC. MARCA:			
EP. CÓDIGO:	DENSIDADE:	1,25		MAN. Nº:	
PITOT Nº: COLLE	SENT. DE ESCO:	ESCALA:			
DIÂMETRO 250	Kap-SorvCoCp:	0,03801		ALTURA (H):	

DEFLEXÃO (cm)	VELOCIDADE CENTRAL (m/s)	PRESSÃO (mca)	CORREÇÃO DA DENSIDADE	
			LEITURA (cm)	QUOCIENTE
15,2	0,758	45,0	4,0	0,242
15,8	0,772	46,0	16,5	
15,4	0,763	46,0	5,0	0,250
15,3	0,760	15,5	20,0	
16,2	0,782	16,5	5,5	0,244
16,3	0,784	47,0	22,5	
16,5	0,789	49,0	6,0	0,245
16,4	0,787	48,0	24,5	
16,7	0,794	41,0	6,5	0,250
15,9	0,775	45,0	26,0	
16,3	0,784	42,0	MÉDIA	0,246
16,7	0,794	42,0		
16,2	0,782	45,0		
16,1	0,779	46,0		
14,5	0,740	45,0		
14,5	0,740	47,0		
15,4	0,763	47,0		
15,9	0,775	48,0		
16,8	0,796	45,0		
16,7	0,794	46,0		
TOTAL	15,510	43,0		
MÉDIA	0,776	42,6		

OBSERVAÇÃO	
------------	--

RESPONS.:	CALCUL:	VERIFIC.:
-----------	---------	-----------

Figura 19 – Aspecto da planilha eletrônica preparada para cálculo de vazão instantânea na EP com constante já calculada

8. Equipamentos registradores

Neste capítulo serão apresentados registradores utilizados em sistemas de abastecimento de água juntamente com a utilização de estações pitométricas e tubos Pitot. Uma aplicação típica para estes equipamentos é a obtenção de histogramas de vazão. Quando se deseja um registro contínuo da vazão ao longo do tempo, são utilizados acoplados ao tubo Pitot de modo que possibilitem a medição e armazenamento de pressão diferencial. Estes equipamentos são de dois tipos, denominados na prática de registrador gráfico e de registrador eletrônico (ou *data logger* de pressão diferencial).

8.1 Registradores gráficos

Os registradores gráficos são do tipo portátil, dotados de células de foles opostos metálicos denominadas de Dri-flo ou Barton.



Registrador Gráfico



Célula Barton

Figura 20

8.1.1 Princípio de funcionamento

No interior da célula Barton existe dois foles soldados a um eixo separador. O espaço entre os foles é preenchido com óleo para evitar que os foles se danifiquem quando é aplicada uma grande pressão estática. Cada fole situa-se numa câmara estanque. A pressão diferencial aplicada desloca o conjunto de foles. A movimentação do conjunto é transmitido para fora da célula por um sistema chamado de tubo de torção.

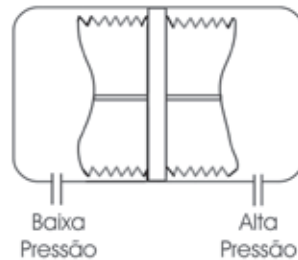


Figura 21 – Princípio de funcionamento da célula Barton

8.1.2 Características

Esses registradores são acoplados diretamente às tomadas de pressão do tubo Pitot através das mangueiras; possuem um gráfico circular de 10" ou 20" de diâmetro, com rotação completa ajustável em 96 minutos, 24 horas ou 7 dias através de um mecanismo de relojoaria.

Esse tipo de registro permite um acompanhamento de demanda dos sistemas de distribuição e adução durante as 24 horas, caracterizando os picos de consumo nesse intervalo.

Normalmente os registradores diferenciais utilizados em pitometria situam-se na faixa de 0 – 250 mm (0 a 10"), 0 – 500 mm (0 a 20") e 0 – 1.000 mm (0 – 40") de coluna de água.

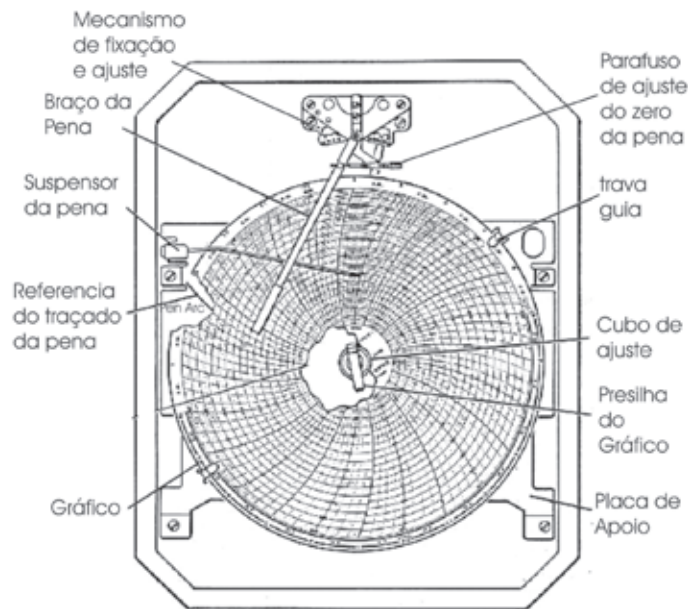


Figura 22 – Interior do registrador gráfico

8.1.3 Procedimentos de instalação – Registrador gráfico

Em função da velocidade de escoamento, selecionar o registrador diferencial para que o mesmo funcione entre 10 % e 90 % da escala. A limitação inferior é devida ao erro de escala que aumenta na medida em que decrescem as pressões diferenciais. A limitação superior se deve ao risco de ocorrências de picos de pressão diferenciadas acima do limite da faixa.

Uma vez selecionado o registrador, este deve ser aferido em bancada de teste, conforme procedimento que se descreverá adiante.

Os seguintes passos devem ser seguidos na instalação do equipamento:

1. Instalar o tubo Pitot na EP;
2. Acoplar o tubo “U” com líquido manométrico às mangueiras do tubo Pitot;
3. Retirar o ar das mangueiras;
4. Medir o diferencial no tubo “U”;
5. Girar o tubo Pitot em 180° e confirmar o diferencial. Se não houver diferenças nos diferenciais observados, desconectar o tubo “U” das mangueiras.

Nota:

O diferencial medido no tubo “U” servirá para verificar a calibração do registrador. Para esta verificação, compara-se o diferencial medido no líquido com o observado no registrador, utilizando a seguinte relação:

$$\text{Diferencial no registrador} = \text{diferencial medido} \times (\text{densidade do líquido} - 1)$$

Exemplo:

Diferencial medido no tubo “U” foi de 20 cm, com líquido manométrico de densidade 1,60. Isto representa no registrador um diferencial de 12 cm, já que:

$$\text{Diferencial do registrador} = 20 \times (1,60 - 1) = 12 \text{ cm}$$

6. Fazer a purga de ar do registrador deixando correr água por alguns segundos;
7. Abrir lentamente e de forma controlada os estranguladores para a purga do ar. Tomar cuidado para que a pena marque diferencial dentro do “range do aparelho” controlando a abertura para que isso aconteça;
8. Deixar correr água até que todo ar seja expelido, em seguida fechar de forma controlada os estranguladores de purga;
9. Fechar lentamente o equalizador. Se a pena começar a se deslocar para fora do “range”, abaixo do zero, isto significa que estão invertidas as tomadas de impacto e referência. Neste caso basta girar o tubo Pitot de 180° e o problema fica resolvido (Pitot Cole). Se a pena tender a sair do range, acima da escala, trocar o aparelho por outro de range maior.

Os registradores diferenciais de pressão são de fácil instalação, dispensam nivelamento preciso e podem ser instalados sobre ou ao lado das tubulações.

A distância entre a canalização e o “Dri-FLO”, deve ser inferior à **pressão mínima** na canalização, a fim de evitar pressões negativas no aparelho.

Não esquecer de dar corda no aparelho. Anotar no verso do gráfico: *número e endereço da EP; diâmetro da tubulação; número e range do registrador; dia e hora da instalação; número do tubo Pitot.*

Após o período de medição de 24h, retirar o gráfico anotando no verso *o dia e a hora da retirada.*

Analisar a marcação no gráfico verificando se não houve registros fora do range. Se houve registro de baixo diferencial trocar o registrador por outro de range menor e repetir a medição. Se houve registro de alto diferencial trocar o registrador por outro de range maior e repetir a medição.

Se a marcação não apresentou problemas, recolher o equipamento e transcrever no verso do gráfico dados e observações que julgadas necessárias. Levar o registrador para a oficina solicitando a aferição do mesmo, dentro da faixa em que o mesmo operou.

8.1.4 Leitura e interpretação do gráfico

Os gráficos circulares têm, linearmente impressos em toda sua área, círculos concêntricos e arcos radiais. Os círculos concêntricos representam a escala de valores registrados, no caso, pressão diferencial.

Para os gráficos de 10” cada divisão representa o diferencial de 2,54 milímetros.

Para os gráficos de 20” cada divisão representa o diferencial de 5,08 milímetros.

Os arcos radiais – arco dos tempos – indicam as horas e subdivisões horárias.

Geralmente os gráficos para 24 horas de revolução apresentam uma subdivisão horária de 15 minutos como espaço entre dois arcos;

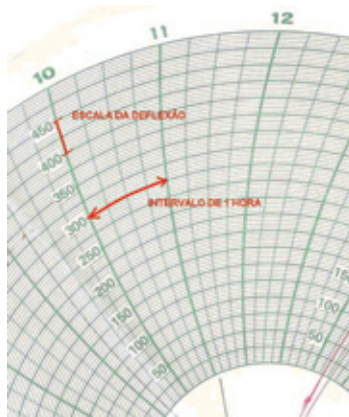


Figura 23 – Escalas em um gráfico circular de um registrador

Quando o registro no gráfico é uma linha constante, sem ondulações, a leitura dos diferenciais não apresentam problemas, pois esse valor é a própria linha, intercalada ou coincidente com os círculos concêntricos.

Esse tipo de registro acontece freqüentemente em adutoras e subadutoras.

Exemplo:

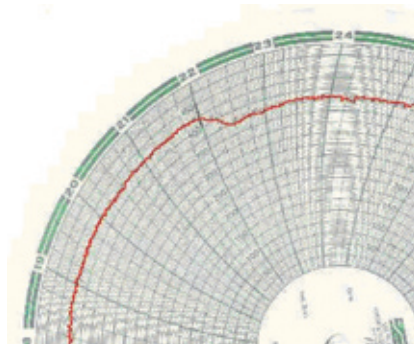


Figura 24 – Exemplo típico de um registro de pressão diferencial em uma adutora

Quando o registro gráfico apresenta-se sinuoso com os pontos de máximo e mínimo ao longo do período, como acontece com registradores instalados em linhas de distribuição, a leitura do gráfico oferece alguma dificuldade. Neste caso procede-se como descrito a seguir:

- a) Selecionar o período de leitura desejado. Normalmente é considerado um período de 1 hora. Entretanto, em determinados estudos, como o de aferição de hidrômetros, consideram-se subdivisões de até 15 minutos, utilizando-se até mesmo valores instantâneos em alguns casos.
- b) No intervalo de tempo considerado, traçar fracamente a lápis sobre o valor registrado uma linha paralela aos círculos concêntricos, de tal modo que a linha divida igualmente as áreas acima e abaixo do valor registrado. Esta linha traçada, visualmente, pode abranger qualquer período de tempo selecionado, entretanto, quanto menor esse período de tempo, maior será a precisão da leitura. O valor correspondente a essa linha divisória será então a média do período.

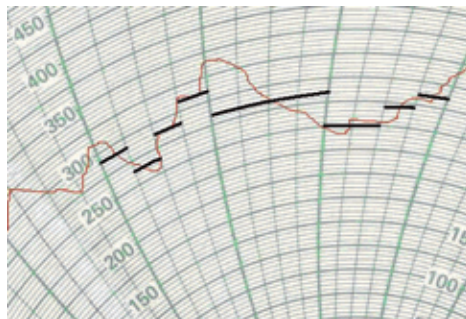


Figura 25 – Exemplo de registro de pressão diferencial em uma linha de distribuição

HISTOGRAMA DE VAZAO													
EP: 107-23		LOCAL: Elevatória EEA-03											
DIAM.: 500 mm		PITOT: PT 14		Kep: 0,1756									
REGISTRADOR: RG 07		FAIXA: 0 - 20"											
DATA INSTALAÇÃO:		/	/		:	hs	RETIRADA:		/	/		:	hs
PERÍODO		DEFLEXÃO (mm)			VELOCIDADE	VAZÃO							
		GRÁFICO	CORREÇÃO	FINAL	(m/s)	(m³/s)							
18:00	19:00	425	-2	423	2,486	0,4365							
19:00	20:00	425	-2	423	2,486	0,4365							
20:00	21:00	425	-2	423	2,486	0,4365							
21:00	22:00	425	-2	423	2,486	0,4365							
22:00	22:15	410	-1.5	408.5	2,441	0,4286							
22:15	22:30	390	0	390	2,388	0,4193							
22:30	23:00	380	-1	379	2,356	0,4137							
23:00	0:00	380	-1	379	2,356	0,4137							
0:00	01:00	380	-1	379	2,356	0,4137							
01:00	01:15	380	-1	379	2,356	0,4137							
01:15	01:30	385	0	385	2,374	0,4169							
01:30	01:45	380	-1	379	2,353	0,4132							
01:45	02:00	385	0	385	2,374	0,4169							
02:00	02:15	380	-1	379	2,353	0,4132							
02:15	02:45	385	0	385	2,374	0,4169							
02:45	03:00	315	1	316	2,155	0,3784							
03:00	03:15	260	2	262	1,965	0,3451							
03:15	04:00	265	2	267	1,983	0,3482							
04:00	04:15	205	0	205	1,741	0,3057							
04:15	04:30	175	0	175	1,611	0,2829							
04:30	05:15	170	0	170	1,586	0,2785							
05:15	05:30	205	0	205	1,741	0,3057							
05:30	06:00	230	1	231	1,846	0,3242							
VAZÃO MÁXIMA (m³/s)		0,4365		OBSERVAÇÕES									
VAZÃO MÍNIMA (m³/s)		0,2785											
VAZÃO MÉDIA (m³/s)		0,3867											
VOLUME (m³)		33,413											

Figura 26 – Exemplo de planilha para um registro de vazão gráfico de pressão diferencial

Para se obter a vazão através do diferencial de pressão registrado no gráfico, deve-se primeiramente tomar alguns cuidados:

- Fazer aferição do registrador na faixa em que operou;
- Analisar as escalas do gráfico verificando se está em acordo com o *range* do registrador: gráficos de 10" para registradores com *range* de 0 a 10" (0 a 254 mm) e gráficos de 20" para registradores com *range* de 0 a 20" (0 a 508 mm);
- Fazer a leitura do gráfico em intervalos de tempo de acordo com a sinuosidade do registro, quanto mais sinuoso for o registro menor será o intervalo tomado para leitura;
- Fazer as leituras e transformá-las em mm;

A leitura final do diferencial de pressão considerado, em mm, para se obter a velocidade em m/s, em tabelas apropriadas é dada por:

$$\text{Leitura final} = \text{Leitura do gráfico} \pm \text{erro do registrador}$$

8.1.5 Aferição e calibração

8.1.5.1 Construção da régua de aferição

Para proceder a aferição e calibração do registrador gráfico de diferencial de pressão, deve-se construir a régua de aferição, conforme descrição a seguir:

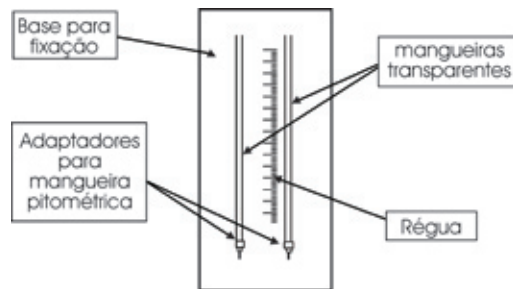


Figura 27 – Régua de calibração do registrador gráfico

BASE DE FIXAÇÃO: Prancha de madeira;

MANGUEIRAS TRANSPARENTES: Mangueira plástica transparente (mangueiras de nível). Devem ser fixadas à base por abraçadeiras. As mangueiras deverão estar abertas na parte superior;

RÉGUA: Pode ser utilizada régua metálica ou mesmo fita métrica, fixada à base;

ADAPTADORES PARA MANGUEIRA: Adaptadores de pitometria para conexão de mangueiras.

8.1.5.2 Procedimentos de aferição

A aferição e calibração do registrador se faz reproduzindo com o auxílio da régua, as condições de diferencial de pressão em campo. Para tanto, os seguintes procedimentos devem ser seguidos:

- Conectar as mangueiras do registrador aos adaptadores das mangueiras plásticas da régua;
- Encher ambas as mangueiras com água, procurando realizar o enchimento de maneira similar nos dois tramos. Em função deste procedimento, recomenda-se a instalação da régua próxima a local com disponibilidade de torneira.
- Através das mangueiras de purga do aparelho, proceder à retirada de ar da célula. Sendo necessário repor a coluna de água.
- Após certificar-se de que todo ar da célula e mangueira foi expulso, equalizar o nível da coluna de água nas mangueiras no nível ZERO, para tanto manobrando os estranguladores das mangueiras de purga;
- Após equalizar os níveis na posição zero, ou próximo desta, fechar o equalizador da célula.
- A mangueira conectada à tomada de referência do aparelho deve ter o nível de água ajustado na posição zero. Acrescentar água se necessário, ou removê-la pela purga.
- A aferição é realizada acrescentando-se água à mangueira conectada à tomada de impacto do aparelho, equalizando seu nível em valores inteiros da escala (5 mm, 10 mm, 15 mm etc.). Para cada valor, após estabilização, efetuar a marcação da posição no gráfico, pressionando levemente a pena sobre o gráfico.

A aferição deve ser realizada em ambos os sentidos: Subida (acrescentando-se água à coluna) e Descida (retirando-se a água).

Após esta operação o gráfico deve ser analisado, confrontando-se os valores marcados com os valores de deflexão ajustados na régua. As variações devem ser anotadas em forma de tabela, que deverá conter também as informações sobre a data, hora e aparelho aferido.

Este procedimento deve ser realizado antes da instalação do equipamento e refeito após a retirada do mesmo. Para tanto, as informações das aferições devem ser anotadas no mesmo formulário. Quando da leitura dos gráficos, o valor da calibração deve ser a média dos valores observados na pré-aferição e na posterior.

Quando houver grande variação de erros, o aparelho deverá ser ajustado.

8.1.5.3 Ajuste e calibração do aparelho

Os registradores possuem dispositivos que possibilitam ajustes finos para compensar os desvios observados quando da calibração.

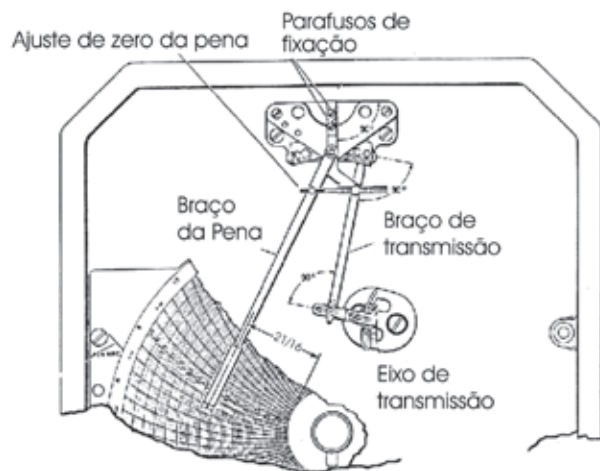


Figura 28 – Dispositivos ajustáveis no registrador de pressão diferencial

AJUSTE DE ZERO: O parafuso de ajuste de zero deve ser cuidadosamente movido para realizar a calibração quando os desvios apresentarem grandes valores e todos na mesma faixa: negativo ou positivo.

AJUSTE DO BRAÇO TRANSMISSOR: Este ajuste somente deve ser feito em caso extremo, quando o mecanismo de transmissão do sinal foi danificado por acidente. Pode-se alterar as posições da base dos braços alterando-se suas casas conforme figura abaixo.

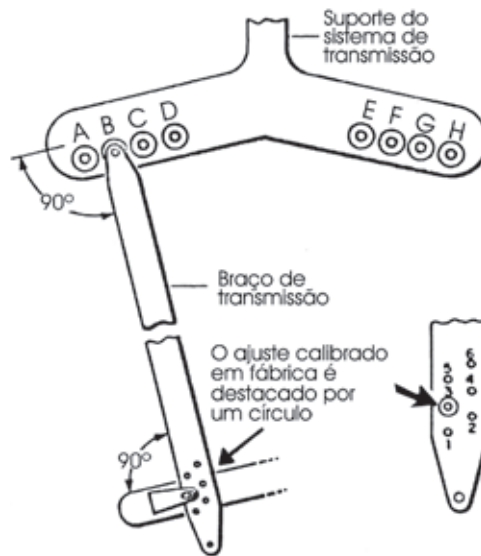


Figura 29 – Ajuste do braço transmissor

Os procedimentos deste ajuste devem ser feitos somente quando o aparelho acusar grandes desvios, não sendo um procedimento rotineiro.

8.1.6 Substituição das penas

A tinta das penas deve durar aproximadamente dois meses em medições contínuas. Sendo necessário, proceda à substituição da pena. A mesma deve ser desencaixada do braço por deslizamento, abrindo-se a trava que existe no próprio corpo da pena.

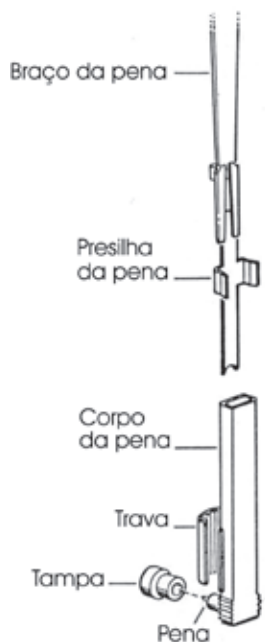


Figura 30 – Substituição das penas

Se há falhas na marcação do gráfico, elas podem estar ocorrendo por falta de pressão da pena sobre o gráfico. Esta pressão pode ser aumentada realizando um pequeno ajuste na curva do braço da pena. Procure remover sujeira e restos de papel da pena e sempre quando não estiver em uso deve ser tampada.

8.2 Registradores eletrônicos (*data logger*)

Nestes equipamentos, para a detecção do diferencial de pressão são usados sensores extensométricos (*strain gages*) ou células capacitivas.



Figura 31 – Aspecto de alguns registradores eletrônicos

Os sensores extensométricos transformam em variação de grandeza elétrica as variações de esforços mecânicos aos quais são submetidos. O elemento ativo do sensor extensométrico pode ser um fio resistivo, em geral de uma liga de cobre e níquel, ou uma célula de semicondutor.

Nas células capacitivas, o diferencial de pressão desloca uma das placas de um capacitor, sendo o diferencial de pressão proporcional à variação da capacitância deste sistema. No mercado existem vários fornecedores destes equipamentos, que apresentam basicamente os seguintes passos de operação:

- Abrir a válvula de equalização do aparelho;
- Conectar as tomadas de pressão do tubo Pitot com as do equipamento, observando as posições de alta e baixa pressão;
- Realizar o ajuste de ZERO;
- Fechar o equalizador.

Todos os procedimentos já descritos para a instalação de registrador gráfico devem ser aplicados também aos registradores eletrônicos, ou seja:

- Instalar o Tubo “U”, comparando a deflexão no tubo com a indicada pelo aparelho;
- Observar que a deflexão acusada pelo aparelho refere-se ao líquido água e, portanto, os ajustes de densidade devem ser feitos antes de comparar as leituras.

Os procedimentos de aferição devem ser realizados da mesma forma e com os mesmos equipamentos já descritos, ou seja, aferir o aparelho antes e depois de ser enviado ao campo. Os erros observados devem ser utilizados para correção da leitura.

Recomenda-se que, embora os equipamentos disponham de circuitos que realizam o cálculo de vazão, quando for exigida maior precisão nos levantamentos, sejam consideradas a indicação das deflexões medidas, à semelhança do registrador gráfico.

As leituras de deflexão indicadas devem ser tabuladas e para tanto pode-se utilizar da tabela já exemplificada.

8.3 Elaboração de histogramas de vazão

A utilização de registradores, sejam gráficos ou eletrônicos, visam em última análise fornecer informações para a elaboração de histogramas de vazão.

Um histograma de vazão é um gráfico onde o eixo “X” representa as horas do dia e, o eixo “Y” a vazão medida (média das vazões registradas).

Faz-se normalmente:

- Histograma de vazão de água aduzida por recalque: para verificação de variações de vazão aduzida de água bruta ou tratada;
- Histograma de consumo em setor de abastecimento: para verificar variações de vazão consumida por algum setor ou zona de abastecimento na rede de distribuição.

Para facilitar a interpretação e análise dos histogramas de vazão e de consumo, recomenda-se que o histograma seja representado em uma planilha elaborada com dados suficientes para 1 dia (24 horas), utilizando-se as médias observadas para cada hora.

Exemplo:

HISTOGRAMA DE CONSUMO - LOTEAMENTO ÁUREA									
EP: EP107-3		DIAM: 400mm				DATA: 17/5/2004			
HOR.	VAZÃO (M3/S)								
	9/mai	10/mai	11/mai	12/mai	13/mai	14/mai	15/mai	16/mai	MEDIA
0:00		0,1082	0,1047	0,1042	0,1127	0,1095	0,1039	0,1108	0,1077
1:00		0,1056	0,0991	0,0977	0,0929	0,0992	0,1006	0,1070	0,1003
2:00		0,0887	0,1099	0,0965	0,1007	0,0949	0,0970	0,0929	0,0972
3:00		0,0870	0,1036	0,1047	0,0965	0,0975	0,0959	0,0891	0,0963
4:00		0,0994	0,0967	0,0943	0,1018	0,0840	0,0898	0,0813	0,0925
5:00		0,0960	0,1000	0,0980	0,0961	0,0863	0,0996	0,0921	0,0954
6:00		0,1075	0,1080	0,1000	0,0952	0,0931	0,1034	0,1021	0,1013
7:00		0,1125	0,1148	0,1035	0,0942	0,1161	0,0989	0,1109	0,1073
8:00		0,1250	0,1184	0,1221	0,1053	0,1291	0,1114	0,1168	0,1183
9:00		0,1310	0,1321	0,1155	0,1167	0,1266	0,1236	0,1214	0,1238
10:00		0,1490	0,1420	0,1445	0,1298	0,1333	0,1207	0,1232	0,1346
11:00		0,1456	0,1227	0,1428	0,1384	0,1401	0,1340	0,1396	0,1376
12:00		0,1454	0,1547	0,1404	0,1322	0,1395	0,1364	0,1312	0,1400
13:00		0,1321	0,1369	0,1327	0,1296	0,1356	0,1348		0,1336
14:00		0,1398	0,1417	0,1388	0,1299	0,1442	0,1296		0,1373
15:00	0,1365	0,1453	0,1292	0,1314	0,1323	0,1307	0,1274		0,1333
16:00	0,1190	0,1265	0,1291	0,1326	0,1237	0,1267	0,1171		0,1249
17:00	0,1415	0,1262	0,1296	0,1271	0,1203	0,1212	0,1253		0,1273
18:00	0,1288	0,1119	0,1166	0,1261	0,1187	0,1196	0,1226		0,1206
19:00	0,1269	0,1219	0,1279	0,1200	0,1117	0,1228	0,1214		0,1218
20:00	0,1235	0,1286	0,1180	0,1325	0,1075	0,1208	0,1207		0,1217
21:00	0,1196	0,1205	0,1130	0,1269	0,1123	0,1203	0,1076		0,1172
22:00	0,1096	0,1041	0,1108	0,1206	0,1229	0,1122	0,1151		0,1136
23:00	0,1197	0,1203	0,0902	0,1084	0,1074	0,1064	0,1074		0,1085
0:00	0,1082	0,1047	0,1042	0,1127	0,1095	0,1039	0,1108		0,1077
MAX	0,1415	0,1490	0,1547	0,1445	0,1384	0,1442	0,1364	0,1396	0,1400
MIN	0,1096	0,0870	0,0902	0,0943	0,0929	0,0840	0,0898	0,0813	0,0925
MED	0,1250	0,1199	0,1187	0,1192	0,1137	0,1171	0,1143	0,1091	0,1172
FP	88%	73%	76%	79%	82%	72%	79%	74%	79%

Figura 32 – Planilha exemplificando a elaboração de histograma de consumo de determinada zona de abastecimento

O gráfico da Figura 33 exemplifica a curva de consumo de um setor de abastecimento, elaborado com dados de um histograma previamente planilhado.

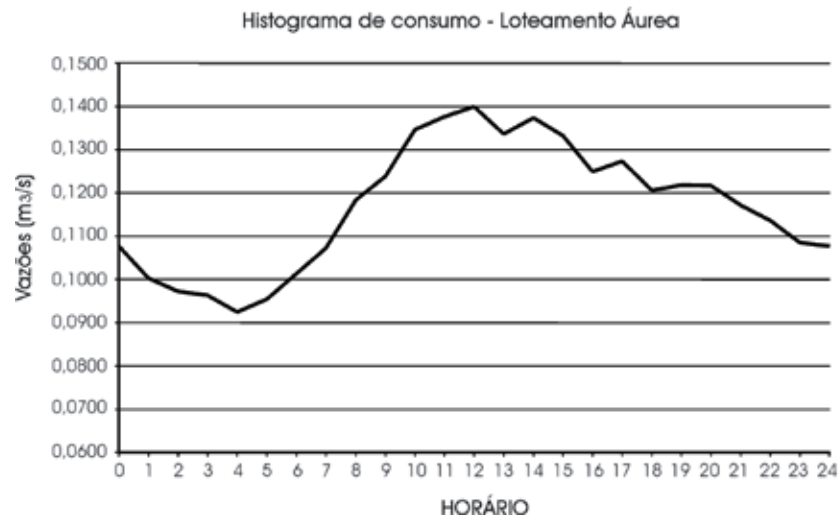


Figura 33 – Histograma de consumo representado como uma curva de consumo de um determinado setor

9. Ensaio de bombas

Ensaio de conjuntos elevatórios são executados para a obtenção das curvas reais de desempenho dos mesmos. Comparando-se os resultados obtidos em campo com as curvas do equipamento fornecidas pelo fabricante, pode-se obter importantes informações, tais como o estado de desgaste da bomba, rendimento de conjunto etc. Estas informações são básicas para orientar a tomada de decisão quanto a manutenção e operação do sistema.

9.1 Equipamentos necessários

Para a execução de ensaios de bombas, são necessários os seguintes equipamentos e materiais:

- Manômetro ou tubo “U”. A ser instalado no flange de sucção, mede pressões de sucção. Normalmente utiliza-se tubo “U” com mercúrio como líquido manométrico. Quando a pressão de sucção for superior a 6 mca utiliza-se manômetro de precisão.
- Manômetro de Precisão. Instalado no flange de recalque, mede pressões de recalque.
- Tubo Pitot. Instalado na EP a jusante do conjunto, mede a velocidade do fluxo e, conseqüentemente, a vazão.
- Termômetro. Mede a temperatura da água no ensaio.
- Alicates Volt-Amperímetro. Mede tensão e corrente no painel de comando da bomba.
- Alicates cosímetro ou wattímetro. Mede o fator de potência e potência elétrica consumida. São medidas realizadas no painel de comando da bomba.
- Tacômetro. Mede a rotação do eixo do conjunto ensaiado.
- Régua ou trena. Medir o desnível do poço de sucção da elevatória.

9.2 Verificações iniciais

a) Pontos de medição e instalação dos equipamentos

Instalar os equipamentos de medição de pressão nos flanges de recalque e sucção da bomba.

As alturas dos instrumentos instalados respectivamente no recalque e sucção deverão ser relacionadas ao eixo da bomba (ver Figura 34). Caso a pressão de sucção seja negativa, não há necessidade de medir a altura deste instrumento.

Instalar o tubo Pitot na estação pitométrica. Realizar o levantamento das constantes pitométricas da estação caso as mesmas tenham sido realizadas há mais de 1 ano.

Instalar fita reflexiva para o tacômetro nos eixos das bombas a serem ensaiadas. Este procedimento exige a paralisação momentânea do funcionamento do grupo.

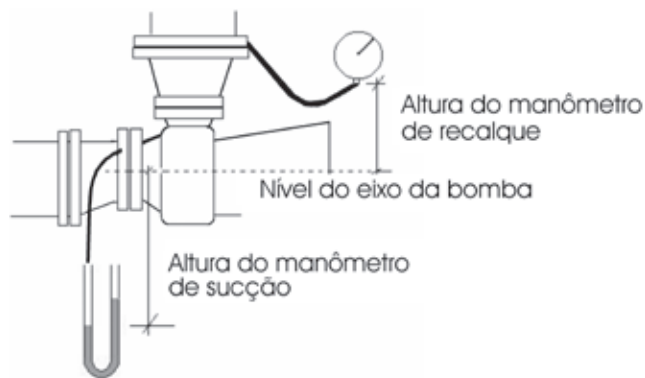


Figura 34 – Posicionamento de manômetros na sucção e recalque de bombas

Certificar-se dos locais em que serão realizadas as medições dos parâmetros elétricos. Observar a boa acessibilidade aos cabos e conectores do painel.

b) Verificação da estanqueidade das válvulas de retenção

Instalar o tubo “U” com líquido manométrico de densidade 1,11 entre os flanges de sucção e recalque. Este ensaio é feito com o conjunto elevatório parado.

A figura a seguir descreve os procedimentos.

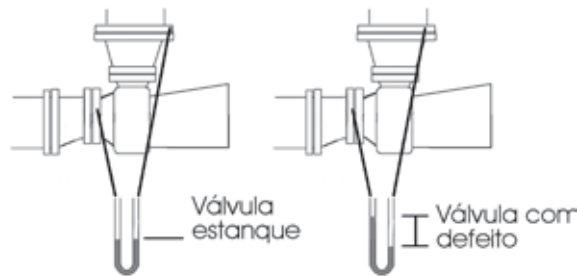


Figura 35 – Verificação da estanqueidade da válvula de retenção no barrilete da bomba

A estanqueidade da válvula de retenção só pode ser verificada se houver uma coluna de água adiante da mesma. Caso haja defeito na válvula, comunicar a área de manutenção para corrigi-lo.

Uma bomba cuja válvula de retenção não esteja estanque deverá ser mantida funcionando quando do teste de outras bombas do conjunto elevatório.

9.3 Execução do ensaio

Em geral, os ensaios são realizados cobrindo 5 pontos de funcionamento do grupo elevatório, sendo:

- Ponto 1: Com abertura de 100 % da válvula de controle do recalque;
- Ponto 2: Com abertura de 75 % da válvula de controle do recalque;
- Ponto 3: Com abertura de 50 % da válvula de controle do recalque;
- Ponto 4: Com abertura de 25 % da válvula de controle do recalque;
- Ponto 5: Com válvula de controle do recalque totalmente fechada – *shut-off*.

Em cada ponto de operação são realizadas as medições, nos intervalos abaixo descritos:

- medições de vazão e pressão: São realizadas concomitantemente, com leituras a cada 30 segundos, durante 10 minutos;
- medições elétricas: Efetuadas no início e término de cada ponto do ensaio;

- medições de rotação: Efetuadas no início e término de cada ponto do ensaio;
- medições de nível: Efetuadas no início e término de cada ponto do ensaio.

Recomenda-se realizar o ensaio do 1º ponto com o registro de recalque totalmente aberto. Entretanto, esta operação nem sempre é possível, devido à insuficiência de capacidade do conjunto motobomba.

Se na graduação da válvula de controle do recalque for observada uma elevação de cerca de 7 (sete) mca na pressão de recalque, sem que tenha havido diminuição do valor da vazão, esse ponto deverá ser medido. Este fato indica a provável presença do fenômeno da cavitação.

No 5º ponto (*shut-off*), a válvula de controle do recalque deverá ser fechada totalmente e as medições de vazão, pressão de sucção e recalque serão efetuadas concomitantemente, somente com 3 leituras. Salienta-se que para o perfeito fechamento da válvula de controle de recalque, às vezes, é necessário parar a bomba.

Para a obtenção dos testes com vazões bem distribuídas, recomenda-se:

- 1º PONTO: Anotar deflexão do tubo “U”
- 2º PONTO: Deflexão igual a 60 % da observada no primeiro ponto
- 3º PONTO: Deflexão igual a 30 % da observada no primeiro ponto
- 4º PONTO: Deflexão igual a 15 % da observada no primeiro ponto
- 5º PONTO: Deflexão igual a zero

Durante os ensaios provavelmente será necessário proceder à troca de líquidos pitométricos.

A relação entre as deflexões esperadas quando da troca podem ser obtidas pela fórmula abaixo:

$$H_1 \cdot (d_1 - 1) = H_2 \cdot (d_2 - 1)$$

Onde:

H = deflexão no tubo U

d_1 = densidade do líquido

Exemplo:

Deflexão medida de 54 mm com líquido de densidade 1,6, qual a deflexão esperada para o líquido 1,25, sendo mantida a mesma vazão?

Resposta: $54 \times (1,60 - 1) = H_2 \times (1,25 - 1)$

$$H_2 = 129,6 \text{ mm}$$

9.4 Ensaio de associação de bombas

Iniciar o ensaio com o número máximo de bombas que podem operar em paralelo. Considerando-se uma elevatória com 3 conjuntos, por exemplo:

- 1º Teste: Bomba 1 + Bomba 2 + Bomba 3
- 2º Teste: Bomba 1 + Bomba 2
- 3º Teste: Bomba 1 + Bomba 3
- 4º Teste: Bomba 2 + Bomba 3

Neste tipo de ensaio, realizam-se as medições de vazão na tubulação de recalque e pressões (sucção e recalque) em cada conjunto elevatório apenas para o ponto de trabalho – Não se faz graduação de registro de recalque.

9.5 Outros dados necessários

Deverão ser anotadas também as seguintes informações:

- dados constantes nas placas de identificação do motor e da bomba;
- perímetro da tubulação nos pontos das tomadas de medição de pressão (sucção e recalque);
- esquema da estação elevatória e dos barriletes de sucção e recalque (curvas, registros, válvulas, reduções etc.);
- cotas do eixo da bomba;
- cotas do fundo do reservatório de sucção;
- comprimento das canalizações de sucção e recalque;
- níveis operacionais mínimos e máximos do tanque de sucção e do reservatório a jusante do recalque (se for um bombeamento para reservatório).

9.6 Procedimentos de cálculo

A tabela abaixo descreve os procedimentos de cálculo das grandezas hidráulicas e elétricas do ensaio de bombeamento.

TABELA 3 – RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA – ENSAIOS DE CAMPO EFETUADOS.

DADO		UNID.	OBTENÇÃO
Vazão	Q	m³/s	Na estação pitométrica
Pressão de sucção	ps	mca	Com tubo "U" ou manômetro na tomada de sucção da bomba
Pressão de recalque	pr	mca	Com Tubo "U" ou manômetro na tomada de recalque da bomba
Altura de sucção	h	m	Desnível entre o eixo da bomba e o instrumento de medição da pressão de sucção
Altura de recalque	hr	m	Desnível entre o eixo da bomba e o instrumento de medição da pressão de recalque
Perímetro de sucção	Ss	m	Perímetro da tubulação no ponto da tomada de pressão de sucção
Perímetro de recalque	Sr	m	Perímetro da tubulação no ponto da tomada de pressão de recalque
Espessura da tubulação de sucção	es	m	Espessura da parede da tubulação de sucção (obtida em catálogo de fabricantes)
Espessura da tubulação de recalque	er	m	Espessura da parede da tubulação de recalque (obtida em catálogo de fabricantes)
Nível de sucção	Ns	m	Diferença de cota entre o nível de água do reservatório de sucção e o eixo da bomba
Tensão	T	volts	Obtida nos cabos de alimentação elétrica do motor
Amperagem	A	Amp.	Obtida nos cabos de alimentação elétrica do motor
Cos fi	Cosfi	-	Obtida nos cabos de alimentação elétrica do motor
Potencia elétrica	Pel	W	Obtida nos cabos de alimentação elétrica do motor
Rendimento do motor	η_m	%	Obtido na placa de identificação do motor ou em catálogo de fabricantes
Rotação	RPM	rpm	Medida no eixo da bomba
Cota do eixo da bomba	Ce	m	Obtida por topografia ou transferência de nível
Cota da EP	Cp	m	Obtida por topografia ou transferência de nível
Temperatura da água	t	°C	Temperatura da água por ocasião dos ensaios
Pressão do vapor de água	Hv	kgf/cm²	Tabela de acordo com a temperatura da água 20° C = 0,24 mca 30° C = 0,44 mca
Peso específico	g	kgf/m³	Variável conforme a temperatura A 20° C = 998,28 A 30° C = 995,70

9.6.1 Procedimentos de cálculo

TABELA 4 – RESUMO DAS FÓRMULAS DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS

PARÂMETRO	UN	CÁLCULO
ÁREA DE SUÇÃO	As	m ² $A_s = \left(\frac{S_s}{2\pi} - e_s \right)^2 \times \pi$
ÁREA DE RECALQUE	Ar	m ² $A_R = \left(\frac{S_R}{2\pi} - e_R \right)^2 \times \pi$
VELOCIDADE DE SUÇÃO	Vs	m/s $V_s = Q / A_s$
VELOCIDADE DE RECALQUE	Vr	m/s $V_r = Q / A_r$
PRESSÃO CORRIGIDA DE SUÇÃO	Ps	mca P/ Bomba afogada: Ps = ps +/- hs (OBS: + instrumento acima; - instrumento abaixo do eixo da bomba) P/ Bomba não afogada: Ps = ps
PRESSÃO CORRIGIDA DE RECALQUE	Pr	mca Pr = pr +/- hr (OBS: + instrumento acima; - instrumento abaixo do eixo da bomba)
ALTURA MANOMÉTRICA	HMA	mca $HMA = \left(P_R + \frac{V_R^2}{2g} \right) - \left(P_s + \frac{V_s^2}{2g} \right)$
PERDA DE CARGA NA SUÇÃO	H _{fs}	mca $H_{fs} = N_s - \left(P_s + \frac{V_s^2}{2g} \right)$
PRESSÃO ATMOSFÉRICA LOCAL	P _{atm}	mca $P_{atm} = 10,33 - \frac{Ce}{900}$
NPSH DISPONÍVEL	NPSHd	mca Bomba afogada: $NPSH_D = P_{atm} + N_s - P_v - H_{fs}$ Bomba não afog.: $NPSH_D = P_{atm} - N_s - P_v - H_{fs}$

PARÂMETRO		UN	CÁLCULO
POTENCIA HIDRÁULICA	Phd	CV	$Phd = \frac{\gamma Q HMA}{75}$
POTÊNCIA ELÉTRICA CONSUMIDA	Pel	CV	$Pel = 0,00136 \times T \times A \times \cos \Phi \times \sqrt{3}$ ou medida diretamente no painel elétrico
RENDIMENTO DO GRUPO	η_G	%	$\eta_G = \frac{P_{HD}}{Pel} \times 100$
RENDIMENTO DA BOMBA	η_B	%	$\eta_B = \frac{\eta_G}{\eta_m} \times 100$
POTÊNCIA NO EIXO	Pe	CV	$Pe = \frac{Pel}{\eta_B} \times 100$

9.6.2 Elaboração da curvas reais de performance

Utilizando-se de papel milimetrado ou diretamente em planilhas eletrônicas, pode-se elaborar os gráficos, plotando-se os valores calculados para cada ponto do ensaio de bomba:

- ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL
Eixo X: Valores de vazão (Q)
Eixo Y: Altura manométrica (HMA)
- RENDIMENTO DO CONJUNTO MOTOBOMBA
Eixo X: Valores de vazão (Q)
Eixo Y: Valores de rendimento do conjunto (η)
- NPSH DISPONÍVEL
Eixo X: Valores de vazão (Q)
Eixo Y: Valores de NPSHd

d) POTÊNCIA NO EIXO DA BOMBA

Eixo x: Valores de vazão (Q)

Eixo Y: Valores de Potência no eixo da bomba (P_e)

9.7 Análise dos gráficos

Os gráficos obtidos podem ser comparados com os gráficos originais fornecidos pelos fabricantes, sendo este procedimento útil para análise do desempenho dos grupos ensaiados.

9.7.1 Altura manométrica

A curva de *performance* real da bomba, levantada em ensaio, é comparada com a fornecida pelo fabricante, teórica, ou curvas reais levantadas anteriormente. A comparação deverá ser feita para vazões obtidas com a mesma altura manométrica, preferencialmente para o ponto de trabalho do grupo.

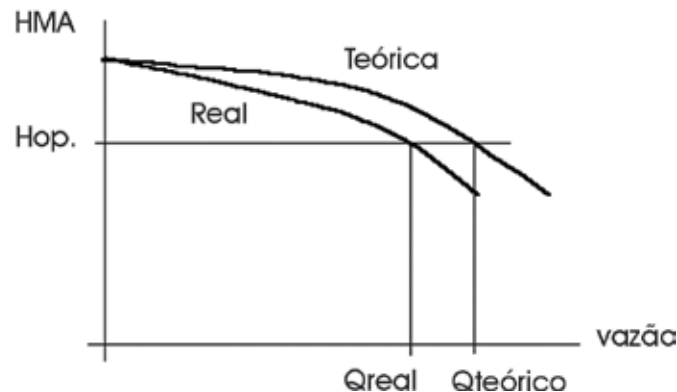


Figura 36 – Comparação de curvas real e teórica (do fabricante) de bomba

Pode-se calcular o desvio existente pela fórmula:

$$DESUDIO (\%) = \left(\frac{Q_{REAL} - Q_{TEORICO}}{Q_{TEORICO}} \right) \times 100$$

Considera-se a bomba com desempenho aceitável quando o desvio é inferior ou igual a 5 %.

9.7.2 Rendimento da bomba

Compara-se os rendimentos real e teórico, utilizando-se como referência a vazão correspondente ao ponto de trabalho da bomba.

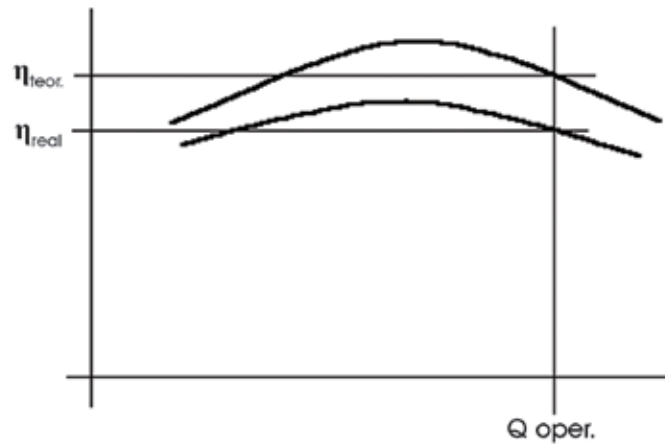


Figura 37 – Comparação de curva de rendimento real e teórico de bomba

Pode-se calcular o desvio existente pela fórmula:

$$DESUDIO (\%) = \left(\frac{\eta_{REAL} - \eta_{TEORICO}}{\eta_{TEORICO}} \right) \times 100$$

Considera-se a bomba com desempenho aceitável quando o desvio é inferior ou igual a 5 %.

9.7.3 Potência no eixo da bomba

A potência no eixo da bomba (P_e) deverá ser menor ou igual a potencia nominal do motor. A comparação deve ser feita considerando-se a vazão de operação do grupo.

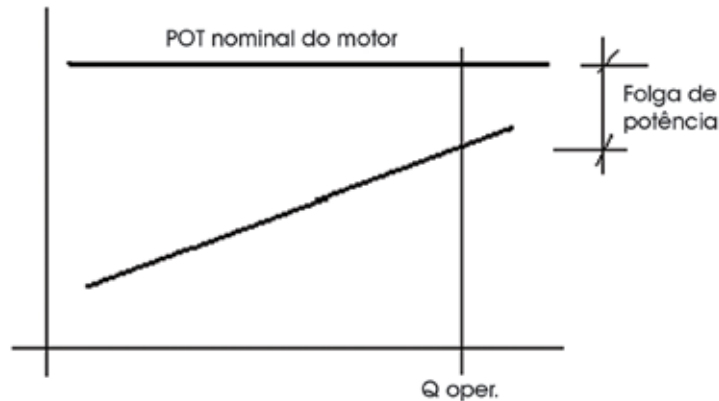


Figura 38 – Comparação de potencia nominal do motor com a potência no eixo da bomba para a vazão de operação

9.7.4 NPSH disponível x NPSH requerido

A comparação entre o NPSH disponível e o requerido pela bomba deve ser realizada com os valores obtidos no ensaio (NPSH disponível) e a curva ajustada do NPSH disponível considerando-se o nível mínimo do reservatório.

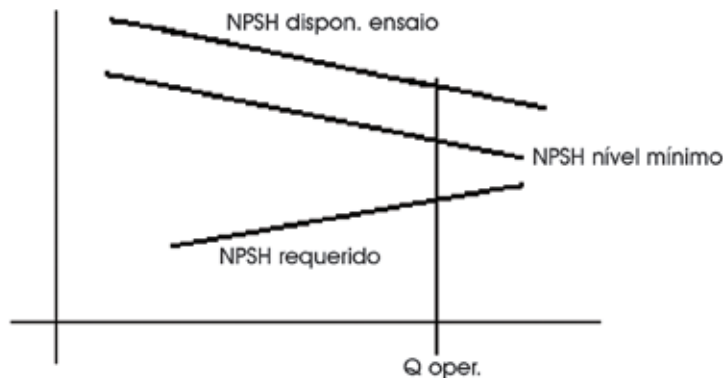


Figura 39 – Comparação de NPSH disponível e requerido

O NPSH disponível para o nível mínimo do tanque de sucção é obtido pela seguinte formulação:

$$NPSH_{\text{dispNM}} = NPSH_{\text{dispEnsaio}} - (N_s - \text{Nível mínimo do reservatório})$$

Para prevenir o fenômeno de cavitação, recomenda-se que o NPSH disponível seja maior ou igual a 1,5 vez o NPSH requerido.

9.7.5 Perda de carga na sucção

Os valores obtidos nos ensaios para a perda de carga na tubulação de sucção (H_{fs}) devem ser comparados ao valor teórico determinado através de fórmulas de perda de carga.

Valores de perda de carga obtidos em ensaio superiores aos obtidos teoricamente denotam perda de carga exagerada nas peças do barrilete de sucção, o que pode denotar entre outras causas o entupimento do crivo da bomba.

10. Ensaio de determinação de perda de carga – coeficiente “C” da fórmula de Hazen-Williams

A escolha de um parâmetro que forneça uma indicação da rugosidade das paredes internas de uma tubulação é necessária, tendo em vista que tal parâmetro irá orientar o administrador do serviço de água quanto ao conhecimento da real capacidade dos condutos por ele operados. Em sistemas de abastecimento de água, normalmente esse parâmetro é o coeficiente “C” da fórmula de Hazen-Williams.

A fórmula de Hazen-Williams, transformada para expressar o coeficiente “C”, é:

$$C = \left[\frac{10,643 \times Q^{1,85}}{(Hf \div L) \times D^{4,87}} \right]^{0,54054}$$

Esta fórmula será detalhada mais adiante.

Apesar da não homogeneidade dimensional da fórmula de Hazen-Williams e de não ser perfeitamente biunívoca a relação entre o “C” e a rugosidade das paredes dos condutos, esta fórmula tem se mostrado suficiente, devido a sua simplicidade e facilidade de obtenção dos parâmetros em campo, em relação à Fórmula Universal (ou de Darcy-Weisbach). Na Fórmula Universal, o coeficiente de atrito (f) varia em função do número de Reynolds, rugosidade e dimensões da tubulação.

Na determinação do coeficiente “C” da fórmula de Hazen-Williams para uma dada tubulação operante, é usual admitir-se que entre as duas seções transversais de medição, a perda de carga total se distribua uniformemente, mesmo que haja singularidades intermediárias. Desta forma, o coeficiente “C” medido reflete a resistência total imposta ao escoamento. É denominado coeficiente “C” *de trabalho* ou “C” *prático* da fórmula de Hazen-Williams.

10.1 Procedimentos de ensaio

- Instalar EP nos pontos extremos do trecho da canalização a ser estudada. Os manômetros de precisão devem ser selecionados de acordo com as pressões a serem medidas. Para pressão menor que 5,0 mca deve ser utilizado manômetro "U" com mercúrio.
- Deverão ser medidas a vazão e a pressão nas duas EP simultaneamente.
- As pressões deverão estar relacionadas à geratriz superior da canalização. Para tanto se recomenda que os manômetros sejam colocados na face superior da tubulação.
- Após os testes, os manômetros utilizados devem ser aferidos *in loco*.

10.2 Cálculos

As vazões e pressões nas duas EP, para cada ensaio, são calculadas conforme foi descrito na utilização do tubo Pitot. Para entender o cálculo da perda de carga entre as duas EP, consideremos a figura abaixo:

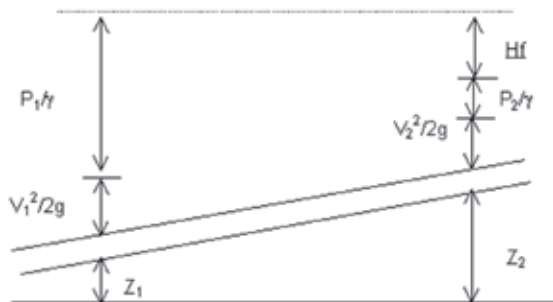


Figura 40 – Representação esquemática de duas seções distintas de tubulação

Aplicando-se o teorema de Bernoulli entre as seções 1 e 2, teremos:

$$V_1^2/2g + P_1/\gamma + Z_1 = V_2^2/2g + P_2/\gamma + Z_2 + H_f$$

Como a vazão é igual nas duas Eps, podemos fazer $V1/2g = V2/2g$, assim:

$$H_f = \left[\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 \right] - \left[\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \right]$$

onde:

H_f – Perda de carga total entre as seções 1 e 2.

Z_1 – Cota da geratriz superior na seção 1;

Z_2 – Cota da geratriz superior na seção 2.

$\frac{P_1}{\gamma}$ e $\frac{P_2}{\gamma}$ – Pressões referidas às geratrizes superiores das seções 1 e 2, respectivamente.

Os valores Z_1 e Z_2 em relação a um plano horizontal de referência são obtidos normalmente por um nivelamento geométrico, entretanto podem ocorrer situações em que não são disponíveis equipamentos ou pessoal de topografia que possa levantar as cotas dos pontos 1 e 2.

Nesse caso, pode-se realizar um ensaio pitométrico suplementar para determinar o desnível entre as duas EP. Esse ensaio consiste na determinação das pressões nas duas EP por meio de manômetros de precisão, estando a tubulação fechada na sua extremidade a jusante ou a montante, conforme os casos a seguir;

a) a tubulação em testes funciona por gravidade:

- nesse caso fecha-se a extremidade a jusante, quando então a linha de carga efetiva se torna uma horizontal;
- a diferença entre as medidas de pressões nas EP, nessa condição, indica o desnível entre as duas.

b) a tubulação em teste funciona por recalque:

- nesse caso basta desligar as bombas da estação elevatória e medir pressões nas duas EP;
- a diferença entre as medidas de pressões nas EP, nessa condição, indica o desnível entre as duas.

Deverão ser tomados cuidados especiais na estação elevatória, já que as válvulas de retenção podem estar dando passagem de água, o que falsearia os resultados do ensaio. Para evitar esse problema, é recomendável que, após desligadas as bombas, sejam fechadas os registros.

A determinação do desnível entre as duas EP por esse processo somente deve ser realizada caso não existam recursos disponíveis de topografia. Existem fatores que podem provocar o falseamento dos resultados, como a existência de derivação desconhecida ou mal fechadas na tubulação, vazamentos não visíveis, válvulas de bloqueio mal fechadas, erros de medição de pressões, etc.

Recomenda-se que as medições de pressão nestes casos sejam determinadas com o período mínimo de 30 segundos entre uma leitura e a seguinte e que sejam tomadas no mínimo 20 leituras em cada ponto, ao mesmo tempo.

É recomendável que o valor de **Hf** obtido nos ensaios seja grande o suficiente para que os erros cometidos na determinação das pressões não invalidem o valor calculado de “C”. Normalmente, valores superiores a 3,0 m são suficientes para uma boa precisão.

10.2.1 Cálculo do coeficiente “C” de trabalho entre as EP-1 e EP-2.

Vimos que o coeficiente “C” de trabalho da fórmula de Hazen-Williams é determinado pela expressão:

$$C = \left[\frac{10,643 \times Q^{1,85}}{(H_f \div L) \times D^{4,87}} \right]^{0,54054}$$

Onde:

Q – Vazão no trecho em estudo, em m³/s.

D – Diâmetro nominal da tubulação em metros

L – Comprimento do trecho entre EP-1 e EP-2, em metros

Hf – Perda da carga entre as EP em mca

A vazão Q é obtida extraindo-se a média aritmética das vazões medias nas EP-1 e EP-2, desde que tais vazões não sejam discrepantes.

Pode-se dizer que as vazões não são discrepantes quando for observada a seguinte relação:

$$\frac{(Q_1 - Q_2)}{(Q_1 + Q_2)} \times 100 \leq (\pm) 2\%$$

Se as vazões Q1 e Q2 estiverem dentro da faixa de erro descrita, adota-se a média aritmética dos valores obtidos, para o cálculo do coeficiente “C”

Se houver diferença significativa entre as vazões, o trecho deverá ser pesquisado para a verificação de possíveis vazamentos. Tal pesquisa pode ser feita dividindo-se o trecho de teste em dois subtrechos e repetindo-se os testes.

Se a diferença de vazões permanecer a mesma em um dos subtrechos, prosseguir na pesquisa do subtrecho seguinte. Caso a diferença seja distribuída entre os dois subtrechos, então as perdas de água provavelmente são distribuídas ao longo de toda a tubulação. De qualquer forma, a localização exata das fugas de água pode ser feita por meio de aparelhos detectores de vazamentos.

Se o coeficiente “C” é muito inferior a um valor esperado em face da idade da tubulação, é possível que haja uma obstrução localizada entre as duas seções de medição.

Os procedimentos para determinar se a perda de carga adicional é localizada são como os acima descritos, ou seja, divide-se a tubulação em 2 ou 3 subtrechos e vai-se determinando trecho a trecho até se restringir a discrepância a um trecho menor de tubulação, mais facilmente pesquisável por detectores de ruído.

O valor do coeficiente “C” é função do tipo de material, do tempo de uso e do diâmetro da canalização.

Os seguintes valores são factíveis:

TUBO	NOVOS	10 ANOS DE USO	20 ANOS DE USO
Aço Soldado	125	110	90
Cimento – Amianto	140	130	120
Ferro fundido revestido	130	120	105
Plástico – PVC	140	135	130

No entanto, é importante salientar que os valores citados no quadro acima podem variar para menos não apenas em função do tempo de uso, mas também por fatores como a qualidade da água e, mais acentuadamente, para canalizações de menor diâmetro.

TABELA 5 – RESUMO DOS DADOS NECESSÁRIOS

DADOS DE ENTRADA – OBTIDOS EM CAMPO			
Grandeza	un	Simb	OBTENÇÃO
Vazão na EP-1	m³/s	Q1	Obtida em estação pitométrica na tubulação ensaiada
Vazão na EP-2	m³/s	Q2	Obtida em estação pitométrica na tubulação ensaiada
Pressão EP-1	mca	P1	Obtida junto na EP-1
Pressão EP-2	mca	P2	Obtida junto na EP-2
Cota EP-1	m	Ct 1	Cota da estação pitométrica nº 1
Cota EP-2	m	Ct 2	Cota da estação pitométrica nº 1
Diâmetro	m	D	Diâmetro nominal da tubulação
Distância	m	L	Comprimento da tubulação entre EP-1 e EP-2
VALIDAÇÃO DOS DADOS			
Calcular:		Se D > 2% ou D < -2% , pesquisar na tubulação possíveis vazamentos ou desvios	
$D = \frac{(Q_1 - Q_2)}{(Q_1 + Q_2)} \times 100$			
CÁLCULOS			
Perda de carga	Hf	mca	Hf = (P1 + Ct1) – (P2 + Ct2)
Coeficiente "C" (Hazen-Williams)	C	-	$C = \left[\frac{10,643 \times Q^{1,85}}{(Hf \div L) \times D^{4,87}} \right]^{0,54054}$
COMPARAR O VALOR DE "C" CALCULADO ACIMA COM OS VALORES TABELADOS			
Caso o valor calculado "C" seja muito inferior ao tabelado, deve-se pesquisar a linha quanto a existência de obstruções.			

11. Elaboração de curva de sistemas

11.1 Definição

Chama-se “curva de sistema” quando são plotados num mesmo gráfico e com mesma escala as curvas de desempenho da estação elevatória (altura manométrica x vazão) e a curva de perda de carga da adutora, obtida a partir do levantamento do coeficiente “C” de Hazen-Williams.

A curva de sistema é utilizada para verificar o ponto de funcionamento da elevatória em acordo com a descarga que é realizada pela adutora.

11.2 Construção da curva de sistema

A curva de sistema é elaborada, inserindo no mesmo gráfico e mesma escala, para cada vazão, as seguintes curvas:

- Curva de perda de carga da tubulação
- Curva de desempenho do conjunto motobomba

A curva da tubulação expressa a energia necessária para proceder à movimentação do fluido de um ponto ao outro. Partindo-se do esquema da Figura 41:

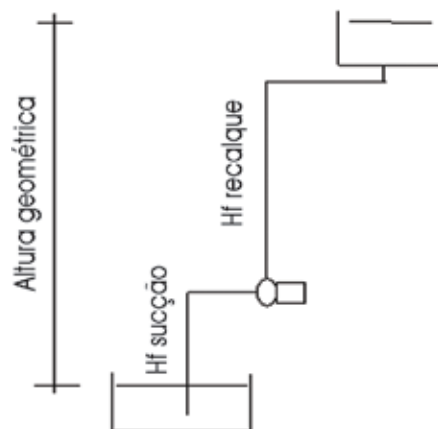


Figura 41 – Esquema de uma situação típica de bombeamento entre 2 reservatórios

A energia a ser fornecida pelo grupo elevatório deve vencer a altura existente entre o nível de sucção no reservatório inferior e o nível do reservatório superior.

A diferença de altura entre estes dois pontos é chamada de altura geométrica de recalque.

Além da altura geométrica de recalque, a bomba deverá também fornecer energia suficiente para vencer as perdas de carga da tubulação de recalque (H_f recalque) e sucção (H_f sucção).

O traçado da curva de perda de carga da tubulação deve ser iniciado no ponto que representa a altura geométrica a ser vencida pela bomba, traçando-o no eixo “Y”.

Por exemplo, na figura anterior, se a diferença de altura entre os reservatórios é de 25 metros, a curva de perda de carga deve iniciar-se no ponto que representa 25 metros no eixo “Y”:

A partir do ponto representativo da altura manométrica, deve-se traçar os pontos representativos da perda de carga, a qual pode ser calculada por uma das várias fórmulas indicadas na literatura.

Para efeito deste guia, utilizamos para o cálculo de perda de carga a fórmula de Hazen-Williams, na qual é utilizado o coeficiente de perda de carga “C”, discutido no capítulo anterior.

Assim, utilizaremos para o cálculo da perda de carga a fórmula de Hazen-Williams expressa em função deste parâmetro:

$$H_f = (10,643 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87}) \times L$$

Onde:

H_f = perda de carga

L = comprimento da tubulação em metros

Q = vazão em m^3/s

D = Diâmetro da tubulação em metros

C = Coeficiente de perda de carga

Exemplo:

Para o sistema de recalque exemplificado anteriormente, utilizando as características da tubulação, dadas a seguir, calcular a tabela de perda de carga e altura manométrica necessária.

Características das tubulações:

- Desnível entre os reservatórios: 25 metros
- Tubulação de sucção: $D = 250$ mm e $L = 15$ metros
- Tubulação de recalque: $D = 150$ mm e $L = 450$ metros
- No ensaio de levantamento do coeficiente “C” executado em campo obteve-se, por exemplo, o valor de 107 para o coeficiente de perda de carga da tubulação de recalque.

TABELA 6 – TABELA DE PERDAS DE CARGA PARA O EXEMPLO

VAZÃO m³/s	PERDA DE CARGA NA SUCÇÃO m	PERDA DE CARGA NO RECALQUE m	ALTURA GEOMÉTRICA m	ALTURA MANOMÉTRICA m
0,000	0,000	0,000	25	25
0,005	0,001	0,001	25	25
0,010	0,005	1,73	25	26,73
0,015	0,010	3,67	25	28,68
0,020	0,017	6,24	25	31,26
0,025	0,026	9,43	25	34,46
0,030	0,037	13,21	25	38,25
0,035	0,049	17,57	25	42,62
0,040	0,062	22,50	25	47,56
0,045	0,077	27,97	25	53,05
0,050	0,094	40,00	25	65,09

Utilizando-se os dados de vazão e altura manométrica pode-se traçar o gráfico de perda de carga da tubulação conforme ilustrado a seguir:

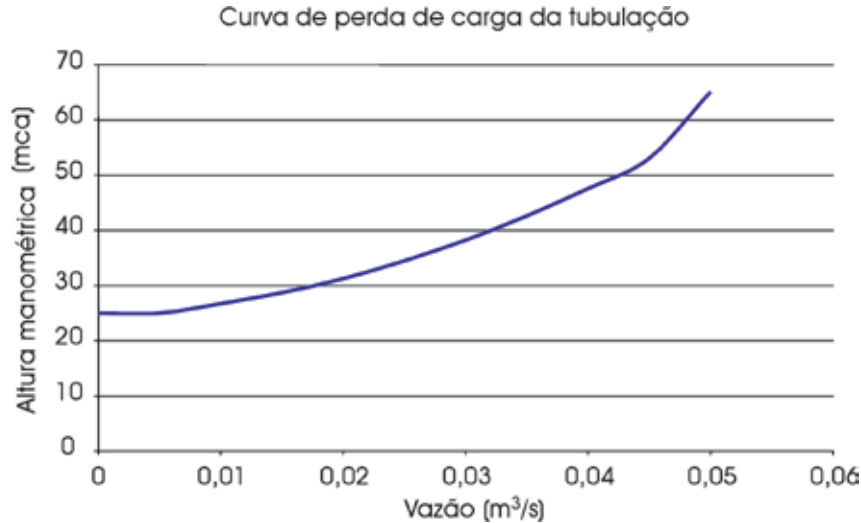


Figura 42 – Curva de perda de carga na tubulação

11.3 Curva da bomba

A curva característica do conjunto motobomba que é utilizada em curvas de sistema é a que exprime a altura manométrica x vazão.

A execução da curva real de desempenho do conjunto elevatório com dados obtidos nos ensaios de bomba foi descrita no Capítulo 10.

Alternativamente, podem ser utilizadas as curvas de desempenho fornecidas pelos fabricantes, observando-se que, em geral, nestas curvas a vazão é expressa em m^3/hora , e devem ser convertidas para m^3/s (dividindo-se por 3.600).

11.4 Curva do sistema

Traçando-se em um mesmo gráfico a curva da tubulação e do conjunto motobomba tem-se a curva do sistema. O ponto de cruzamento das duas curvas representa o ponto de funcionamento ótimo do conjunto elevatório.

Exemplo:

Considerando a curva do sistema traçada anteriormente e a curva de bomba, tem-se a seguinte curva do sistema:

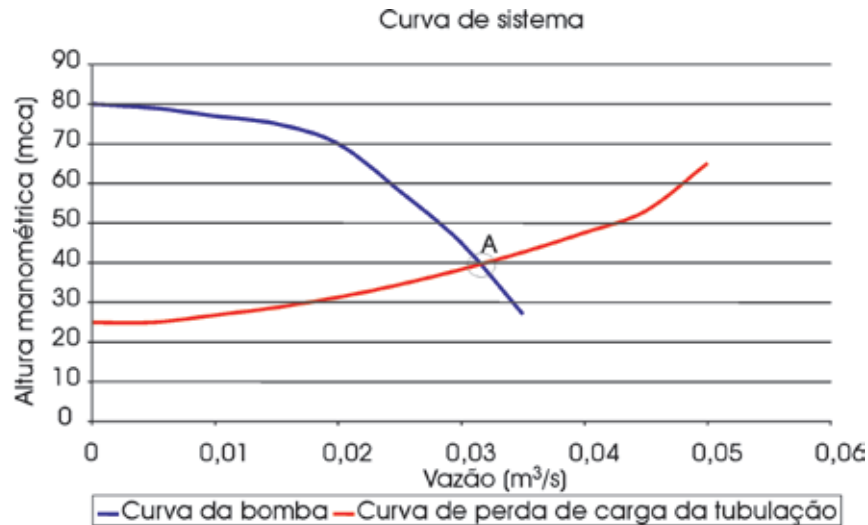


Figura 43 – Curva de sistema

O ponto A do gráfico acima representa o ponto de funcionamento do sistema.

11.5 Considerações sobre a curva de sistema

11.5.1 Enchimento de reservatórios “por baixo”

Existem reservatórios construídos com a tubulação de entrada no nível mínimo. Com o enchimento de reservatório haverá incremento na altura geométrica correspondente à elevação de nível do mesmo. O enchimento do reservatório alterará o ponto de funcionamento do grupo elevatório entre os pontos A e B conforme representado na Figura 44.

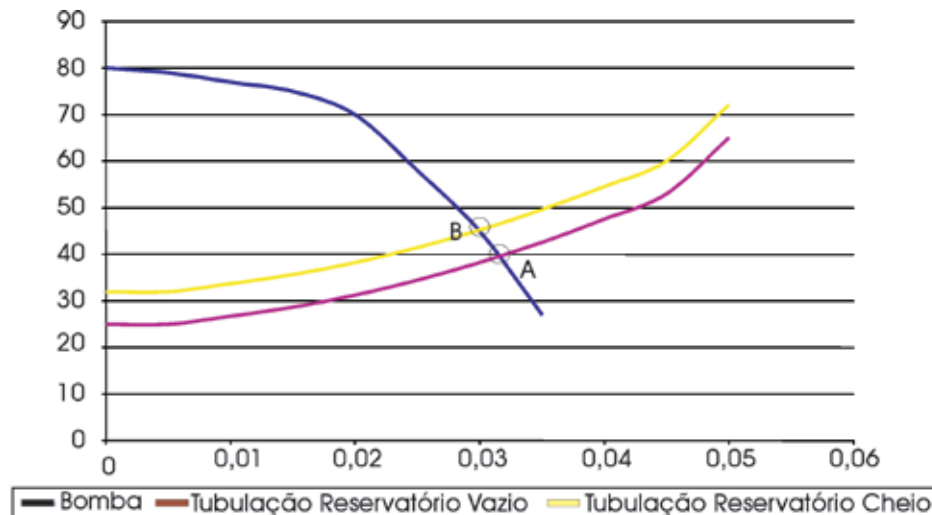


Figura 44 – Alteração no ponto de funcionamento dos conjuntos motobomba quando o reservatório é alimentado por baixo

11.5.2 Alteração da perda de carga na linha de recalque

A limpeza da adutora ou qualquer outra ação que represente alteração no coeficiente “C” da linha de recalque representa alteração na curva da tubulação, e também implica a alteração do ponto de funcionamento da elevatória.

Observe-se que a graduação de registros tem o efeito de acrescentar perda de carga na tubulação de recalque. Uma situação dessa é visualizada na Figura 45.

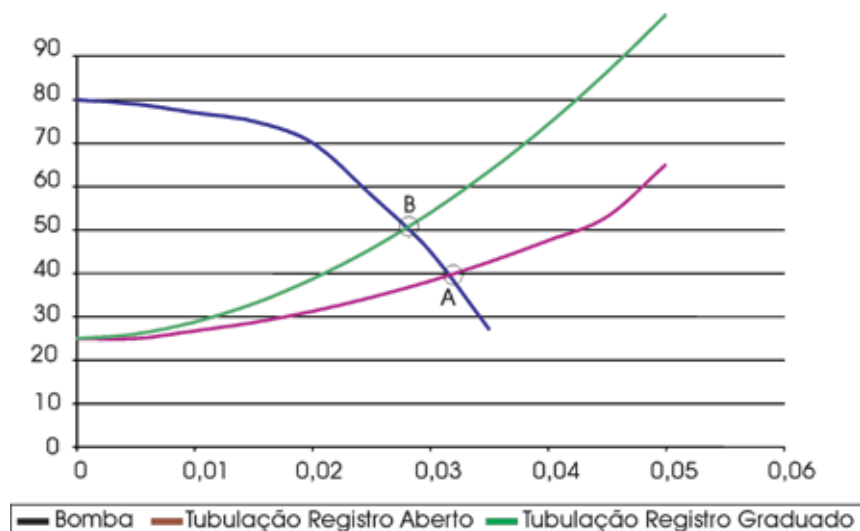


Figura 45 – Com o acréscimo da perda de carga, o ponto de funcionamento da bomba altera-se do ponto A para o ponto B

11.5.3 Associação de bombas

Uma situação corriqueira no saneamento é a associação de bombas com funcionamento em paralelo.

A curva que exprime o funcionamento das bombas em conjunto é traçada considerando para cada altura manométrica a soma de vazão das duas bombas, conforme demonstrado na Figura 46.

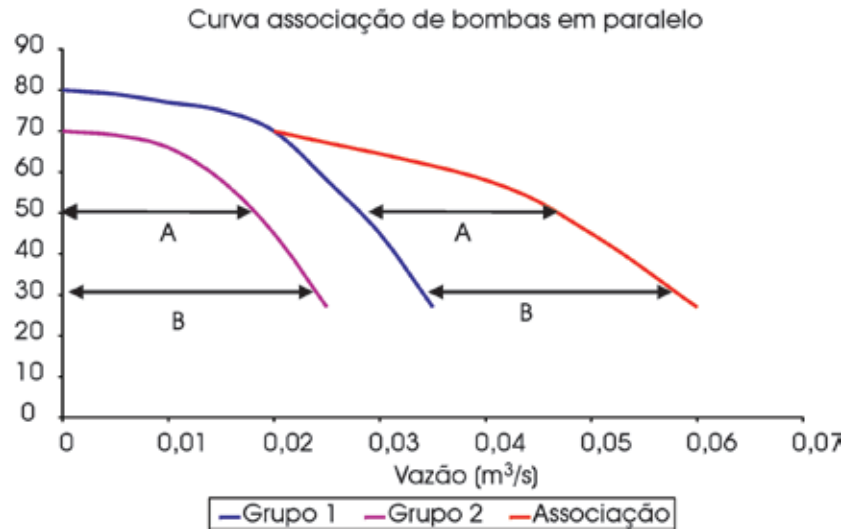


Figura 46 – Associação de bombas em paralelo

Lançando no gráfico de associação de bombas a curva da tubulação, tem-se o gráfico conforme ilustrado abaixo:

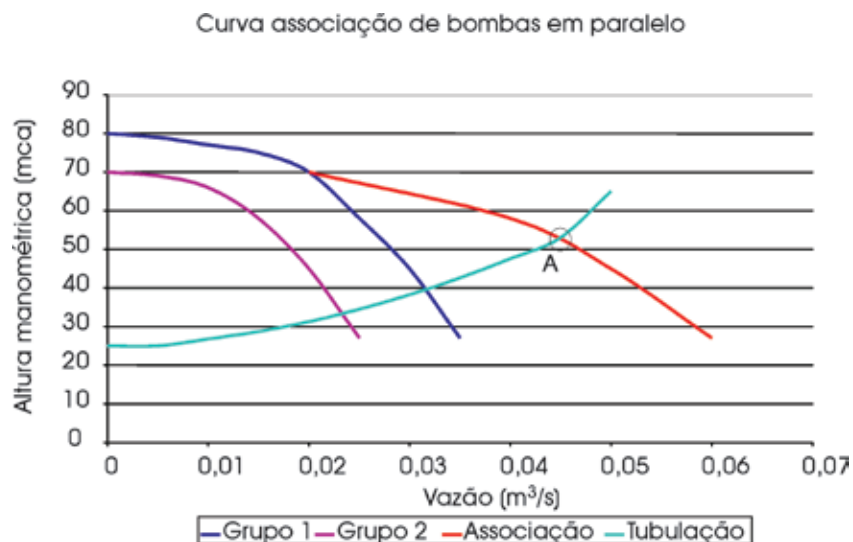


Figura 47 – Ponto de funcionamento para a associação de bombas

O ponto A no gráfico acima representa o ponto de funcionamento do sistema de recalque quando as duas bombas estão ligadas em paralelo.

12. Referências bibliográficas

MACINTYRE, Archibald Joseph. *Bombas e instalações de bombeamento*. 2ª. ed. Rio de Janeiro, Guanabara, 1987.

STREETER, Victor L. *Mecânica dos Fluidos*. Editora Mcgraw-Hill do Brasil Ltda.

DELMÉE, Gerard Jean. *Manual de Medição de Vazão*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.

COELHO, Adalberto Cavalcanti. *Medição de Água*, Política e Prática. Recife: Editora Comunicarte, 1996.

Apostilas de Pitometria da Sabesp e do Cetesb

Anotações de aulas do Autor

13. Referências na internet

Sites na internet sobre equipamentos de pitometria:

<http://www.cassiolima.com.br>

<http://www.enorsul.com.br>

<http://www.mecaltec.com.br>

<http://www.nuflotech.com>

<http://www.restor.com.br>

<http://www.sanea.com.br>

Outros Sites de interesse

<http://www.enops.com.br>

<http://www.enorsul.com.br>

<http://www.ercon.com.br>

http://www.exacta.ind.br/transmissores_pressao.shtm

<http://www.hytronic.com.br>

<http://www.levelcontrol.com.br>

<http://www.markare.com.br>

<http://www.novus.com.br>

<http://www.omega.com>

<http://www.presys.com.br/portugues/produtos/process/main.htm>

<http://www.sanea.com.br>

<http://www.smar.com/brasil>

<http://www.veeder.com.br>

http://www.zurichpt.com.br/apre_prod_1.htm

CURVA DE VELOCIDADE
PITOMETRIA[illegible][illegible]

Apêndice B – Planilhas de velocidade em função da deflexão e densidade do líquido pitométrico

TABELA DE VELOCIDADE

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
01		0,042	0,064	0,098	0,173	0,439
02	0,176	0,060	0,090	0,138	0,244	0,618
03	0,216	0,073	0,109	0,169	0,298	0,755
04	0,248	0,084	0,126	0,194	0,343	0,870
05	0,277	0,094	0,141	0,217	0,383	0,972
06	0,306	0,103	0,154	0,237	0,419	1,064
07	0,328	0,111	0,166	0,256	0,451	1,147
08	0,353	0,118	0,177	0,273	0,482	1,234
09	0,373	0,125	0,188	0,289	0,511	1,299
10	0,393	0,132	0,198	0,305	0,538	1,369
11	0,412	0,138	0,207	0,320	0,564	1,433
12	0,429	0,145	0,217	0,334	0,589	1,496
13	0,447	0,150	0,225	0,347	0,613	1,557
14	0,463	0,156	0,234	0,360	0,635	1,615
15	0,479	0,161	0,242	0,372	0,658	1,671
16	0,494	0,167	0,250	0,385	0,679	1,725
17	0,510	0,172	0,258	0,396	0,700	1,777
18	0,525	0,176	0,265	0,407	0,720	1,827
19	0,539	0,181	0,272	0,419	0,739	1,877
20	0,553	0,186	0,279	0,429	0,758	1,927
21	0,566	0,191	0,286	0,440	0,777	1,972
22	0,579	0,196	0,292	0,450	0,794	2,018
23	0,592	0,199	0,299	0,460	0,812	2,063
24	0,604	0,204	0,305	0,469	0,830	2,106
25	0,616	0,207	0,311	0,479	0,846	2,150
26	0,628	0,212	0,317	0,488	0,862	2,191
27	0,640	0,216	0,324	0,498	0,878	2,232
28	0,653	0,220	0,330	0,507	0,894	2,272
29	0,664	0,224	0,336	0,516	0,910	2,312
30	0,675	0,227	0,341	0,524	0,926	2,352
31	0,686	0,231	0,346	0,533	0,941	2,390

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
32	0,697	0,235	0,351	0,541	0,956	2,427
33	0,707	0,239	0,357	0,550	0,971	2,464
34	0,718	0,242	0,362	0,558	0,985	2,500
35	0,727	0,245	0,367	0,566	0,999	2,536
36	0,738	0,248	0,372	0,574	1,013	2,572
37	0,747	0,252	0,378	0,582	1,027	2,607
38	0,758	0,255	0,383	0,589	1,040	2,642
39	0,768	0,259	0,388	0,597	1,054	2,676
40	0,778	0,262	0,392	0,604	1,067	2,710
41	0,787	0,265	0,397	0,612	1,080	2,743
42	0,797	0,268	0,402	0,619	1,093	2,775
43	0,806	0,271	0,407	0,627	1,106	2,808
44	0,815	0,274	0,411	0,634	1,118	2,840
45	0,824	0,277	0,416	0,641	1,131	2,872
46	0,833	0,280	0,420	0,648	1,143	2,903
47	0,842	0,284	0,425	0,655	1,155	2,934
48	0,850	0,287	0,429	0,661	1,167	2,964
49	0,859	0,290	0,434	0,668	1,179	2,994
50	0,869	0,292	0,438	0,674	1,191	3,024
51	0,877	0,295	0,442	0,681	1,203	3,054
52	0,885	0,298	0,446	0,688	1,215	3,083
53	0,894	0,301	0,451	0,694	1,227	3,112
54	0,901	0,303	0,455	0,700	1,238	3,141
55	0,910	0,306	0,459	0,707	1,249	3,172
56	0,918	0,309	0,463	0,713	1,260	3,202
57	0,926	0,312	0,467	0,720	1,271	3,228
58	0,933	0,314	0,471	0,726	1,281	3,254
59	0,941	0,317	0,475	0,732	1,292	3,282
60	0,949	0,320	0,479	0,738	1,303	3,309
61	0,958	0,323	0,483	0,744	1,314	3,336
62	0,965	0,325	0,487	0,750	1,324	3,363
63	0,973	0,328	0,491	0,756	1,335	3,390
64	0,980	0,330	0,494	0,762	1,345	3,416
65	0,988	0,333	0,498	0,768	1,355	3,442
66	0,996	0,335	0,502	0,773	1,365	3,468
67	1,002	0,338	0,506	0,779	1,376	3,494
68	1,010	0,340	0,509	0,785	1,386	3,519
69	1,017	0,343	0,513	0,791	1,396	3,545

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
70	1,025	0,345	0,517	0,797	1,406	3,570
71	1,032	0,348	0,521	0,802	1,416	3,595
72	1,039	0,350	0,524	0,807	1,425	3,620
73	1,046	0,353	0,528	0,813	1,435	3,645
74	1,053	0,355	0,531	0,818	1,444	3,669
75	1,060	0,357	0,535	0,824	1,454	3,695
76	1,067	0,359	0,538	0,830	1,464	3,720
77	1,074	0,362	0,542	0,835	1,474	3,743
78	1,081	0,364	0,545	0,840	1,483	3,766
79	1,088	0,366	0,549	0,845	1,493	3,790
80	1,095	0,368	0,552	0,850	1,502	3,813
81	1,101	0,371	0,556	0,856	1,511	3,837
82	1,108	0,373	0,559	0,861	1,520	3,860
83	1,115	0,376	0,563	0,866	1,529	3,883
84	1,121	0,378	0,566	0,871	1,538	3,906
85	1,128	0,380	0,569	0,876	1,547	3,929
86	1,134	0,382	0,572	0,881	1,556	3,951
87	1,140	0,384	0,576	0,887	1,565	3,974
88	1,147	0,386	0,579	0,892	1,574	3,997
89	1,153	0,389	0,582	0,897	1,583	4,019
90	1,160	0,391	0,585	0,901	1,591	4,041
91	1,166	0,393	0,589	0,907	1,600	4,063
92	1,172	0,395	0,592	0,912	1,609	4,085
93	1,179	0,397	0,595	0,917	1,618	4,107
94	1,185	0,398	0,598	0,921	1,626	4,129
95	1,191	0,401	0,601	0,926	1,634	4,151
96	1,197	0,403	0,604	0,931	1,642	4,172
97	1,203	0,405	0,607	0,936	1,651	4,194
98	1,209	0,407	0,610	0,940	1,659	4,215
99	1,215	0,410	0,613	0,945	1,668	4,236
100	1,221	0,412	0,616	0,950	1,676	4,256
101	1,227	0,414	0,619	0,955	1,685	4,278
102	1,233	0,415	0,622	0,959	1,693	4,299
103	1,239	0,417	0,625	0,964	1,701	4,320
104	1,245	0,419	0,628	0,968	1,709	4,340
105	1,251	0,421	0,631	0,973	1,717	4,350
106	1,257	0,423	0,634	0,977	1,725	4,380
107	1,263	0,425	0,638	0,982	1,733	4,401

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
108	1,269	0,427	0,641	0,986	1,741	4,421
109	1,275	0,429	0,644	0,991	1,749	4,441
110	1,281	0,431	0,646	0,996	1,757	4,461
111	1,287	0,433	0,649	1,000	1,765	4,481
112	1,292	0,435	0,652	1,004	1,773	4,501
113	1,298	0,437	0,655	1,009	1,781	4,521
114	1,303	0,439	0,658	1,013	1,788	4,541
115	1,309	0,441	0,661	1,017	1,796	4,561
116	1,314	0,442	0,663	1,021	1,804	4,580
117	1,320	0,445	0,666	1,026	1,812	4,599
118	1,325	0,447	0,669	1,030	1,819	4,618
119	1,331	0,449	0,672	1,035	1,827	4,637
120	1,336	0,450	0,674	1,039	1,834	4,656
121	1,342	0,452	0,677	1,043	1,842	4,676
122	1,347	0,453	0,680	1,047	1,849	4,695
123	1,353	0,455	0,683	1,052	1,857	4,714
124	1,358	0,457	0,686	1,056	1,864	4,732
125	1,364	0,459	0,689	1,061	1,872	4,751
126	1,369	0,460	0,691	1,065	1,879	4,770
127	1,374	0,463	0,694	1,069	1,886	4,789
128	1,379	0,465	0,696	1,072	1,893	4,807
129	1,385	0,467	0,699	1,077	1,901	4,826
130	1,390	0,468	0,701	1,081	1,908	4,844
131	1,395	0,470	0,704	1,085	1,915	4,863
132	1,400	0,472	0,707	1,089	1,922	4,881
133	1,406	0,474	0,710	1,093	1,930	4,899
134	1,411	0,475	0,713	1,097	1,937	4,917
135	1,416	0,477	0,716	1,101	1,944	4,935
136	1,421	0,479	0,718	1,105	1,951	4,953
137	1,426	0,481	0,721	1,109	1,958	4,971
138	1,431	0,482	0,723	1,113	1,965	4,988
139	1,436	0,484	0,726	1,118	1,972	5,006
140	1,442	0,486	0,728	1,122	1,979	5,024
141	1,447	0,488	0,731	1,126	1,986	5,042
142	1,452	0,489	0,733	1,129	1,992	5,060
143	1,457	0,491	0,736	1,133	2,000	5,078
144	1,462	0,492	0,738	1,137	2,007	5,095
145	1,467	0,494	0,741	1,141	2,014	5,112

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
146	1,472	0,495	0,743	1,145	2,021	5,129
147	1,477	0,497	0,746	1,149	2,028	5,147
148	1,482	0,499	0,748	1,153	2,034	5,164
149	1,487	0,501	0,751	1,157	2,041	5,181
150	1,491	0,502	0,753	1,160	2,047	5,198
151	1,497	0,504	0,756	1,164	2,054	5,215
152	1,500	0,506	0,758	1,167	2,061	5,232
153	1,506	0,507	0,761	1,171	2,068	5,249
154	1,512	0,508	0,763	1,175	2,075	5,266
155	1,514	0,510	0,766	1,179	2,081	5,283
156	1,520	0,512	0,768	1,183	2,087	5,300
157	1,527	0,514	0,770	1,187	2,094	5,317
158	1,530	0,515	0,772	1,190	2,101	5,333
159	1,535	0,517	0,775	1,194	2,108	5,350
160	1,541	0,519	0,778	1,197	2,114	5,366
161	1,544	0,520	0,780	1,201	2,121	5,383
162	1,550	0,521	0,782	1,205	2,127	5,399
163	1,555	0,523	0,785	1,209	2,133	5,416
164	1,558	0,525	0,787	1,212	2,139	5,432
165	1,564	0,527	0,789	1,216	2,146	5,448
166	1,569	0,528	0,791	1,220	2,152	5,464
167	1,572	0,530	0,794	1,224	2,159	5,480
168	1,577	0,531	0,797	1,227	2,165	5,496
169	1,583	0,533	0,799	1,230	2,172	5,513
170	1,586	0,535	0,801	1,233	2,178	5,529
171	1,591	0,536	0,803	1,237	2,184	5,545
172	1,597	0,537	0,805	1,241	2,190	5,560
173	1,600	0,539	0,808	1,245	2,197	5,576
174	1,605	0,541	0,810	1,248	2,203	5,592
175	1,611	0,542	0,813	1,252	2,209	5,609
176	1,614	0,543	0,815	1,255	2,215	5,625
177	1,619	0,545	0,817	1,259	2,222	5,641
178	1,624	0,547	0,819	1,262	2,228	5,656
179	1,627	0,548	0,822	1,266	2,234	5,672
180	1,632	0,549	0,824	1,269	2,240	5,687
181	1,637	0,551	0,827	1,272	2,246	5,703
182	1,640	0,553	0,829	1,275	2,252	5,718
183	1,645	0,554	0,831	1,279	2,259	5,734

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
184	1,651	0,555	0,833	1,283	2,265	5,749
185	1,653	0,557	0,835	1,286	2,271	5,765
186	1,659	0,558	0,837	1,289	2,277	5,780
187	1,664	0,560	0,840	1,293	2,283	5,795
188	1,667	0,561	0,842	1,296	2,289	5,810
189	1,672	0,563	0,844	1,300	2,295	5,826
190	1,677	0,564	0,846	1,303	2,300	5,841
191	1,679	0,566	0,848	1,307	2,306	5,856
192	1,685	0,567	0,850	1,310	2,312	5,871
193	1,690	0,569	0,853	1,314	2,318	5,886
194	1,692	0,570	0,855	1,317	2,324	5,901
195	1,698	0,572	0,857	1,320	2,330	5,916
196	1,704	0,573	0,859	1,323	2,336	5,931
197	1,706	0,575	0,861	1,326	2,342	5,946
198	1,711	0,576	0,863	1,329	2,347	5,961
199	1,716	0,578	0,866	1,333	2,353	5,976
200	1,719	0,579	0,868	1,336	2,359	5,991
201	1,723	0,580	0,870	1,340	2,365	6,006
202	1,728	0,581	0,872	1,343	2,371	6,020
203	1,731	0,583	0,874	1,346	2,377	6,035
204	1,736	0,584	0,876	1,349	2,382	6,049
205	1,741	0,586	0,879	1,353	2,388	6,064
206	1,744	0,587	0,881	1,356	2,394	6,078
207	1,749	0,589	0,883	1,360	2,400	6,093
208	1,754	0,590	0,885	1,363	2,405	6,107
209	1,756	0,592	0,887	1,366	2,411	6,122
210	1,761	0,593	0,889	1,369	2,416	6,136
211	1,766	0,594	0,892	1,373	2,422	6,151
212	1,769	0,595	0,894	1,376	2,428	6,165
213	1,774	0,597	0,896	1,379	2,434	6,180
214	1,779	0,598	0,897	1,381	2,439	6,194
215	1,781	0,600	0,899	1,385	2,445	6,208
216	1,786	0,601	0,901	1,388	2,450	6,222
217	1,791	0,603	0,904	1,391	2,456	6,236
218	1,794	0,604	0,906	1,394	2,461	6,250
219	1,798	0,606	0,908	1,397	2,467	6,265
220	1,803	0,607	0,910	1,400	2,472	6,279
221	1,805	0,608	0,912	1,403	2,478	6,293

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
222	1,810	0,609	0,914	1,406	2,483	6,306
223	1,815	0,611	0,916	1,410	2,489	6,321
224	1,818	0,612	0,918	1,413	2,494	6,335
225	1,823	0,613	0,920	1,416	2,500	6,349
226	1,827	0,614	0,922	1,419	2,505	6,362
227	1,829	0,616	0,924	1,422	2,511	6,376
228	1,834	0,617	0,926	1,425	2,517	6,390
229	1,839	0,619	0,928	1,428	2,522	6,404
230	1,842	0,620	0,930	1,431	2,527	6,417
231	1,846	0,621	0,932	1,434	2,533	6,432
232	1,851	0,622	0,934	1,437	2,538	6,446
233	1,853	0,624	0,936	1,440	2,544	6,459
234	1,858	0,626	0,938	1,443	2,549	6,472
235	1,863	0,627	0,940	1,447	2,555	6,486
236	1,865	0,628	0,942	1,450	2,560	6,500
237	1,870	0,630	0,944	1,453	2,565	6,514
238	1,874	0,631	0,945	1,456	2,570	6,527
239	1,876	0,633	0,948	1,459	2,576	6,541
240	1,881	0,634	0,950	1,462	2,581	6,554
241	1,886	0,635	0,952	1,465	2,586	6,567
242	1,888	0,636	0,953	1,468	2,591	6,580
243	1,893	0,638	0,956	1,471	2,596	6,594
244	1,898	0,639	0,958	1,474	2,601	6,608
245	1,900	0,640	0,960	1,477	2,607	6,621
246	1,904	0,641	0,961	1,480	2,613	6,634
247	1,909	0,642	0,963	1,483	2,618	6,647
248	1,911	0,643	0,965	1,485	2,623	6,660
249	1,916	0,645	0,967	1,488	2,628	6,674
250	1,920	0,646	0,969	1,491	2,633	6,687
251	1,922	0,647	0,971	1,494	2,638	6,700
252	1,927	0,648	0,973	1,497	2,643	6,713
253	1,931	0,650	0,975	1,500	2,649	6,726
254	1,934	0,651	0,977	1,503	2,654	6,739
255	1,938	0,653	0,979	1,506	2,660	6,753
256	1,943	0,654	0,980	1,509	2,665	6,766
257	1,945	0,655	0,982	1,512	2,670	6,779
258	1,950	0,656	0,984	1,514	2,675	6,792
259	1,954	0,658	0,986	1,517	2,680	6,805

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
260	1,956	0,659	0,988	1,520	2,685	6,817
261	1,961	0,660	0,990	1,524	2,690	6,830
262	1,965	0,661	0,991	1,527	2,695	6,843
263	1,967	0,663	0,994	1,530	2,700	6,856
264	1,972	0,664	0,996	1,532	2,705	6,869
265	1,976	0,666	0,998	1,535	2,710	6,882
266	1,979	0,667	0,999	1,538	2,715	6,895
267	1,983	0,668	1,001	1,541	2,720	6,908
268	1,987	0,669	1,002	1,544	2,725	6,920
269	1,989	0,670	1,005	1,547	2,730	6,933
270	1,993	0,671	1,007	1,550	2,735	6,946
271	1,998	0,673	1,009	1,553	2,740	6,959
272	2,000	0,674	1,010	1,555	2,745	6,971
273	2,005	0,675	1,012	1,558	2,750	6,984
274	2,009	0,676	1,014	1,561	2,755	6,996
275	2,011	0,678	1,016	1,564	2,760	7,009
276	2,016	0,679	1,017	1,566	2,765	7,021
277	2,020	0,680	1,019	1,569	2,770	7,034
278	2,022	0,681	1,021	1,572	2,775	7,046
279	2,026	0,682	1,023	1,575	2,780	7,059
280	2,031	0,683	1,025	1,577	2,785	7,072
281	2,033	0,685	1,027	1,580	2,790	7,084
282	2,037	0,686	1,028	1,583	2,795	7,095
283	2,041	0,687	1,030	1,586	2,800	7,109
284	2,043	0,688	1,032	1,588	2,804	7,121
285	2,048	0,690	1,034	1,591	2,809	7,133
286	2,052	0,691	1,035	1,594	2,813	7,145
287	2,053	0,692	1,037	1,597	2,819	7,158
288	2,058	0,693	1,039	1,600	2,824	7,171
289	2,063	0,694	1,041	1,603	2,829	7,183
290	2,065	0,695	1,042	1,605	2,833	7,195
291	2,069	0,697	1,044	1,608	2,838	7,207
292	2,072	0,698	1,046	1,611	2,843	7,219
293	2,074	0,699	1,048	1,614	2,848	7,232
294	2,079	0,700	1,050	1,616	2,853	7,244
295	2,083	0,701	1,052	1,619	2,858	7,256
296	2,085	0,702	1,053	1,621	2,862	7,268
297	2,090	0,704	1,055	1,624	2,867	7,280

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
298	2,094	0,705	1,057	1,627	2,871	7,292
299	2,096	0,706	1,059	1,630	2,877	7,305
300	2,100	0,707	1,060	1,632	2,882	7,317
301	2,104	0,708	1,062	1,635	2,887	7,329
302	2,106	0,709	1,064	1,637	2,891	7,340
303	2,110	0,711	1,066	1,640	2,896	7,352
304	2,114	0,712	1,067	1,642	2,900	7,364
305	2,116	0,713	1,069	1,645	2,905	7,376
306	2,121	0,714	1,071	1,648	2,909	7,387
307	2,125	0,715	1,073	1,651	2,914	7,399
308	2,127	0,716	1,074	1,653	2,919	7,411
309	2,131	0,718	1,076	1,656	2,924	7,424
310	2,135	0,719	1,078	1,659	2,929	7,436
311	2,137	0,720	1,080	1,662	2,933	7,448
312	2,141	0,720	1,081	1,664	2,937	7,459
313	2,145	0,722	1,083	1,667	2,942	7,471
314	2,147	0,723	1,084	1,669	2,947	7,483
315	2,151	0,725	1,086	1,672	2,952	7,495
316	2,155	0,726	1,088	1,674	2,956	7,506
317	2,157	0,727	1,090	1,677	2,961	7,518
318	2,161	0,727	1,091	1,679	2,965	7,529
319	2,165	0,729	1,093	1,682	2,970	7,541
320	2,167	0,730	1,095	1,685	2,974	7,553
321	2,171	0,731	1,097	1,688	2,979	7,564
322	2,175	0,732	1,098	1,690	2,983	7,575
323	2,177	0,733	1,100	1,692	2,988	7,587
324	2,181	0,734	1,101	1,694	2,993	7,599
325	2,186	0,736	1,103	1,698	2,997	7,611
326	2,188	0,737	1,104	1,701	3,001	7,622
327	2,191	0,738	1,106	1,704	3,006	7,634
328	2,195	0,739	1,108	1,706	3,010	7,645
329	2,197	0,740	1,110	1,709	3,015	7,657
330	2,201	0,741	1,111	1,711	3,020	7,668
331	2,205	0,742	1,113	1,714	3,024	7,680
332	2,207	0,743	1,115	1,716	3,028	7,691
333	2,211	0,745	1,117	1,719	3,033	7,703
334	2,215	0,746	1,118	1,721	3,038	7,714
335	2,217	0,747	1,120	1,723	3,043	7,726

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
336	2,221	0,747	1,121	1,725	3,047	7,737
337	2,225	0,749	1,123	1,728	3,051	7,748
338	2,227	0,750	1,124	1,731	3,055	7,759
339	2,230	0,751	1,126	1,734	3,060	7,771
340	2,234	0,752	1,128	1,736	3,065	7,782
341	2,236	0,753	1,130	1,739	3,069	7,793
342	2,240	0,754	1,131	1,741	3,073	7,804
343	2,243	0,755	1,133	1,744	3,078	7,815
344	2,246	0,756	1,134	1,746	3,082	7,826
345	2,250	0,758	1,136	1,749	3,087	7,838
346	2,254	0,759	1,138	1,751	3,091	7,850
347	2,255	0,760	1,139	1,754	3,096	7,861
348	2,259	0,761	1,140	1,756	3,100	7,872
349	2,263	0,762	1,142	1,759	3,104	7,883
350	2,265	0,763	1,144	1,761	3,108	7,894
351	2,269	0,764	1,146	1,764	3,113	7,905
352	2,273	0,765	1,147	1,766	3,117	7,916
353	2,275	0,766	1,149	1,769	3,122	7,928
354	2,278	0,767	1,150	1,771	3,126	7,939
355	2,283	0,768	1,152	1,774	3,130	7,950
356	2,285	0,769	1,153	1,776	3,134	7,961
357	2,288	0,771	1,155	1,779	3,139	7,972
358	2,292	0,772	1,157	1,781	3,144	7,982
359	2,294	0,773	1,159	1,784	3,148	7,994
360	2,297	0,774	1,160	1,786	3,152	8,005
361	2,300	0,775	1,162	1,789	3,157	8,016
362	2,303	0,776	1,163	1,791	3,161	8,027
363	2,306	0,777	1,165	1,794	3,165	8,038
364	2,309	0,778	1,166	1,796	3,169	8,048
365	2,312	0,779	1,168	1,798	3,174	8,059
366	2,315	0,780	1,170	1,800	3,178	8,070
367	2,318	0,781	1,171	1,803	3,182	8,081
368	2,321	0,782	1,172	1,805	3,186	8,092
369	2,324	0,783	1,174	1,808	3,191	8,103
370	2,327	0,784	1,176	1,810	3,195	8,113
371	2,330	0,785	1,178	1,813	3,199	8,124
372	2,333	0,786	1,179	1,815	3,203	8,134
373	2,336	0,787	1,181	1,818	3,208	8,145

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
374	2,339	0,788	1,182	1,820	3,212	8,156
375	2,342	0,789	1,184	1,823	3,216	8,167
376	2,347	0,790	1,185	1,825	3,220	8,178
377	2,350	0,791	1,187	1,827	3,225	8,189
378	2,353	0,792	1,188	1,829	3,229	8,199
379	2,356	0,793	1,190	1,832	3,233	8,210
380	2,359	0,794	1,191	1,834	3,237	8,221
381	2,362	0,795	1,193	1,837	3,242	8,232
382	2,365	0,796	1,195	1,839	3,246	8,242
383	2,368	0,797	1,196	1,842	3,250	8,253
384	2,371	0,798	1,197	1,844	3,254	8,263
385	2,374	0,800	1,199	1,846	3,259	8,274
386	2,377	0,801	1,201	1,848	3,263	8,284
387	2,379	0,802	1,202	1,851	3,267	8,295
388	2,382	0,803	1,203	1,853	3,270	8,306
389	2,385	0,804	1,205	1,856	3,275	8,317
390	2,388	0,805	1,207	1,858	3,279	8,327
391	2,391	0,806	1,208	1,861	3,283	8,338
392	2,394	0,807	1,209	1,863	3,287	8,348
393	2,397	0,808	1,211	1,865	3,292	8,359
394	2,400	0,809	1,213	1,867	3,296	8,369
395	2,403	0,810	1,214	1,870	3,300	8,379
396	2,405	0,811	1,215	1,872	3,303	8,389
397	2,408	0,812	1,217	1,874	3,308	8,400
398	2,411	0,813	1,219	1,876	3,312	8,411
399	2,414	0,814	1,220	1,879	3,316	8,421
400	2,417	0,815	1,221	1,881	3,320	8,431
401	2,420	0,816	1,223	1,884	3,324	8,441
402	2,423	0,817	1,225	1,886	3,328	8,451
403	2,426	0,818	1,226	1,888	3,332	8,462
404	2,429	0,819	1,227	1,890	3,336	8,472
405	2,432	0,820	1,229	1,893	3,341	8,483
406	2,435	0,821	1,231	1,895	3,345	8,493
407	2,438	0,822	1,232	1,898	3,349	8,504
408	2,441	0,823	1,233	1,900	3,352	8,514
409	2,444	0,824	1,235	1,902	3,357	8,524
410	2,447	0,825	1,237	1,904	3,361	8,534
411	2,450	0,826	1,238	1,907	3,365	8,545

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
412	2,453	0,827	1,239	1,909	3,369	8,555
413	2,456	0,828	1,241	1,911	3,373	8,566
414	2,459	0,829	1,243	1,913	3,377	8,576
415	2,462	0,830	1,244	1,916	3,381	8,586
416	2,465	0,831	1,245	1,918	3,385	8,595
417	2,468	0,832	1,247	1,920	3,389	8,606
418	2,471	0,833	1,249	1,922	3,393	8,616
419	2,474	0,834	1,250	1,925	3,397	8,627
420	2,478	0,835	1,251	1,927	3,401	8,637
421	2,481	0,836	1,253	1,929	3,405	8,647
422	2,483	0,837	1,254	1,931	3,409	8,657
423	2,486	0,838	1,256	1,934	3,413	8,667
424	2,489	0,838	1,257	1,936	3,417	8,676
425	2,492	0,840	1,259	1,938	3,421	8,687
426	2,494	0,841	1,260	1,940	3,425	8,697
427	2,497	0,842	1,262	1,943	3,429	8,707
428	2,500	0,843	1,263	1,945	3,433	8,717
429	2,503	0,844	1,265	1,948	3,437	8,728
430	2,505	0,844	1,266	1,950	3,441	8,737
431	2,508	0,845	1,268	1,952	3,445	8,747
432	2,511	0,846	1,269	1,954	3,448	8,757
433	2,514	0,848	1,271	1,956	3,453	8,767
434	2,517	0,849	1,272	1,958	3,457	8,777
435	2,520	0,850	1,274	1,961	3,461	8,788
436	2,522	0,850	1,275	1,963	3,464	8,798
437	2,525	0,851	1,276	1,965	3,468	8,808
438	2,527	0,852	1,277	1,967	3,472	8,817
439	2,530	0,853	1,279	1,970	3,476	8,827
440	2,533	0,854	1,281	1,972	3,480	8,836
441	2,536	0,855	1,282	1,974	3,484	8,847
442	2,538	0,856	1,283	1,976	3,487	8,857
443	2,541	0,857	1,285	1,979	3,492	8,867
444	2,544	0,858	1,287	1,981	3,496	8,876
445	2,547	0,859	1,288	1,983	3,500	8,886
446	2,549	0,860	1,289	1,985	3,503	8,896
447	2,551	0,861	1,291	1,987	3,507	8,906
448	2,555	0,862	1,292	1,989	3,511	8,916
449	2,558	0,863	1,293	1,991	3,515	8,926

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
450	2,560	0,863	1,294	1,993	3,518	8,935
451	2,563	0,865	1,296	1,996	3,522	8,945
452	2,565	0,866	1,298	1,998	3,526	8,955
453	2,567	0,867	1,299	2,000	3,530	8,965
454	2,570	0,868	1,300	2,002	3,534	8,974
455	2,576	0,869	1,302	2,005	3,538	8,984
456	2,579	0,869	1,303	2,007	3,541	8,994
457	2,581	0,870	1,305	2,009	3,545	9,003
458	2,583	0,871	1,306	2,011	3,549	9,012
459	2,586	0,872	1,308	2,014	3,553	9,023
460	2,589	0,873	1,309	2,016	3,557	9,033
461	2,591	0,874	1,310	2,018	3,561	9,043
462	2,594	0,874	1,311	2,020	3,564	9,052
463	2,598	0,876	1,313	2,022	3,568	9,062
464	2,601	0,877	1,314	2,024	3,572	9,072
465	2,604	0,878	1,316	2,026	3,576	9,081
466	2,607	0,879	1,317	2,028	3,580	9,090
467	2,609	0,880	1,319	2,031	3,584	9,100
468	2,613	0,881	1,320	2,033	3,588	9,109
469	2,615	0,882	1,322	2,035	3,592	9,119
470	2,618	0,882	1,323	2,037	3,595	9,129
471	2,620	0,883	1,324	2,039	3,599	9,138
472	2,623	0,884	1,325	2,041	3,602	9,147
473	2,625	0,885	1,327	2,043	3,606	9,157
474	2,628	0,886	1,328	2,045	3,610	9,166
475	2,630	0,887	1,330	2,048	3,614	9,176
476	2,633	0,888	1,331	2,050	3,618	9,185
477	2,635	0,889	1,333	2,052	3,622	9,195
478	2,638	0,890	1,334	2,053	3,625	9,205
479	2,640	0,891	1,335	2,056	3,629	9,214
480	2,643	0,892	1,336	2,058	3,632	9,223
481	2,646	0,893	1,338	2,061	3,637	9,233
482	2,649	0,894	1,339	2,063	3,641	9,242
483	2,652	0,895	1,341	2,065	3,644	9,252
484	2,654	0,895	1,342	2,067	3,647	9,262
485	2,657	0,896	1,344	2,069	3,651	9,272
486	2,660	0,897	1,345	2,070	3,655	9,281
487	2,662	0,898	1,346	2,072	3,659	9,290

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
488	2,665	0,899	1,347	2,074	3,662	9,299
489	2,667	0,900	1,349	2,077	3,666	9,308
490	2,670	0,900	1,350	2,079	3,669	9,317
491	2,672	0,901	1,352	2,081	3,673	9,327
492	2,675	0,902	1,353	2,083	3,677	9,337
493	2,677	0,903	1,354	2,085	3,681	9,346
494	2,680	0,904	1,355	2,087	3,684	9,355
495	2,682	0,905	1,357	2,090	3,688	9,365
496	2,690	0,906	1,358	2,092	3,691	9,374
497	2,693	0,907	1,360	2,094	3,695	9,383
498	2,695	0,908	1,361	2,096	3,699	9,392
499	2,697	0,909	1,363	2,098	3,703	9,402
500	2,700	0,910	1,364	2,100	3,707	9,411
501	2,703	0,911	1,365	2,102	3,710	9,420
502	2,705	0,912	1,366	2,104	3,713	9,429
503	2,708	0,913	1,368	2,106	3,717	9,438
504	2,710	0,914	1,369	2,108	3,721	9,447
505	2,712	0,915	1,370	2,110	3,725	9,457
506	2,715	0,915	1,371	2,112	3,728	9,467
507	2,718	0,916	1,373	2,114	3,732	9,476
508	2,720	0,917	1,374	2,116	3,735	9,485
509	2,723	0,918	1,375	2,119	3,739	9,494
510	2,725	0,919	1,376	2,121	3,743	9,503
511	2,727	0,920	1,378	2,123	3,747	9,512
512	2,730	0,920	1,379	2,125	3,750	9,521
513	2,733	0,921	1,381	2,127	3,754	9,531
514	2,735	0,922	1,382	2,128	3,757	9,540
515	2,737	0,923	1,384	2,131	3,761	9,549
516	2,740	0,924	1,385	2,133	3,764	9,558
517	2,742	0,925	1,387	2,135	3,768	9,567
518	2,745	0,926	1,388	2,137	3,771	9,575
519	2,747	0,927	1,389	2,139	3,775	9,585
520	2,750	0,927	1,390	2,141	3,778	9,594
521	2,752	0,928	1,392	2,143	3,782	9,604
522	2,755	0,929	1,393	2,145	3,786	9,613
523	2,757	0,930	1,394	2,147	3,790	9,622
524	2,760	0,931	1,395	2,149	3,793	9,631
525	2,763	0,932	1,397	2,151	3,797	9,640

DEFLEXAO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
526	2,765	0,932	1,398	2,153	3,800	9,648
527	2,767	0,933	1,399	2,155	3,804	9,658
528	2,770	0,934	1,400	2,157	3,807	9,667
529	2,772	0,935	1,402	2,159	3,811	9,676
530	2,775	0,936	1,403	2,161	3,814	9,684
531	2,777	0,937	1,405	2,163	3,818	9,694
532	2,780	0,938	1,406	2,165	3,822	9,703
533	2,782	0,939	1,407	2,167	3,825	9,712
534	2,785	0,939	1,408	2,169	3,828	9,720
535	2,788	0,940	1,410	2,171	3,832	9,729
536	2,790	0,941	1,411	2,173	3,835	9,738
537	2,793	0,942	1,412	2,175	3,839	9,747
538	2,795	0,943	1,413	2,177	3,843	9,756
539	2,798	0,944	1,415	2,179	3,846	9,766
540	2,800	0,945	1,416	2,181	3,849	9,775
541	2,804	0,946	1,417	2,184	3,853	9,783
542	2,809	0,946	1,418	2,186	3,856	9,791
543	2,811	0,947	1,420	2,188	3,860	9,801
544	2,813	0,948	1,421	2,189	3,863	9,810
545	2,816	0,949	1,423	2,191	3,867	9,819
546	2,819	0,950	1,424	2,193	3,870	9,828
547	2,822	0,951	1,425	2,195	3,874	9,837
548	2,824	0,952	1,426	2,197	3,877	9,845
549	2,827	0,953	1,428	2,199	3,881	9,854
550	2,829	0,953	1,429	2,201	3,884	9,862
551	2,831	0,954	1,430	2,203	3,888	9,871
552	2,833	0,955	1,431	2,205	3,891	9,880
553	2,835	0,956	1,433	2,207	3,895	9,889
554	2,838	0,957	1,434	2,208	3,899	9,898
555	2,840	0,958	1,435	2,211	3,902	9,907
556	2,843	0,958	1,436	2,213	3,905	9,916
557	2,845	0,959	1,438	2,215	3,909	9,925
558	2,848	0,960	1,439	2,217	3,912	9,934
559	2,850	0,961	1,441	2,219	3,916	9,943
560	2,853	0,962	1,442	2,221	3,919	9,951
561	2,856	0,963	1,443	2,223	3,923	9,960
562	2,858	0,964	1,444	2,225	3,926	9,968
563	2,860	0,965	1,446	2,227	3,930	9,977

Ensaio pitométrico

DEFLEXÃO (mm)	DENSIDADE NOMINAL DO LÍQUIDO					
	1,00	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
564	2,862	0,965	1,447	2,228	3,933	9,986
565	2,864	0,966	1,448	2,230	3,937	9,995
566	2,867	0,967	1,449	2,232	3,940	10,003
567	2,869	0,968	1,451	2,234	3,944	10,012
568	2,871	0,969	1,452	2,236	3,947	10,021
569	2,874	0,970	1,454	2,238	3,951	10,030
570	2,877	0,971	1,455	2,240	3,954	10,038
571	2,880	0,972	1,456	2,242	3,957	10,047
572	2,883	0,972	1,457	2,243	3,960	10,055
573	2,886	0,973	1,459	2,246	3,964	10,064
574	2,889	0,974	1,460	2,248	3,967	10,073
575	2,891	0,975	1,461	2,250	3,971	10,082
576	2,893	0,976	1,462	2,252	3,974	10,090
577	2,896	0,977	1,463	2,254	3,978	10,099
578	2,898	0,977	1,464	2,255	3,981	10,108
579	2,900	0,978	1,466	2,257	3,984	10,116
580	2,902	0,979	1,467	2,259	3,987	10,124
581	2,905	0,980	1,468	2,261	3,991	10,133
582	2,907	0,981	1,469	2,263	3,994	10,141
583	2,909	0,982	1,471	2,265	3,998	10,150
584	2,911	0,982	1,472	2,267	4,001	10,159
585	2,914	0,983	1,473	2,269	4,005	10,168
586	2,916	0,984	1,474	2,271	4,008	10,176
587	2,919	0,985	1,476	2,273	4,011	10,185
588	2,921	0,985	1,477	2,275	4,014	10,194
589	2,924	0,986	1,478	2,277	4,018	10,202
590	2,933	0,987	1,479	2,278	4,021	10,209
591	2,929	0,988	1,481	2,281	4,025	10,218
592	2,931	0,989	1,482	2,283	4,028	10,227
593	2,933	0,990	1,483	2,285	4,032	10,236
594	2,935	0,990	1,484	2,286	4,035	10,244
595	2,937	0,991	1,486	2,288	4,038	10,253
596	2,940	0,992	1,487	2,290	4,041	10,262
597	2,942	0,993	1,488	2,292	4,045	10,271
598	2,945	0,994	1,489	2,294	4,048	10,279
599	2,947	0,995	1,490	2,296	4,052	10,287
600	2,956	0,996	1,491	2,297	4,055	10,295

Apêndice C – Toxicidade dos líquidos pitométricos usados em pitometria

TETRACLOROETILENO

SINÔNIMOS: Percloroetileno, Percлено, Perk, Tetracloroeteno

FÓRMULA: C_2Cl_4

APARÊNCIA: Líquido aquoso, sem coloração, odor doce, produz vapor irritante

Propriedades físicas:

Ponto de Fusão: $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ponto de Ebulição: $121\text{ }^{\circ}\text{C}$

Densidade: $1,6\text{ g/cm}^3$

Solubilidade: $0,02\%$ solúvel em água

Reações perigosas

Ocorre com metais como alumínio, lítio, bário e berílio

Toxidez – Risco à saúde

Inalação: Risco Moderado

Causa dores de cabeça, sonolência, vertigens, náuseas e perda de consciência

Contato com os olhos: Risco Baixo

Causa vermelhidão e dor

Contato com a pele: Risco Moderado

Causa ressecamento da pele, vermelhidão e queimaduras cutâneas.

Ingestão: Risco Moderado

Causa dores abdominais

Procedimentos de primeiros socorros

Inalação: Remover para local arejado. Se respirar com dificuldade, administrar oxigênio, aplicar respiração boca a boca

Contato com os olhos: Lavar imediatamente em água corrente por, pelo menos, 15 minutos

Contato com a pele: Lavar imediatamente em água corrente até que toda a substância seja removida da pele

Ingestão: Se a vítima estiver consciente, provocar vômito e fazer com que beba bastante água

Equipamentos de proteção individual

Respiratória: Máscara autônoma

Proteção das mãos: Luvas de PVC ou similar

Proteção dos olhos: Óculos de proteção

Outros: Manusear com abrigo de mangas compridas

Manuseio e Armazenagem

Usar em local ventilado.

Manter afastado de calor, faíscas e chamas.

Isolar de substâncias incompatíveis.

Procedimentos em derrames – Vazamentos

Isolar a área

Conter o vazamento

Usar neblina de água para conter vazamento

TETRABROMOETANO

SINÔNIMOS: Tetrabromoacetileno, TBE

FÓRMULA: $C_2H_2Br_4$

APARÊNCIA: Líquido aquoso, sem coloração, com forte odor de cânfora

Propriedades físicas:

Ponto de Fusão: 0 °C

Ponto de Ebulição: 135 °C

Densidade: 2,96 g/cm³

Solubilidade: Desprezível

Reações perigosas

Ocorre com agentes fortemente oxidantes, alumínio, magnésio e álcalis metais. bário e berílio

Toxidez – Risco à saúde

Inalação: Risco Moderado

Causa irritação dos olhos, nariz e garganta

Exposição prolongada pode causar dor de cabeça, náuseas e fadiga

Contato com a pele: Risco Moderado

Causa ressecamento da pele, vermelhidão e queimaduras cutâneas

Ingestão: Risco Moderado

Causa dores abdominais

Procedimentos de primeiros socorros

Inalação: Remover para local arejado. Se respirar com dificuldade, ministrar oxigênio, aplicar respiração boca a boca

Contato com os olhos: Lavar imediatamente em água corrente por, pelo menos, 15 minutos

Contato com a pele: Lavar imediatamente em água corrente até que toda a substância seja removida da pele

Ingestão: Se a vítima estiver consciente, provocar vômito e fazer com que beba bastante água

Equipamentos de proteção individual

Respiratória: Máscara autônoma

Proteção das mãos: Luvas de PVC ou similar

Proteção dos olhos: Óculos de proteção

Outros: Manusear com abrigo de mangas compridas

Manuseio e armazenagem

Usar em local ventilado

Manter afastado de calor, faíscas e chamas

Isolar de substâncias incompatíveis

Procedimentos em derrames – Vazamentos

Isolar a área

Conter o vazamento

Usar neblina de água para conter vazamento

MERCÚRIO

SINÔNIMOS: Não

FÓRMULA: Hg

APARÊNCIA: Líquido prateado, sem odor

Propriedades físicas:

Ponto de Fusão: $-38,8^{\circ}\text{C}$

Ponto de Ebulição: 357°C

Densidade: $13,55 \text{ g/cm}^3$ a 20°C

Solubilidade: Insolúvel

Reações perigosas

Mercúrio é concentrado por animais, plantas e peixes quando presente na cadeia alimentar

Reage com o ouro, com a formação de amálgama

Toxidez – Risco à saúde

Inalação: Risco Moderado

Exposição a altas concentrações de vapor de mercúrio pode produzir irritação pulmonar e edema agudo de pulmão

Contato com a pele: Risco Moderado

Os efeitos à exposição na pele podem não ser imediatos

Equipamentos de proteção individual

Respiratória: Máscara autônoma

Proteção das mãos: Luvas de PVC ou similar

Proteção dos olhos: Óculos de proteção

Outros: Manusear com abrigo de mangas compridas

Manuseio e armazenagem

Usar em local ventilado

Manter afastado de calor, faíscas e chamas

Manter em recipiente bem fechado e vedado

Procedimentos em derrames – Vazamentos

Para pequenas quantidades, coletar e armazenar imediatamente, usando bomba de sucção e garrafa aspiradora com longo tubo capilar. No caso de uma gota de mercúrio em lugar inacessível (fendas, etc.), tratar com polissulfeto de cálcio e enxofre em excesso. Manter todo o mercúrio recolhido em uma garrafa, firmemente arrolhada.