
Norma Técnica Sabesp NTS 280

Calibração de macromedidores em campo

Procedimento

São Paulo
Junho - 2008

SUMÁRIO

1 OBJETIVO	1
2 CAMPO DE APLICAÇÃO	1
3 REFERÊNCIAS NORMATIVAS	1
4 GLOSSÁRIO	2
5 MANUAL DE CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDORES EM CAMPO	6
5.1 Descrição das atividades	6
5.2 Pontos de controle	8
6 PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDORES COM AQUISIÇÃO PARA POSTERIOR PROCESSAMENTO	8
6.1 Introdução	8
6.2 Campo de aplicação	8
6.3 Descrição das atividades	9
6.4 Pontos de controle	11
7 INSTRUÇÕES DE TRABALHO PARA A CALIBRAÇÃO	11
7.1 Controle da vazão de calibração	11
7.2 Aquisição de dados	14
7.3 Variabilidade dos desvios de indicação	20
7.4 Repetição da vazão	21
7.5 Análise das Incertezas x Desvios de indicação	21
7.6 Análise dos desvios de indicação	21
7.7 Relatório de calibração	23
7.8 Mapeamento Pitométrico em campo sem notebook	24
7.9 Preparação para processamento dos dados	25
7.10 Processamento dos dados	25
7.11 Sinalização e preparação do local	32
ANEXO A – AVALIAÇÃO DAS INSTALAÇÕES E CONFIGURAÇÃO DO MEDIDOR EM TESTE E DA ESTAÇÃO PITOMÉTRICA	33
ANEXO B – SELEÇÃO DAS VAZÕES DE CALIBRAÇÃO	36
ANEXO C – ENSAIO DE CAMPO - MEDIÇÃO DO DIÂMETRO INTERNO DA SEÇÃO DA TUBULAÇÃO .	39
ANEXO D – MONTAGEM E PREPARAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA MAPEAMENTO DE VELOCIDADES	42
ANEXO E – PREPARAÇÃO PARA AQUISIÇÃO DE DADOS	48
ANEXO F – FINALIZAÇÃO DOS TESTES	59
ANEXO G – MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS PARA CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DEPRIMOGÊNEOS COM COLETORES DE DADOS (DATALOGGERS)	60
ANEXO H – PREPARAÇÃO PARA MAPEAMENTO PITOMÉTRICO EM CAMPO SEM NOTEBOOK	62
ANEXO I – PREPARAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO	64
ANEXO J – PREPARAÇÃO DO VEÍCULO DE TRANSPORTE	65
ANEXO K – MODELO DE CHECK LIST: CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDOR VENTURI	66
ANEXO L – MODELO DE CHECK-LIST: CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDOR ELETROMAGNÉTICO	69
ANEXO M – MODELO DE RELATÓRIO TÉCNICO	72

Sabesp – MACM. **Manual para Calibração de Macromedidores em Campo**; São Paulo, junho de 2005.

Sabesp. **Procedimentos de Manutenção e Calibração de Medidores**; São Paulo 008/99.

Sabesp. **Procedimento Operacional PO-RH0016 – Segurança em Espaço Confinado – V.3**, São Paulo, 20.06.2006.

4 GLOSSÁRIO

abrigo

estrutura ou edificação, construída em alvenaria, concreto ou composto por aduelas, que comporta um elemento tal como macromedidor (primário e/ou secundário), Estação Pitométrica, etc.

aduela

anel circular de concreto instalado verticalmente, que normalmente constitui o abrigo de uma Estação Pitométrica

calibração

conjunto de atividades que estabelecem, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas a serem aplicadas.

Entende-se por calibração neste processo a verificação em campo do macromedidor

calibre (Galgador)

dispositivo mecânico, componente do Tubo de Pitot, utilizado para se medir o diâmetro interno das tubulações. O mesmo que galgador

célula capacitiva

célula que trabalha pelo princípio capacitivo, formada por duas placas fixas em estrutura isolante, separadas por um diafragma sensor

Centro de Controle Operacional (CCO)

unidade que gerencia a operação de todo Sistema Adutor Metropolitano (SAM)

Ciclo PDCA

ferramenta de qualidade que consiste em quatro passos: Planejamento (*Plan*), Execução (*Do*), Verificação (*Check*) e Ajuste (ou Correção) (*Action*), cujo objetivo é a melhoria contínua de um processo

conversor

dispositivo secundário de medição que percebe ou recebe uma variação na forma ou sinal proveniente do dispositivo primário de medição e faz as conversões ou ajustes necessários para a indicação ou transmissão dos dados referentes a essa medição

CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDORES EM CAMPO

1 OBJETIVO

Esta Norma tem como objetivo estabelecer os critérios para execução de calibração em campo de macromedidores mecânicos e eletroeletrônicos que necessitam periodicamente de ajustes visando manter sua funcionalidade e confiabilidade.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Este procedimento de calibração se aplica a:

- condutos forçados de água bruta ou tratada;
- medidores deprimogêneos, eletromagnéticos, eletromagnéticos de inserção e ultra-sônicos inseridos;
- condutos com diâmetros acima de 250 mm;
- ensaios através de Tubo de Pitot do tipo Cole, e
- ensaios através de aquisição e processamento *on-line* em campo com *notebook* ou similar.

3 REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Documento Técnico de Apoio **DTA D2: Macromedição – Calibrações em Campo nos Macromedidores Deprimogêneos**; Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) (www.pncda.gov.br); Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano e Secretaria de Política Urbana.

BSI 1042-2.1:1983, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method. Method using Pitot static tubes.*

ISO 5167-1:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full - Part 1: General principles and requirements.*

NBR ISO 6817:1999, *Medição de Vazão de líquido condutivo em condutos forçados – Métodos utilizando medidores de vazão eletromagnéticos.*

NBR ISO 9104:2000, *Medição de vazão de fluidos em condutos fechados - Métodos para avaliação de desempenho de medidores de vazão eletromagnéticos para líquidos.*

DME-AV-PE-21, *Procedimento para Calibração em Campo e Avaliação de Erros de Estações de Macromedição de Água com Medidores de Vazão por Diferencial de Pressão (Deprimogêneos); versão 02 de 2004; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).*

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Manual de Calibração de Macromedidor em Campo – versão 1.1**; São Paulo, janeiro de 2005.

Datalogger

dispositivo eletrônico com grande capacidade de coleta e armazenamento de dados digitais

deprimogêneo

tipo de medidor que introduz fisicamente uma perturbação no escoamento de um fluido e detecta o diferencial de pressão gerado, a partir do qual se obtém a vazão através de um fator de correlação K. Encontram-se nessa classificação os medidores Venturi, Tubos de Dall, placas de orifício, medidores Annubar, etc.

desvio de indicação

resultado de uma operação matemática entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro convencional adotado

diferencial de pressão

diferença de pressão gerada entre dois pontos, medidas nas respectivas tomadas de pressão dos dispositivos primários de medição do tipo deprimogêneo

Estação Pitométrica (EP)

local onde é inserido o Tubo de Pitot na tubulação, para medição de vazão e pressão, podendo ser constituído por um ou dois *taps* (ou válvulas de esfera) instalados com uma defasagem de 90º em uma mesma seção transversal da tubulação, normalmente no interior de um abrigo construído em alvenaria, concreto ou aduelas

Estação Remota de Telemetria (ERT)

painel dedicado ao recebimento de sinais do Secundário e transmissão para o CCO

Estrutura de Medição (EME)

instalação que mede parâmetros físicos e químicos em adutoras e derivações em marcha

Estrutura de Medição e Controle (EMC)

instalação que mede pressões e vazões em adutoras e derivações em marcha, bem como regula o fluxo de água através de válvulas telecomandadas

ID

identificação ou codificação que determina a localização de um transdutor na malha de instrumentação

incerteza

parâmetros associados ao resultado de uma medição, que caracterizam a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando

Instrução de Trabalho (IT)

conjunto de atividades seqüenciais a serem desenvolvidas para a execução de uma tarefa

K

fator de correlação estabelecida em medidores deprimogêneos, normalmente associada à sua geometria construtiva, cuja unidade é $m^3/(s.(mH_2O)^{1/2})$

K variável

curva de K em função da vazão, inserida no secundário da Estação Remota de Telemetria, visando reduzir erros de medição

Manifold

sistema ou conjunto de equalização entre câmaras

mapeamento pitométrico de velocidades

procedimento de varredura das velocidades ao longo de uma determinada seção de tubulação através de método log-linear

medidor de vazão eletromagnético

medidor que cria um campo magnético no dispositivo primário de medição, que é perpendicular ao escoamento, permitindo que a vazão seja deduzida no elemento secundário de medição, da força eletromotriz (f.e.m) produzida pelo movimento de um líquido condutivo que cruza esse campo. O medidor de vazão eletromagnético consiste de um dispositivo primário de medição e de um dispositivo secundário de medição.

microprocessador

circuito eletrônico integrado que necessita de alguns circuitos periféricos para funcionar: relógios, controladores e conversores de sinais

Ponto de Medição (PM)

estrutura física que compreende o próprio medidor de vazão (primário), o secundário e a Estação Pitométrica usada para a realização da sua calibração. Na maioria dos casos, o Ponto de Medição é constituído por dois abrigos de alvenaria, normalmente caixas subterrâneas, um com o medidor e toda a estrutura de controle da estação, e outro, onde se encontra a Estação Pitométrica

dispositivo primário de medição

dispositivo que está em contato com o fluido escoando, e é responsável pela geração da forma ou sinal primário que será interpretado ou processado pelo dispositivo secundário de medição

Range

faixa de trabalho de um instrumento de medição

elemento secundário

dispositivo eletrônico que recebe o sinal hidráulico ou elétrico do primário e o transmite ao Centro de Controle Operacional (CCO)

singularidade

elemento ou construção hidráulica que introduz uma perturbação no fluxo de água em uma tubulação, podendo ser uma curva, redução, ampliação, válvula, derivação, etc.

Sistema de Controle Operacional de Abastecimento (Novo Scoa)

sistema que opera, gerencia e controla estatisticamente o SAM – Sistema Adutor Metropolitano, através de comandos e sinais transmitidos entre instalações operacionais (reservatórios, estações de bombeamento, válvulas telecomandadas, etc.) e o CCO, além de gerenciar todo o sistema de macromedição da RMSP

sistema Hart

conjunto de *software* e interface que adquire e gerencia variáveis em tempo real através de protocolo de comunicação Hart durante um ensaio de calibração

Span

diferença em módulo entre os dois limites de medição de uma faixa nominal

tampão

elemento do abrigo, normalmente metálico, que permite o acesso ao seu interior

Tap

dispositivo metálico, também denominado registro de derivação, com a função de permitir o acesso ao fluido mediante sua instalação na parede externa da adutora, através do qual se insere o Tubo de Pitot

Tip

orifício de tomada de pressão no Tubo de Pitot

transdutor

dispositivo que fornece uma grandeza de saída correlacionada a uma determinada grandeza de entrada

Traverse

o mesmo que Mapeamento Pitométrico de velocidades

tubo de Pitot tipo Cole

instrumento portátil cujo princípio se baseia na detecção do diferencial de pressão entre duas tomadas opostas (*tips*) localizadas em sua extremidade inferior, quando introduzida transversalmente na tubulação através de um *tap*. Seu nome se deve ao francês Henri Pitot que desenvolveu sua tecnologia em 1732, aperfeiçoada posteriormente por Edward Cole em 1896

válvula de esfera

válvula cujo bloqueio é feito através da rotação de uma esfera, com um furo ao longo de seu diâmetro por onde se promove a passagem de um fluido

válvula equalizadora

válvula ou registro que separa duas câmaras com pressões diferentes ou não

5 MANUAL DE CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDORES EM CAMPO**5.1 Descrição das atividades**

Segue abaixo a cronologia das ações para a execução das atividades de calibração, respeitando as fases do Ciclo PDCA.

5.1.1 Planejamento

- Avaliar as instalações e configurar o medidor em teste e a Estação Pitométrica (ver Anexo A).
- Selecionar as vazões de calibração (ver Anexo B).
- Providenciar a preparação dos Equipamentos de Segurança e Medicina do Trabalho (ver Anexo I).
- Providenciar a preparação do veículo de transporte (ver Anexo J).

5.1.2 Execução

- Providenciar a preparação do local.
 - Medir o diâmetro da tubulação (ver Anexo C).
 - Efetuar a montagem e a preparação dos equipamentos para o Mapeamento Pitométrico de Velocidades (ver Anexo D).
 - Instalar o Tubo de Pitot no *tap* (ou válvula de esfera) em posição qualquer.
 - Introduzir o Tubo de Pitot até a geratriz inferior da tubulação, posicionando a guia na haste.
 - Posicionar o Tubo de Pitot na geratriz superior para verificar se a última posição corresponde ao valor calculado na planilha.
 - Conectar os transdutores de pressão, promovendo a eliminação do ar do sistema.
 - Posicionar o Tubo de Pitot com os *tips* no centro da adutora e promover um giro de 180°, verificando se as leituras estão coerentes. Caso negativo, deve-se avaliar se há problemas no transdutor de pressão ou nos *tips* do Tubo de Pitot.
 - Solicitar a vazão desejada ao Centro de Controle Operacional (CCO), ou à equipe de manobras que acompanha o ensaio.
- Aguardar a estabilização da vazão.

Nota 1: Uma vez estabilizada, a vazão não poderá variar mais que 5% durante todo o mapeamento, quando se tem controle sobre a vazão. Em caso contrário, deve-se realizar dois ensaios que serão considerados válidos caso a diferença entre os desvios de indicação dos ensaios seja inferior às incertezas de cada ensaio. Se essas condições não forem satisfeitas, o ponto de medição deve ser considerado inadequado (ver Item 7.1).

Certificar-se de que as faixas operacionais dos transdutores sejam respeitadas.

Efetuar a preparação para aquisição de dados (ver Anexo E).

Ligar o *notebook* e iniciar a execução do aplicativo supervisorio.

Preencher os campos da planilha, inclusive informando o diâmetro da tubulação.

Calcular as posições e marcar em uma escala de aço os pontos determinados para o posicionamento do Tubo de Pitot durante o mapeamento.

Verificar na planilha "Aquisição" se os dados lidos em tempo real correspondem aos valores lidos no visor dos transdutores.

Executar a macro "Limpar Dados" na planilha "Aquisição".

Abrir a planilha "Processamento (vertical ou horizontal)" e limpar as células de B6 a R16.

Retornar para a planilha "Aquisição".

Iniciar a aquisição de dados (ver Item 7.2).

Iniciar o mapeamento descendente de velocidades, fixando o Tubo de Pitot na posição 1d e aguardar a estabilização da leitura.

Efetuar a aquisição dos dados, transferir, limpar a planilha de aquisição e salvar os dados.

Nota 2: durante todo o mapeamento, deverá ser verificado o alinhamento do Tubo de Pitot em relação ao eixo da tubulação.

Repetir a seqüência de mapeamento descendente de velocidades nas posições 2d, 3d, 4d, 5d, 6d, 7d, 8d, 9d, 10d e 11d.

Iniciar o mapeamento ascendente de velocidades.

Manter o Tubo de Pitot na posição 11d e aguardar a estabilização da leitura.

Efetuar a aquisição dos dados na posição 11s e transferir.

Analisar o desvio de indicação encontrado e, se for significativo (superior a 5%) adquirir novamente a leitura do mesmo ponto.

Nota 3: esta seqüência deverá ser executada na quantidade de vezes necessárias, até a confirmação da leitura do ponto.

Transferir os dados para os respectivos pontos na planilha de processamento e salvá-la;

Repetir a seqüência de mapeamento ascendente de velocidades nas posições 10s, 9s, 8s, 7s, 6s, 5s, 4s, 3s, 2s e 1s.

Nota 4: esta seqüência de mapeamento é válida para um único *tap* (ou válvula de esfera). Havendo outro, em posição ortogonal ao primeiro, então deverá ser executado o mapeamento no segundo *tap*.

Nota 5: esta seqüência de mapeamento é válida para uma única vazão. Se a calibração envolver mais de uma, então deve-se repetir esta seqüência para as demais.

Finalizar o teste (ver Anexo F).

5.1.3 Verificação

- Verificar a variabilidade dos desvios de indicação (ver Item 7.3).
- Determinar as incertezas da calibração (ver Item 7.5).
- Determinar os erros do medidor (ver Item 7.6).
- Promover a redução das incertezas (ver Item 7.5).

Nota 6: as verificações não necessitam seguir esta ordem.

5.1.4 Ajuste

- Promover os ajustes necessários (ver Item 7.4).
- Efetuar a repetição da vazão, caso necessário.
- Verificar a instrumentação.
- Emitir relatório (ver Item 7.7).

5.2 Pontos de controle

Para controlar a calibração, seguem abaixo os itens que devem ser verificados durante o teste:

- variação máxima da vazão permitida durante a calibração: 3%;
- limites operacionais dos transdutores;
- alinhamento do Tubo de Pitot em relação à tubulação, e
- ligação elétrica e hidráulica dos transdutores de pressão.

6 PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDORES COM AQUISIÇÃO PARA POSTERIOR PROCESSAMENTO

6.1 Introdução

Equipamentos mecânicos e eletroeletrônicos podem, ocasionalmente, necessitar de ajustes visando manter sua funcionalidade e confiabilidade. Além disso, os macromedidores de água estão sujeitos à flexibilidade operacional dos sistemas e às conseqüentes alterações de parâmetros operacionais, fatores que influenciam diretamente no seu desempenho. Tais fatores inerentes aos macromedidores tornam este procedimento necessário e fundamental.

Na busca de sistematizar estas calibrações, mensurando em campo as estimativas de erro dos macromedidores, o Programa de Redução de Perdas definiu como um dos seus objetivos, "Adequar e rever procedimentos relativos à Macromedição".

Esta norma compõe os arquivos baseados na norma BSI 1042 - 2.1, nos conteúdos lastreados nos procedimentos do IPT e nos aperfeiçoamentos pela equipe da antiga MACM.

6.2 Campo de aplicação

Este procedimento de calibração se aplica única e exclusivamente a:

- condutos forçados de água bruta ou tratada;
- medidores deprimogêneos, eletromagnéticos, eletromagnéticos de inserção e ultra-sônicos inseridos;
- condutos com diâmetros acima de 250mm;
- ensaios realizados através de Tubo de Pitot do tipo Cole, e

- ensaios realizados através de aquisição com coletores de dados (*dataloggers*) para posterior processamento.

6.3 Descrição das atividades

Segue abaixo a cronologia das ações para a execução das atividades de calibração, respeitando as fases do PDCA.

6.3.1 Planejamento

- Avaliar as instalações e configurar o medidor em teste e a Estação Pitométrica (ver Anexo A).
- Selecionar as vazões de calibração (ver anexo B).
- Providenciar a preparação da instrumentação.
- Providenciar a preparação dos Equipamentos de Segurança e Medicina do Trabalho (ver Anexo I).
- Providenciar a preparação do veículo de transporte (ver anexo J).

6.3.2 Execução

- Providenciar a preparação do local.
- Medir o diâmetro da tubulação (ver Anexo C).
- Efetuar a montagem e a preparação dos equipamentos para o Mapeamento de Velocidades (ver Anexo D).
- Instalar o Tubo de Pitot no *tap* (ou válvula de esfera) em posição qualquer.
- Introduzir o Tubo de Pitot até a geratriz inferior da tubulação, posicionando a guia na haste.
- Posicionar o Tubo de Pitot na geratriz superior para verificar se a última posição corresponde ao valor calculado na planilha.
- Conectar os transdutores de pressão, promovendo a eliminação do ar do sistema.
- Conectar os coletores de dados (*dataloggers*), observando a polaridade dos cabos (ver Item 7.8).
- Posicionar o Tubo de Pitot com os *tips* no centro da adutora e promover um giro de 180°, verificando se as leituras estão razoavelmente próximas. Caso negativo, deve-se avaliar se há problemas no transdutor de pressão ou nos *tips* do Tubo de Pitot.
- Solicitar a vazão desejada ao Centro de Controle Operacional (CCO) ou à equipe de manobras que acompanha o ensaio.
- Aguardar a estabilização da vazão.

Nota 1: uma vez estabilizada, a vazão não poderá variar em mais de 5% durante todo o mapeamento (ver Item 7.1).

Certificar-se de que as faixas operacionais dos transdutores sejam respeitadas.

Efetuar a preparação para mapeamento de velocidades (ver Anexo E).

Preencher manualmente os campos da planilha de calibração in loco.

Calcular as posições e marcar em uma escala de aço os pontos determinados para o posicionamento do Tubo de Pitot durante o mapeamento.

Nota 2: observar e anotar se a posição alcançada quando do posicionamento do Tubo de Pitot na geratriz superior, corresponde ou não ao calculado na planilha.

Efetuar o mapeamento pitométrico em campo sem *notebook* (ver Item 7.8).

Iniciar o mapeamento descendente de velocidades, fixando o Tubo de Pitot na posição 1d e aguardar por cerca de 15 segundos a estabilização da leitura.

Anotar o início do mapeamento pontual com auxílio de um cronômetro, fazendo isto em cada posição pré-determinada do mapeamento.

Coletar os dados durante um minuto.

Nota 3: durante todo o mapeamento, deve ser verificado o alinhamento do Tubo de Pitot em relação ao eixo da tubulação.

Repetir a seqüência de mapeamento descendente de velocidade nas posições 2d, 3d, 4d, 5d, 6d, 6d, 7d, 8d, 9d, 9d, 10d e 11d.

Iniciar o mapeamento ascendente de velocidades.

Manter o Tubo de Pitot na posição 11d e aguardar por cerca de 15 segundos a estabilização de leitura.

Anotar o início do mapeamento ascendente pontual na posição 11s(a), com auxílio de um cronômetro.

Analisar o desvio de indicação encontrado e, se for significativo (percepção subjetiva), coletar novamente a leitura do mesmo ponto.

Nota 4: esta seqüência deve ser executada na quantidade de vezes necessária, até a confirmação da leitura do ponto.

Repetir a seqüência de mapeamento ascendente de velocidade nas posições 10s(a), 9s(a), 8s(a), 7s(a), 6s(a), 5s(a), 4s(a), 3s(a), 2s(a) e 1s(a).

Nota 5: esta seqüência de mapeamento é válida para um único *tap* (ou válvula de esfera). Havendo outro, em posição ortogonal ao primeiro, então deve ser executado o mapeamento no segundo *tap*.

Nota 6: esta seqüência de mapeamento é válida para uma única vazão. Se a calibração envolver mais de uma, então deve-se repetir esta seqüência para as demais.

Finalizar os testes.

Promover a preparação para o processamento dos dados (ver Item 7.9).

Descarregar os dados coletados em campo em um *notebook* ou microcomputador de mesa (*desktop*).

Nota 7: certificar-se de que o horário do *notebook* ou similar esteja coerente com o do cronômetro usado em campo.

Efetuar o processamento dos dados (ver Item 7.10).

Com auxílio de planilha específica (desenvolvida em parceria com o IPT) efetuar o processamento dos dados.

6.3.3 Verificação

- Verificar a uniformidade (ver Item 7.3.1).
- Determinar as incertezas da calibração (ver Item 7.5).
- Determinar os erros de medidor (ver Item 7.6).
- Promover a redução das incertezas (ver Item 7.5).

Nota 8: as verificações não necessitam seguir a ordem acima.

6.3.4 Ajuste

- Promover os ajustes necessários (ver Item 7.4).
- Efetuar a repetição da vazão, caso necessário.
- Verificar a instrumentação e programação do secundário.
- Emitir relatório (ver Item 7.7).

6.4 Pontos de controle

Para controlar a calibração, seguem abaixo os itens que devem ser verificados durante o teste:

- variação máxima da vazão permitida durante a calibração: 5%;
- limites operacionais dos transdutores;
- alinhamento do Tubo de Pitot em relação à tubulação, e
- ligação elétrica e hidráulica dos transdutores de pressão.

7 INSTRUÇÕES DE TRABALHO PARA A CALIBRAÇÃO

7.1 Controle da vazão de calibração

Os critérios estatísticos estabelecidos na planilha padrão de calibração permitem que durante o mapeamento de velocidades, a variação máxima da vazão seja de 5%. Caso haja alguma intercorrência que faça com que esta tolerância seja extrapolada, a vazão deve ser reajustada e os pontos nos quais houve variação de vazão devem ser refeitos.

Visão geral do processo de calibração de medidores de vazão deprimogêneos

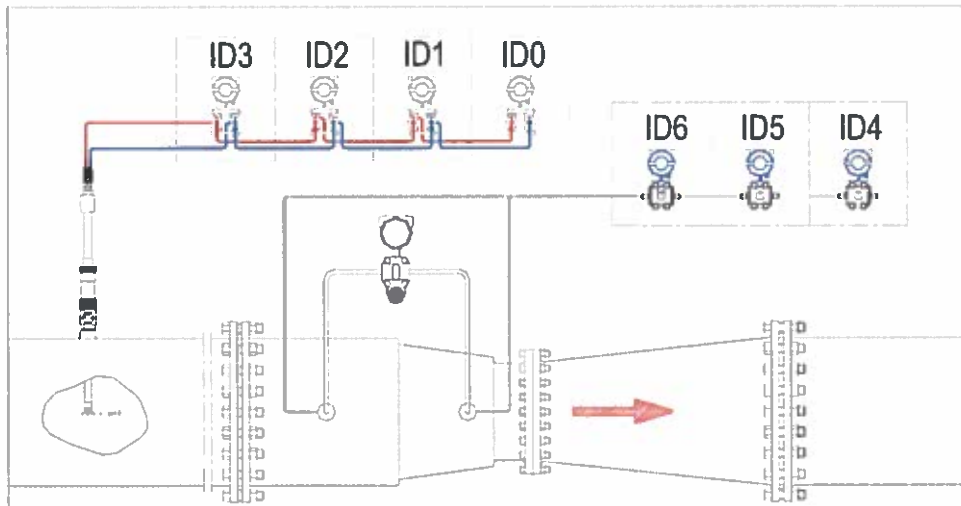


Figura 1 - Visão geral do processo calibração de medidores de vazão deprimogêneos.

7.1.1 Instalação dos transdutores de pressão para calibração de medidor de vazão eletromagnético

Basicamente, a calibração de medidores eletromagnéticos em campo segue as diretrizes de avaliação das instalações e configuração do medidor e da Estação Pitométrica, avaliações do primário e da Estação Pitométrica, critérios de escolha das vazões segundo histograma, calibração interna do tubo e montagem e seleção dos transdutores de pressão da Estação Pitométrica, conforme definido no procedimento para medidores deprimogêneos, conforme Item 5.1, com as seguintes diferenças:

- avaliar o erro segundo sua instalação em campo, que na prática, diferem dos valores obtidos em bancada, e
- o incremento de um transdutor de temperatura (conversor analógico-digital) ligado ao secundário do medidor em questão com *range* fixo de 100 a 500mV, objetivando converter o sinal de saída 4 a 20mA do secundário do medidor em sinal digital a ser processado pelo sistema *Hart* de aquisição de dados.

Visão geral do processo de calibração de medidores de vazão eletromagnéticos

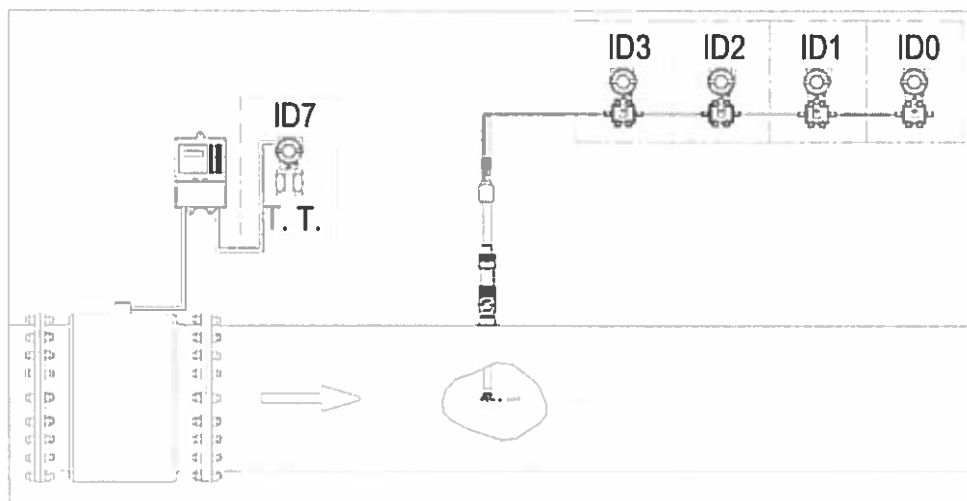


Figura 2 - Visão geral do processo de calibração de medidores de vazão eletromagnéticos.

A partir disso, efetuamos a ligação elétrica dos transdutores.

Ligação elétrica dos transdutores para calibração de medidores de vazão Deprimogêneos

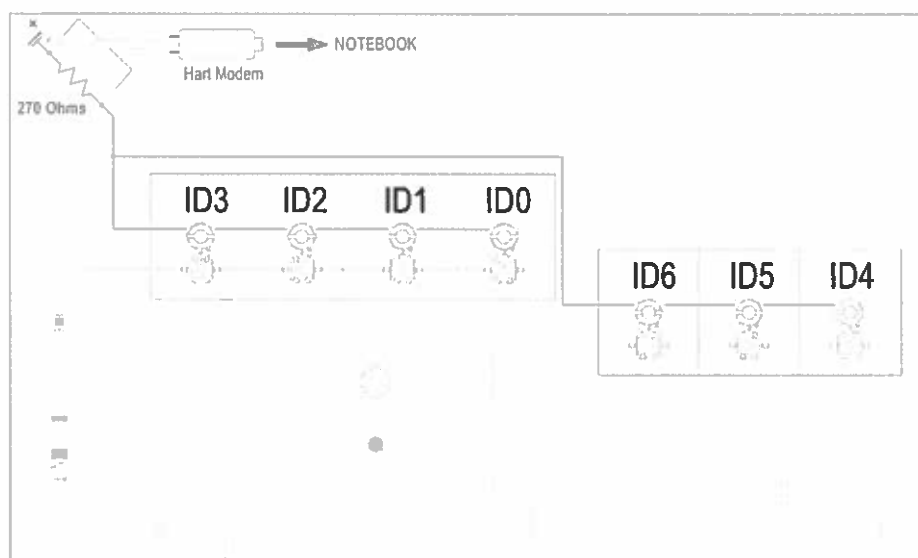


Figura 3 - Ligação dos instrumentos na calibração de medidores deprimogêneos.

Ligação elétrica para calibração de medidores de vazão eletromagnéticos

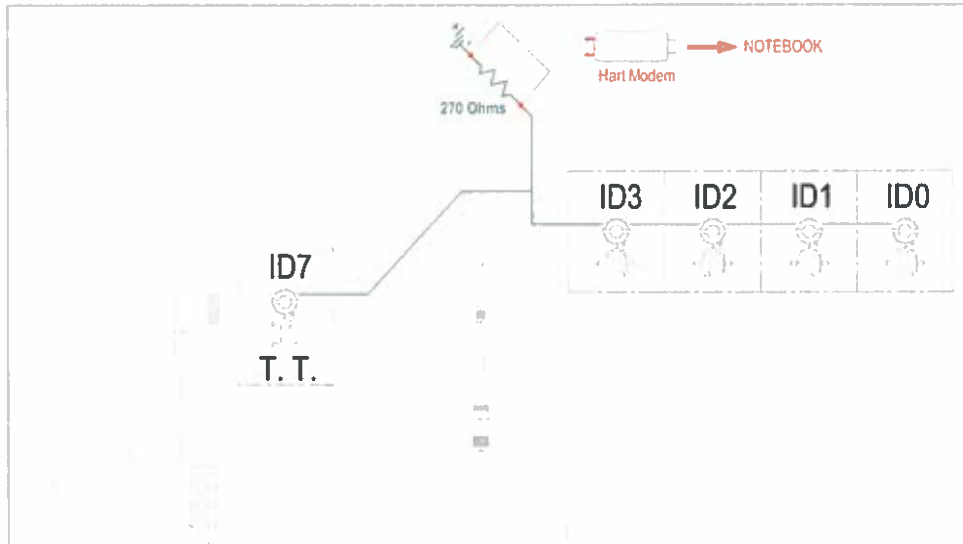


Figura 4 - Ligação dos instrumentos na calibração de medidores eletromagnéticos.

A Foto 1 ilustra um conjunto de aquisição de dados *Hart*:



Foto 1 - Conjunto de aquisição de dados *Hart* e processamento *on-line*.

7.2 Aquisição de dados

A partir de então, inicia-se a aquisição de dados dos pontos que compõem o mapeamento de velocidades ao longo da seção. Tal aquisição obedece ao indicado na Norma BSI 1042-2.1, usada para levantamento e cálculo da velocidade média na

seção da tubulação, usando o Tubo de Pitot e o método "log-linear" de integração, medindo para isso a velocidade em dez pontos ao longo do diâmetro. De acordo com esta metodologia, além da medição nesses pontos, é feita uma medição adicional no centro da seção, usada para o cálculo do Fator de Velocidade F_v , que é aplicada no cálculo da vazão com Tubo de Pitot.

$$F_v = \frac{\text{Velocidade média}}{\text{Velocidade no centro da seção}}$$

Um exemplo de posicionamento do Tubo de Pitot é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Exemplo de pontos de posicionamento do Tubo de Pitot

Traverse Vertical Descendente			Traverse Vertical Ascendente		
Posição	Posição (y/D)	Distância Corrigida (mm)	Posição	Posição (y/D)	Distância Corrigida (mm)
1	0,9811	986	1	0,9811	986
2	0,9235	928	2	0,9235	928
3	0,8475	851	3	0,8475	851
4	0,7829	786	4	0,7829	786
5	0,6388	641	5	0,6388	641
6	0,500	501	6	0,500	501
7	0,3612	360	7	0,3612	360
8	0,2171	215	8	0,2171	215
9	0,1525	150	9	0,1525	150
10	0,0765	73	10	0,0765	73
11	0,0189	15	11	0,0189	15

Pontos de posicionamento do mapeamento.

A Figura 5 ilustra este processo:

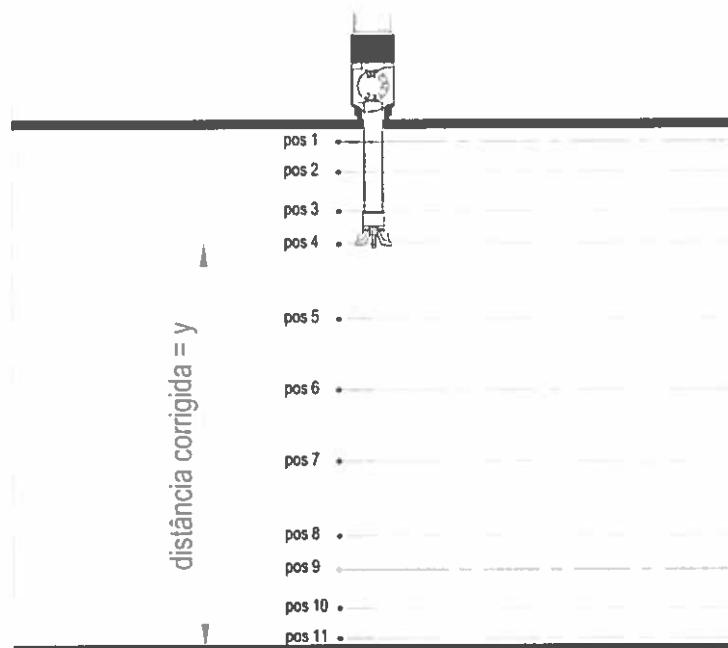


Figura 5 - Mapeamento com Tubo de Pitot.

A seqüência lógica do perfilamento é a seguinte:

- a) fixar o Tubo de Pitot na 1ª posição;
- b) aguardar a estabilização da leitura;
- c) clicar no botão "iniciar aquisição de dados";
- d) após a conclusão da aquisição, clicar no botão "Transferir Dados para Processamento";
- e) clicar no botão "Limpar Dados";
- f) salvar a planilha;
- g) posicionar o Tubo de Pitot na 2ª posição;
- h) repetir o ciclo até a 10ª posição. A aquisição de dados na 11ª posição deve ser realizada duas vezes (uma correspondendo ao perfilamento descendente e outra ao ascendente), e
- i) as demais aquisições ascendentes seguem o mesmo procedimento das aquisições descendentes.

O próprio *software* de aquisição gerencia a quantidade de dados adquiridos através de um campo específico, calcula o desvio de indicação com mapeamento do Tubo de Pitot e do medidor testado. Todas estas variáveis podem ser acompanhadas em tempo real durante a calibração. Também, pode-se ler em tempo real a vazão indicada pelo medidor, o que minimiza problemas com sua variação durante o processo de calibração e sua conseqüente invalidação. A cada aquisição, o gráfico traça automaticamente a curva, como pode ser visto na Figura 6:

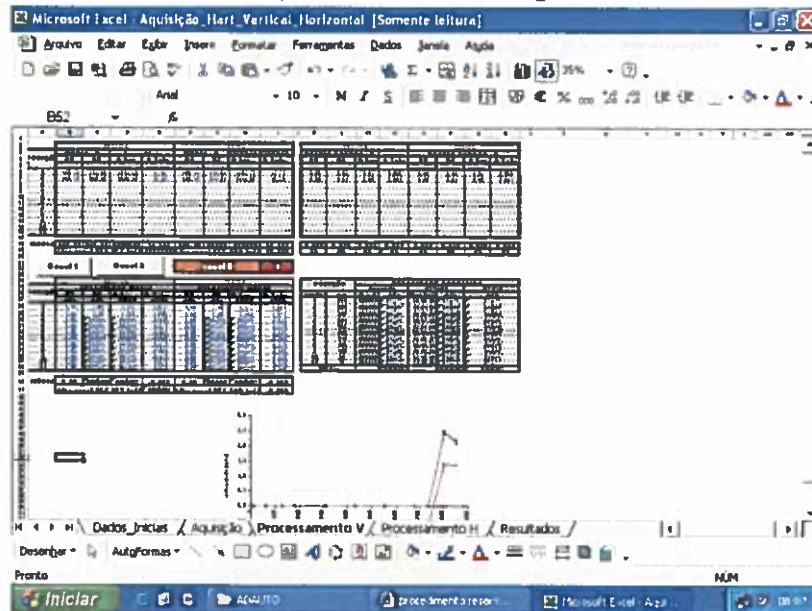


Figura 6 - Área de trabalho do Excel® - planilha "Processamento V" mostrando a aquisição *on-line*.

Ao final da aquisição de dados temos, portanto, um gráfico semelhante ao mostrado no gráfico 1:

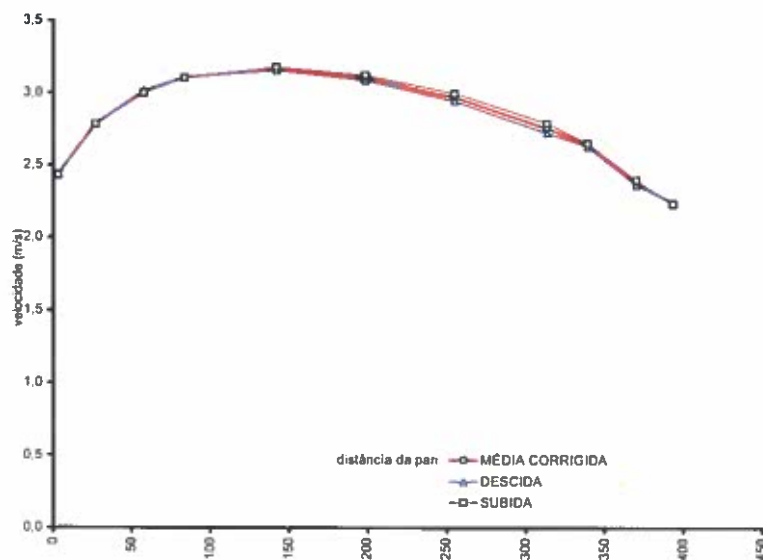


Gráfico 1 - Gráfico gerado automaticamente pela aquisição *on-line*.

7.2.1 Verificação *on-line* dos dados adquiridos

O sistema de aquisição de dados *on-line* e o gráfico gerado automaticamente permitem analisar instantaneamente o comportamento do mapeamento. Isto é útil a partir do momento em que o mapeamento passa a ser ascendente (subida), pois pode-se verificar, através do gráfico e da planilha de processamento, se durante o processo surgem expurgos que não correspondem à velocidade real medida. Tipificamos tal situação com o exemplo no Gráfico 2:

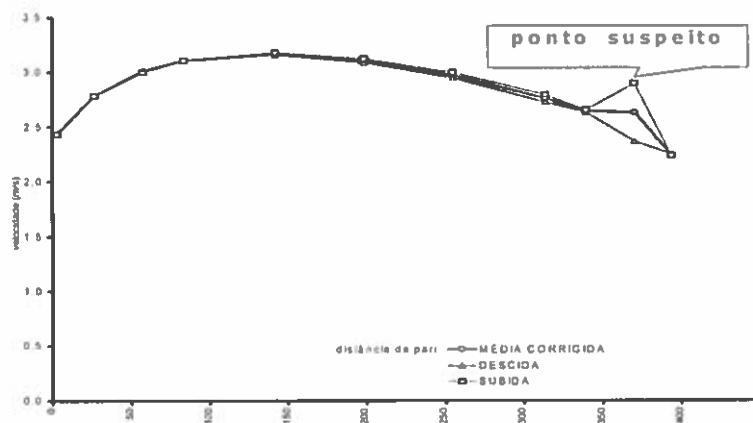


Gráfico 2 - Ponto suspeito no gráfico de aquisição *on-line*.

7.2.2 (Re)Confirmação de dados adquiridos

Caso haja suspeitas quanto aos valores adquiridos, o sistema de aquisição desenvolvido prevê um mecanismo para identificar o ponto duvidoso, confirmá-lo ou corrigi-lo. Para tal, deve-se seguir o seguinte procedimento:

- a) posicionar o Tubo de Pitot no ponto desejado (no caso citado, a 2ª posição ascendente);
- b) clicar no botão "Limpar Dados";
- c) iniciar nova aquisição, clicando no botão "Iniciar Aquisição";
- d) na planilha "Aquisição", preencher as células de L1 e M1 com as respectivas informações, por exemplo: Ponto 2 (célula L1) e descida "d" (célula M1) e clicar no botão "Repetir Dados do Ponto Acima" (ver Figura 7):

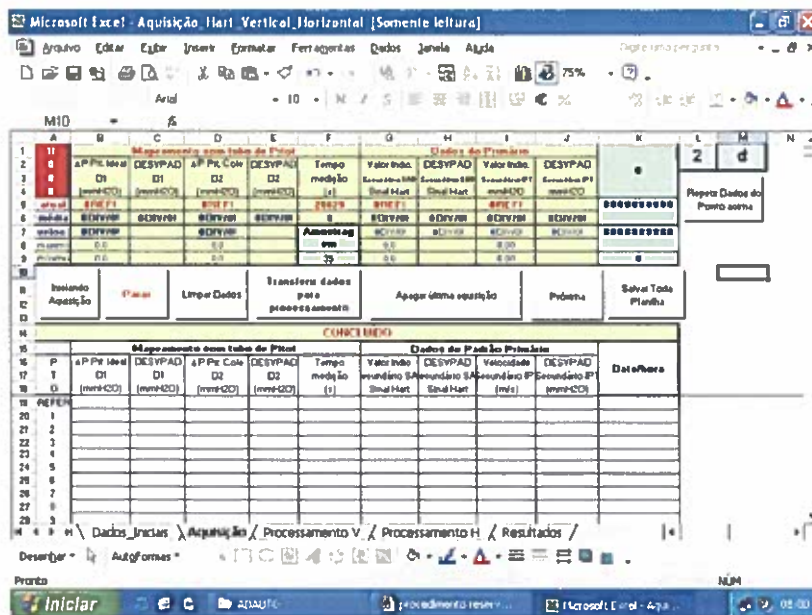


Figura 7 - Área de trabalho do Excel® - repetição do ponto suspeito na planilha de aquisição.

Os novos dados adquiridos do Ponto 2 da seqüência ascendente são transferidos automaticamente e substituem o anterior na pasta "Processamento" (ver Gráfico 3).

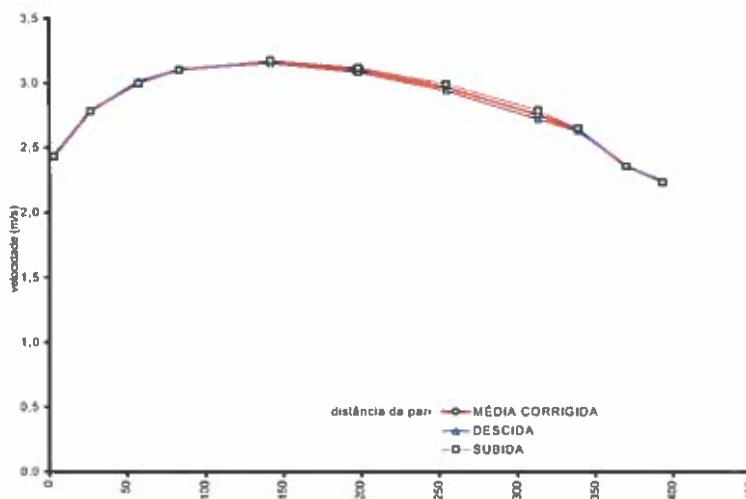


Gráfico 3 - Planilha de aquisição – ponto suspeito corrigido.

Depois que a seqüência for completada, temos os resultados da calibração para a vazão selecionada. No caso da aquisição de dados através de taps horizontal e vertical, somente após a conclusão das duas seqüências é que os resultados serão mostrados, conforme ilustra a Figura 8:

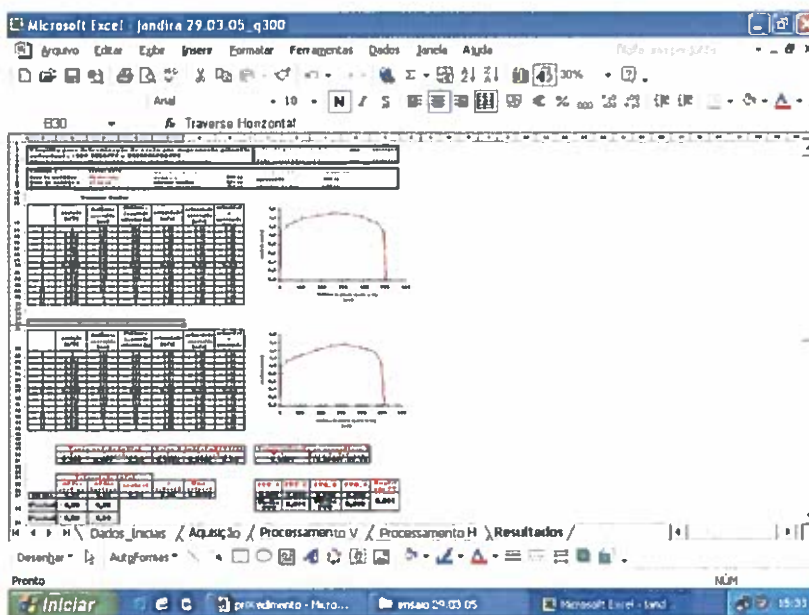


Figura 8 - Área de trabalho do Excel® - planilha "Resultados".

7.3 Variabilidade dos desvios de indicação

Os mapeamentos realizados devem ser avaliados quanto aos desvios de indicação obtidos. Deve-se analisar se tais desvios são uniformes ou não, conforme exemplificado nas Tabelas 2 e 3.

7.3.1 Calibração com desvios uniformes:

Obs: Os desvios de indicação são considerados uniformes quando, aplicando-se as incertezas nos desvios de indicação, chega-se a valores muito próximos.

Tabela 2 - Calibração com desvios de indicação uniformes

Mapeamento com Tubo de Pitot Cole			Fator K	Desvio de Indicação $K_{padrão} = 0,1715m^3/(s.(mH_2O)^{1/2})$
Vazão	Incertezas			
(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)	[m ³ /(s.(mH ₂ O) ^{1/2})]	(%)
0,1842	0,0049	2,7	0,1820	- 5,75
0,2788	0,0068	2,4	0,1838	- 6,69
0,3182	0,0081	2,5	0,1858	- 7,70

7.3.2 Calibração com desvios de indicação não uniformes:

Tabela 3 – Calibração com desvios de indicação não uniformes

Mapeamento com Tubo de Pitot Cole			K obtido (A)	K variável sistema		K sistema interpolado* (B)	Desvio de indicação Ks (B-A) (%)
Vazão (m³/s)	Incertezas		Fator K ⁽¹⁾	Vazão (m³/s)	Fator K ⁽¹⁾	Fator K ⁽¹⁾	
	(m³/s)	(%)					
0,4138	0,0099	2,4	0,3616	0,5400	0,3350	0,2929	23,45
0,6706	0,0168	2,5	0,3639	0,8600	0,3930	0,3671	-0,87
0,9641	0,0216	2,2	0,3663	1,0700	0,3930	0,3967	-7,66

(1) – Unidade do Fator K – $[m^3/(s.(mH_2O)^{2/3})]$

7.4 Repetição da vazão

Caso haja um desvio de indicação não-uniforme ou os resultados da calibração mostrem dados incoerentes, deve-se repetir a vazão em questão ou providenciar uma averiguação do secundário. Isto permitirá avaliar se o resultado se deve a alguma intercorrência durante o mapeamento e se o valor é ou não válido.

7.5 Análise das Incertezas x Desvios de indicação

Um dos objetivos ao se calibrar um macromedidor é sempre minimizar as incertezas inerentes ao processo de calibração. Esta metodologia recomenda mapear sempre em dois diâmetros a 90° na seção de medição. Evidentemente, há casos em que só é possível levantar o perfil de velocidades em apenas um diâmetro, normalmente na vertical, mas sempre é desejável obter o pleno desenvolvimento do perfil de velocidades para garantir uma melhor qualidade na medição. Naturalmente, embora as limitações das condições de medição e de formação do perfil de velocidades existam, ainda assim elas são consideradas como fatores influentes nas incertezas de medição e são levadas em conta nas estimativas de incertezas. Assim, pode-se averiguar em uma calibração, se:

- a redução da incerteza é possível;
- há condições de se instalar um novo *tap* em posição ortogonal ao existente, e
- há condições de se realocar a Estação Pitométrica.

7.6 Análise dos desvios de indicação

O levantamento dos erros do medidor, notadamente de um medidor eletromagnético, devem ser analisados em conjunto com as condições de configuração e programação do secundário (*span*, aterramento, ajuste de "zero", etc.). Todos estes parâmetros devem ser verificados quando os desvios de indicação forem superiores a incerteza e antes de se apontar para as providências.

NOTA: uma das propostas do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) é a implantação do Fator "K variável" nos secundários dos medidores deprimogêneos. **Portanto, sempre que for aplicável, deve-se calibrar um**

medidor deprimogêneo visando levantar uma curva de vazão. Isto possibilita minimizar os erros de medição, tendo em vista que a programação do secundário com uma curva de vazão, proporcionaria um ajuste automático da constante em função da respectiva vazão de operação. Para se determinar se o "K variável" obtido será implantado, levanta-se uma regressão linear para a curva obtida, do tipo:

$$K \text{ variável imp} = a.x^2 + b.x + c$$

Comparativo das Curvas de K do PM 93 - calibração 05/07/05

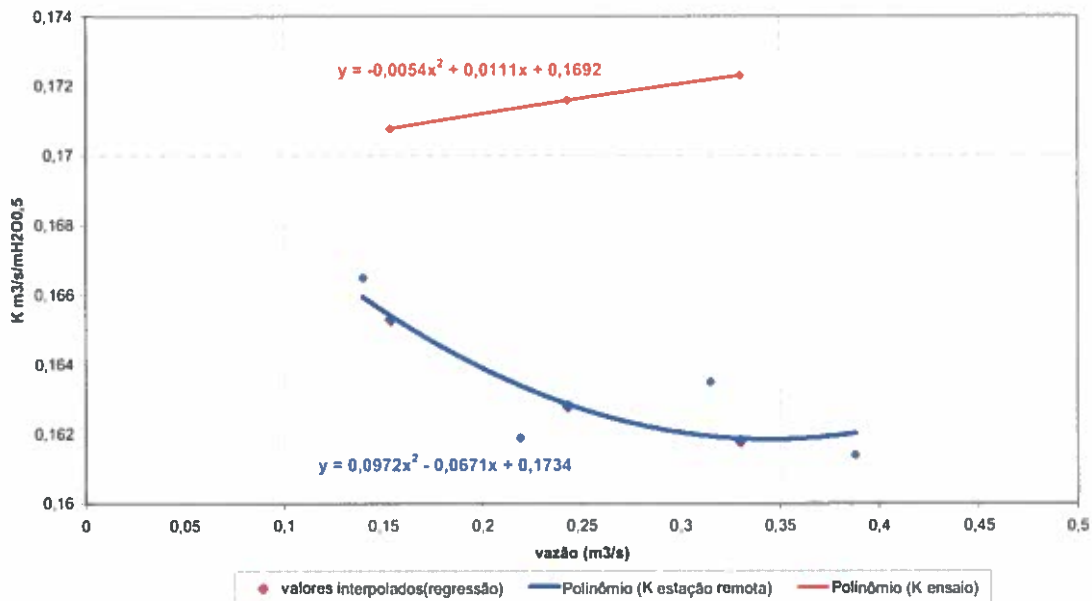
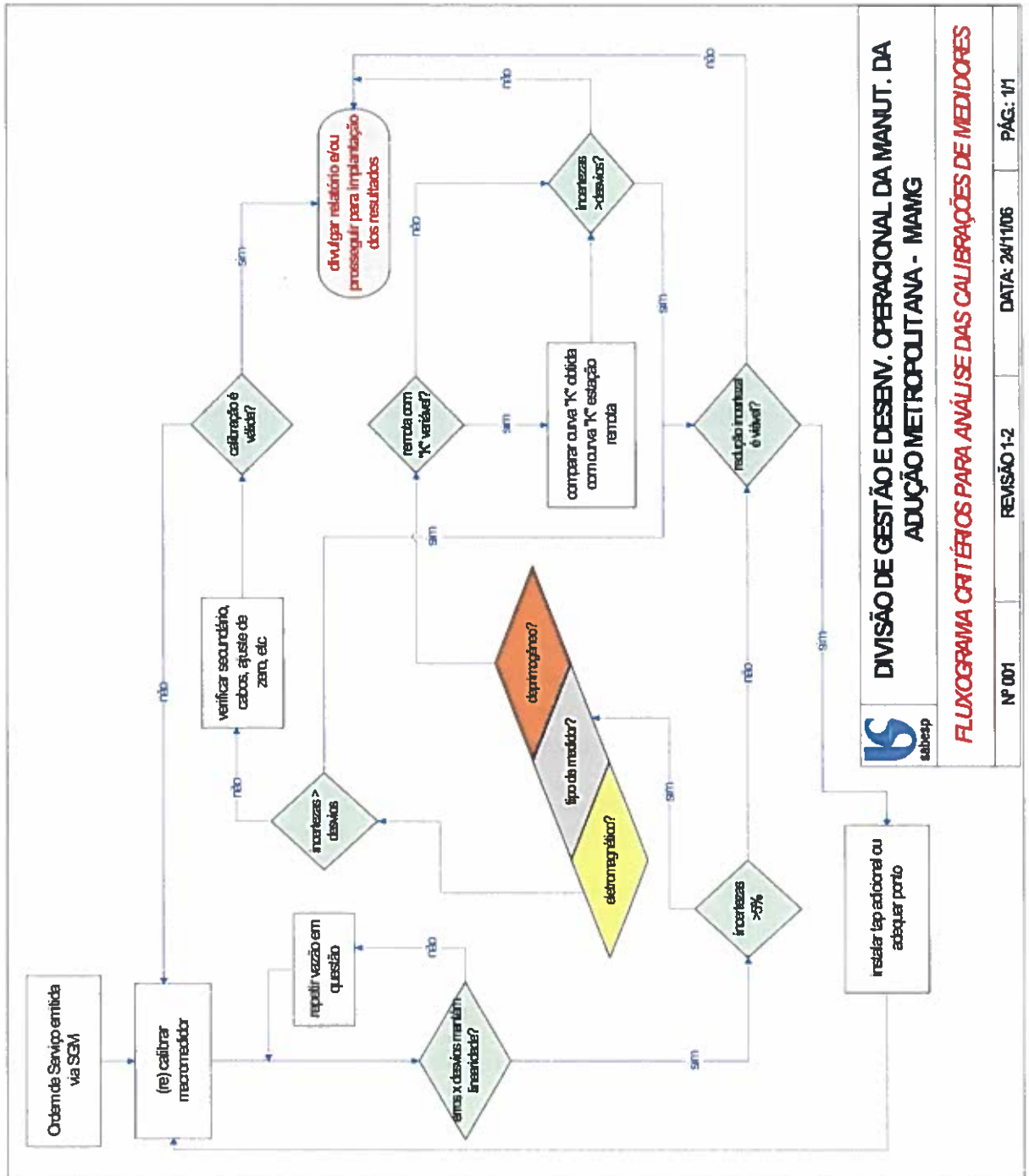


Gráfico 4 - Curva de K em medidores deprimogêneos.

O gráfico 4 mostra a análise que deve ser feita na calibração de medidores deprimogêneos que já possuem uma curva de "K variável" implantada. De posse dessa curva implantada na estação remota de telemetria e da(s) respectiva(s) vazão(ões) da presente calibração, procede-se a interpolação de valores de K da estação remota para a vazão em questão. Isto é necessário, pois não se consegue reproduzir as mesmas vazões que determinaram a curva implantada. Daí analisa-se se o desvio de indicação entre o K obtido na calibração em campo e o K implantado na ERT (sistema) é maior ou menor que a incerteza da calibração, para se proceder conforme os critérios estabelecidos no Subitem Análise e Validação dos Dados Obtidos no Anexo F, e no Fluxograma 1.

7.6.1 FLUXOGRAMA: Critérios de análise para calibração de macromedidores

O parecer técnico mencionado no relatório sobre as condições de operação do medidor e eventuais correções segue o estabelecido no fluxograma abaixo:



Divisão de Gestão e Desenv. Operacional da Manut. da Adução Metropolitana - MAMG

FLUXOGRAMA CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DAS CALIBRAÇÕES DE MEDIDORES

Nº 001 REVISÃO 1-2 DATA: 24/11/06 PÁG.: 1/1

Fluxograma 1 - Análise de resultados de calibrações.

7.7 Relatório de calibração

A conclusão da calibração envolve a emissão de um relatório, onde constam as informações técnicas pertinentes ao Ponto de Medição, a metodologia aplicada e um esquema com a identificação dos elementos que hidráulicamente implicam nos resultados obtidos. Também fazem parte do relatório, as planilhas com resultados

obtidos. Tal relatório deve ser emitido no máximo cinco dias após realizado o ensaio de campo. No Anexo M há um modelo de Relatório de Calibração.

7.8 Mapeamento Pitométrico em campo sem notebook

Como descrito no Item 7.2, o perfilamento com Tubo de Pitot obedece à Norma BSI 1042-2.1, usada para levantamento e cálculo da velocidade média na seção da tubulação, usando o método "log-linear" de integração, medindo, para isso, a velocidade em dez pontos ao longo do diâmetro. De acordo com esta metodologia, além da medição nesses pontos, é feita uma medição adicional no centro da seção usada para o cálculo do fator de velocidade F_v , que é utilizada no cálculo da vazão com Tubo de Pitot. Normalmente, o posicionamento para cálculo é feito com o auxílio de um *notebook*, porém na sua ausência, há duas opções:

- caso a calibração da rede já tenha sido feita por ocasião da visita técnica, pode-se trazer as posições calculadas do escritório, e
- fazer uso da planilha manual de preenchimento de dados, que mostra como calcular cada posição a ser mapeada com Tubo de Pitot e ainda possui campos de preenchimento como: Tubo(s) de Pitot usado(s), lados em relação ao fluxo, etc. Um exemplo desta planilha é mostrado na Figura H.1.

Tendo os pontos, estando a instrumentação ajustada e a vazão regulada, parte-se para o mapeamento das velocidades ao longo da tubulação, procedendo da seguinte maneira:

- posicionar o Tubo de Pitot na 1ª posição;
- aguardar por cerca de 15 segundos a estabilização da leitura;
- anotar o horário do início da aquisição de dados na planilha;
- após o registro das 30 leituras durante 1 minuto, fixa-se o Tubo de Pitot na próxima posição;
- repetir este ciclo até a 10ª posição. A aquisição dos dados da 11ª posição é realizada duas vezes (uma correspondendo ao perfilamento descendente e outra, ao ascendente), e
- as demais aquisições ascendentes seguem o mesmo procedimento das descendentes.

Como não há *software* de aquisição que gerencia a vazão de calibração, deve-se atentar para os diferenciais obtidos no perfil descendente. Estes servirão de base para os valores do perfil ascendente. Se houver muita discrepância entre os dados, deve-se reposicionar o Tubo de Pitot no ponto em questão e procurar eliminar a dúvida.

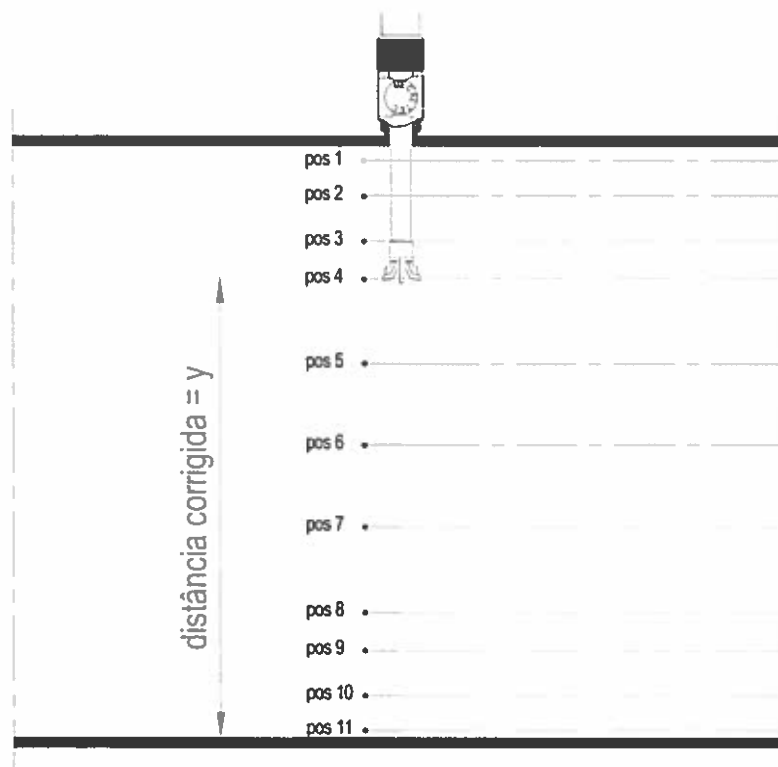


Figura 9 - Mapeamento com Tubo de Pitot – descendente e ascendente.

7.9 Preparação para processamento dos dados

Os dados registrados nos *dataloggers* são processados com auxílio de uma planilha elaborada em Microsoft Excel® em parceria com o IPT, composta de várias pastas que, através da seqüência pré-estabelecida discriminada abaixo, manipula os arquivos de extensão *.txt. Esta proporciona que os dados descarregados pelos *dataloggers* sejam processados de maneira similar ao processamento *on-line*.

NOTA: é prudente verificar se o *notebook* ou microcomputador onde serão descarregados os dados adquiridos em campo está com seus horários ajustados. Para isso, deve-se utilizar o cronômetro usado em campo para anotar os horários do mapeamento e ajustar o horário do *software*.

7.10 Processamento dos dados

Os dados coletados em campo são processados para análise em escritório. Os passos para processamento dos dados adquiridos em campo são descritos abaixo.

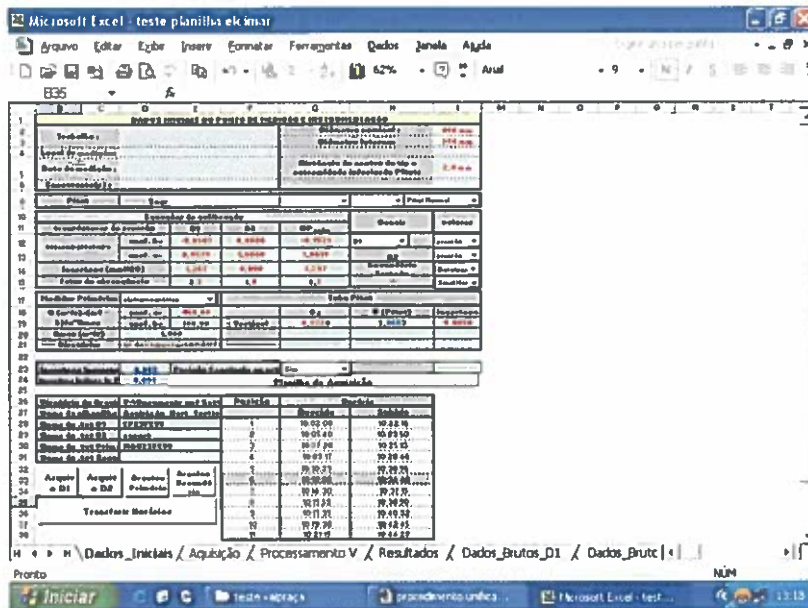


Figura 10 - Área de trabalho do Excel® - Pasta "Dados Iniciais".

Conforme descrito no Item 5, os campos desta planilha devem ser preenchidos, conforme demonstrado na figura 11.

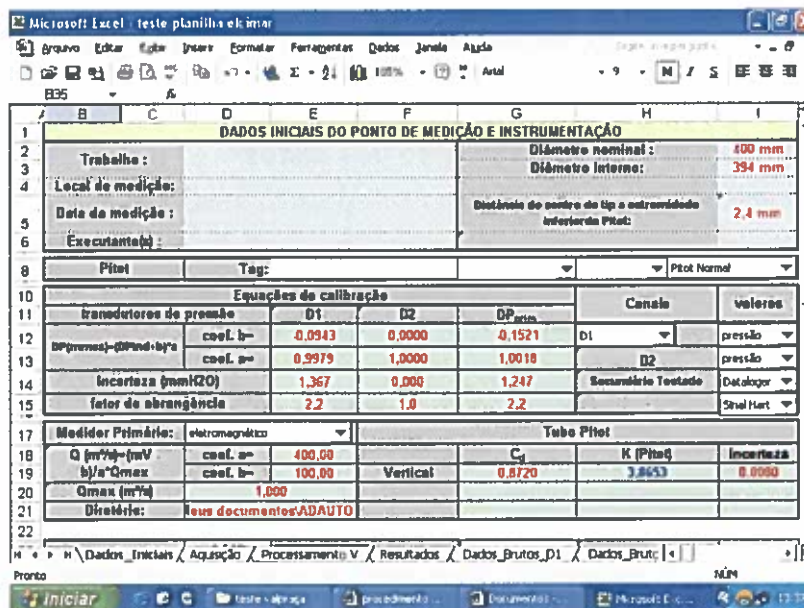


Figura 11 - Área de trabalho do Excel® - campos dados iniciais do Ponto de Medição.

Pode-se observar que a planilha permite uma aquisição mista, ou seja, é possível termos parte da calibração realizada com aquisição e processamento *on-line* e, os demais dados, acrescentados através de um conjunto de registros através de *dataloggers*. Por isso, temos a seguinte opção dos campos relacionados na figura 12.

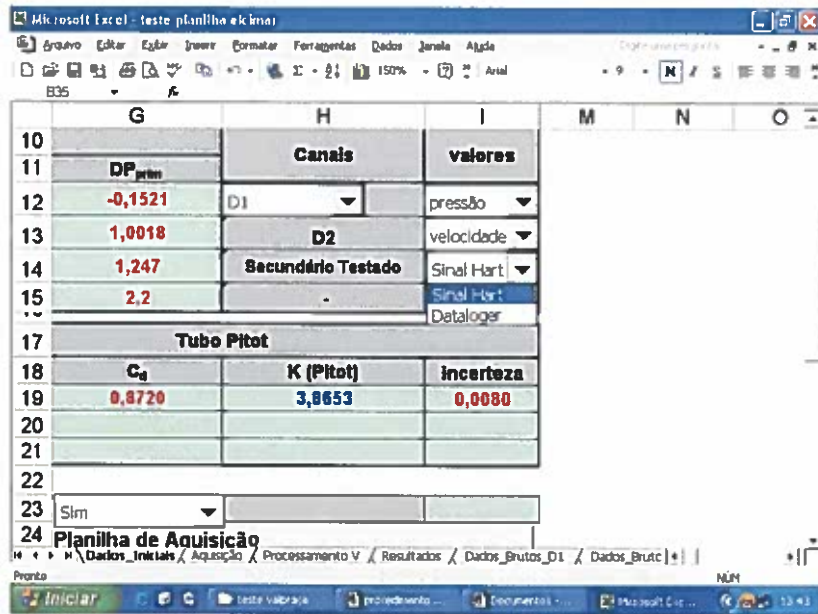


Figura 12 - Área de trabalho do Excel® - Seleção da opção de aquisição *on line* ou com *datalogger*.

7.10.1 Preenchimento dos campos – Células de I12 a I15

ESCOLHER A OPÇÃO CORRESPONDENTE	
Célula I12	Pressão – <i>escolher padrão</i>
	Velocidade (opcional)
Célula I13	Pressão – <i>escolher padrão</i>
	Velocidade (opcional)
Célula I14	Sinal Hart – aquisição de dados <i>on line</i>
	<i>Datalogger</i>
Célula I15	Sinal Hart – aquisição de dados <i>on line</i>
	<i>Datalogger</i>

Figura 13 – Preenchimento dos campos – células I12 a I15

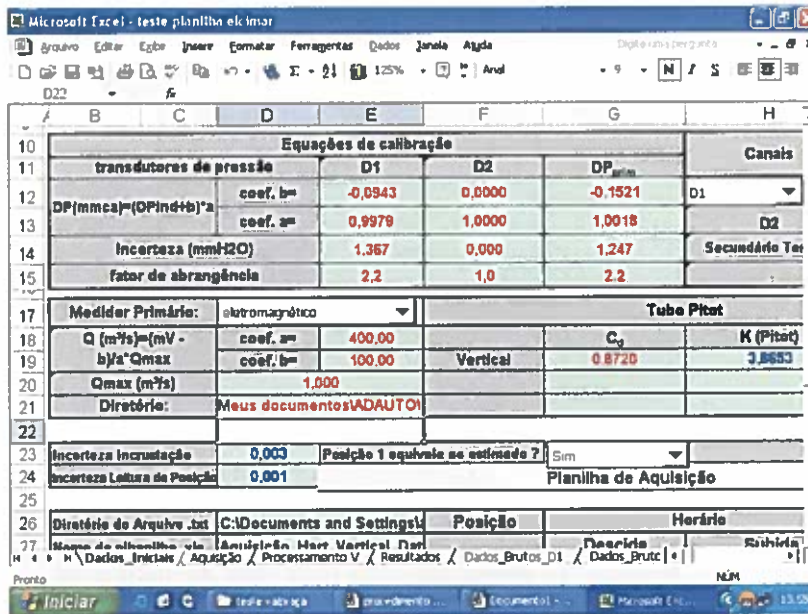


Figura 14 - Área de trabalho do Excel® - diretórios e demais campos.

Ao preencher os campos da planilha "Dados", é fundamental que o diretório de arquivos *.txt seja corretamente preenchido, pois é nele que a macro buscará automaticamente os arquivos que serão processados. Também para isto é necessário que tanto os arquivos *.txt, como a planilha de processamento estejam no mesmo diretório.

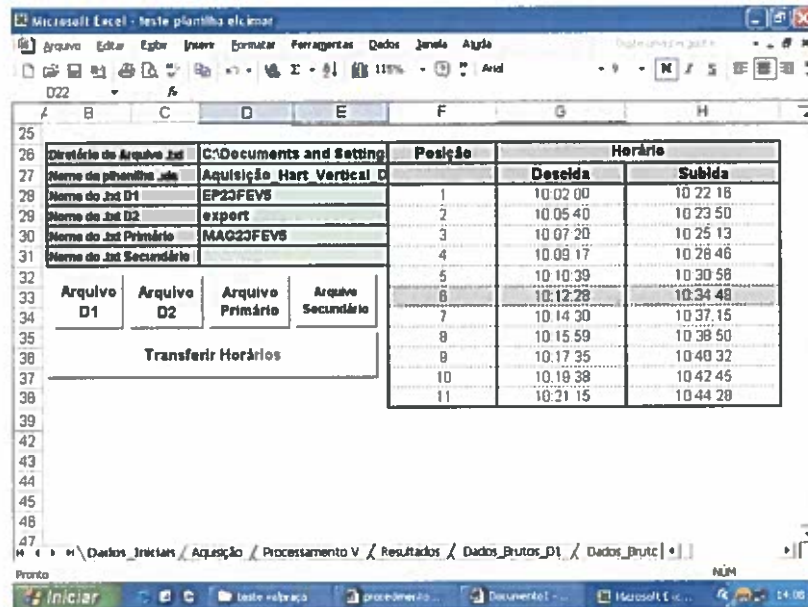


Figura 15 - Área de trabalho do Excel® - campos dos arquivos *.txt.

O preenchimento dos campos com nomes dos arquivos *.txt devem ser rigorosamente iguais aos gravados no endereço de origem, segundo a formatação

apresentada pelo Windows® . Se na página do Windows Explorer® o arquivo for designado, por exemplo, como "ep.txt", este nome deve ser transcrito exatamente da mesma forma para a célula. Caso o arquivo seja designado apenas como "ep", igualmente a grafia deve ser mantida.

Depois de preenchidos estes campos, preenche-se as células que determinam o tempo de aquisição e registro dos pontos.

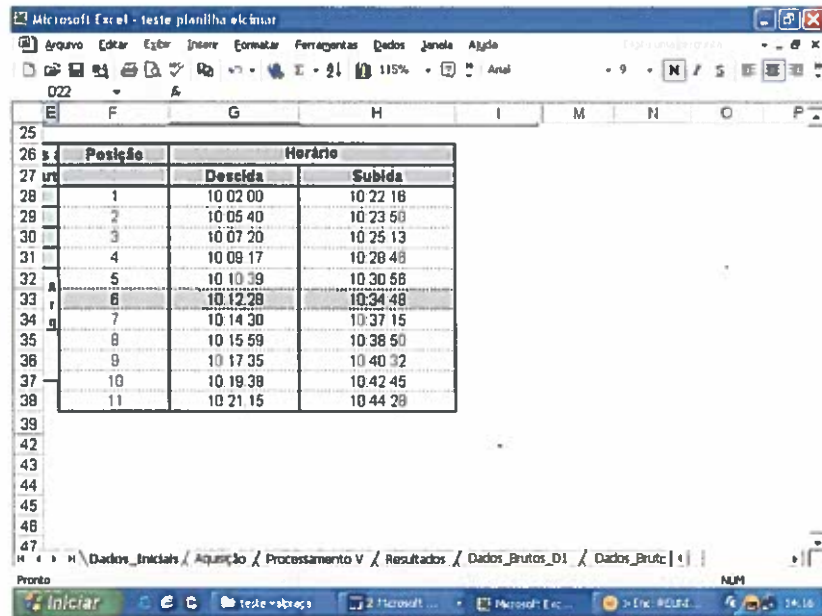


Figura 16 - Área de trabalho do Excel® - campo "Horário".

As células destes campos **obrigatoriamente devem estar no formato hh:mm:ss**. Caso isto não seja respeitado, haverá problemas no processamento.

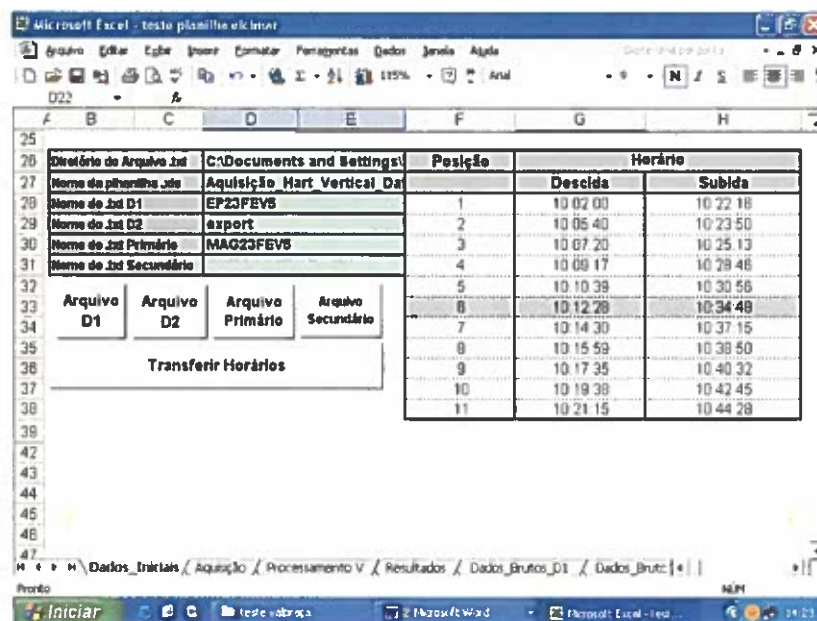


Figura 17 - Área de trabalho do Excel® - macro para transferir horários.

O próximo passo é limpar as células de B6 a R16 na planilha de processamento, para que os novos valores sejam transferidos.

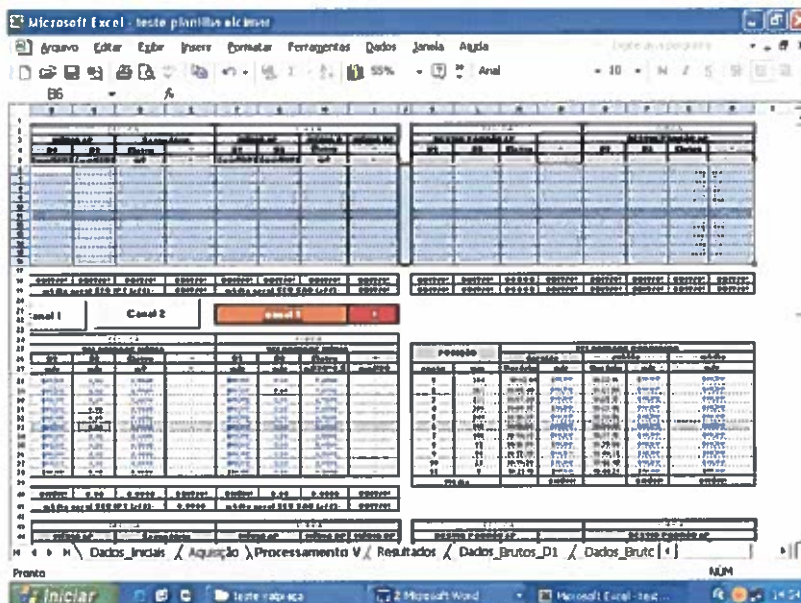


Figura 18 - Área de trabalho do Excel® - planilha de processamento sendo “limpa”.

Após clicar nesta macro, deve-se clicar nas respectivas macros de acordo com os respectivos transdutores usados.

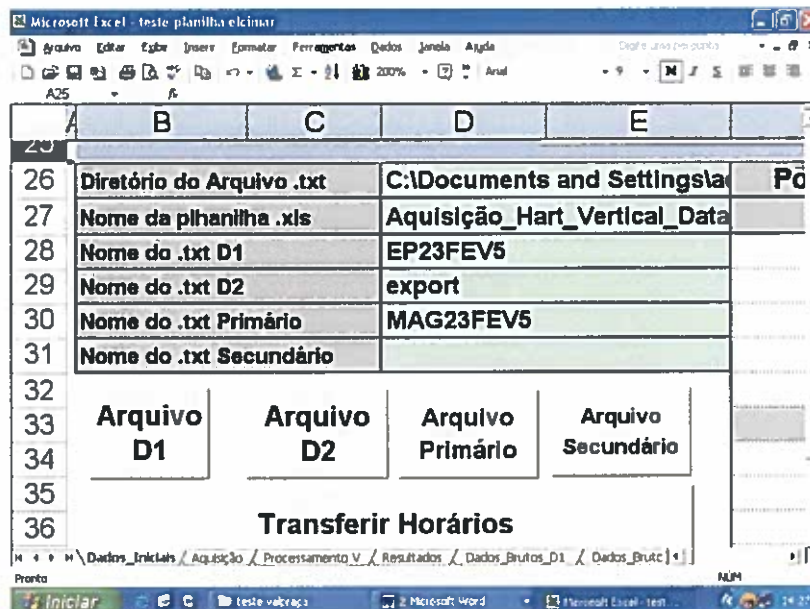


Figura 19 - Área de trabalho do Excel® - planilha com macros para transferência de dados.

Estas macros criam, respectivamente, pastas de dados brutos como a apresentada na Figura 20.

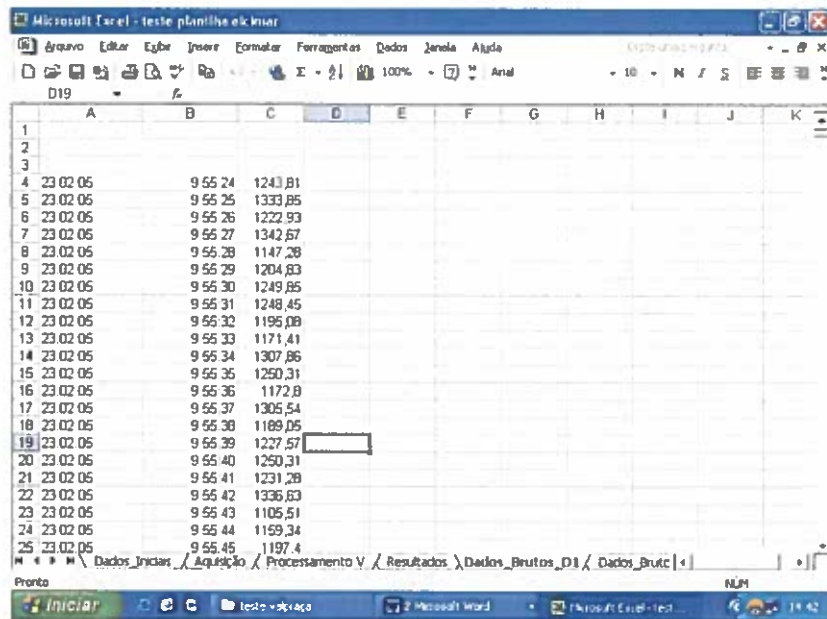


Figura 20 - Área de trabalho do Excel® - pasta criada pela transferência de dados.

Automaticamente, o Microsoft Excel® apresentará caixas de mensagens. Deve-se clicar duas vezes em "Não". Após esta seqüência, o resultado da calibração já pode ser visto na pasta "Resultados", conforme Figura 21.

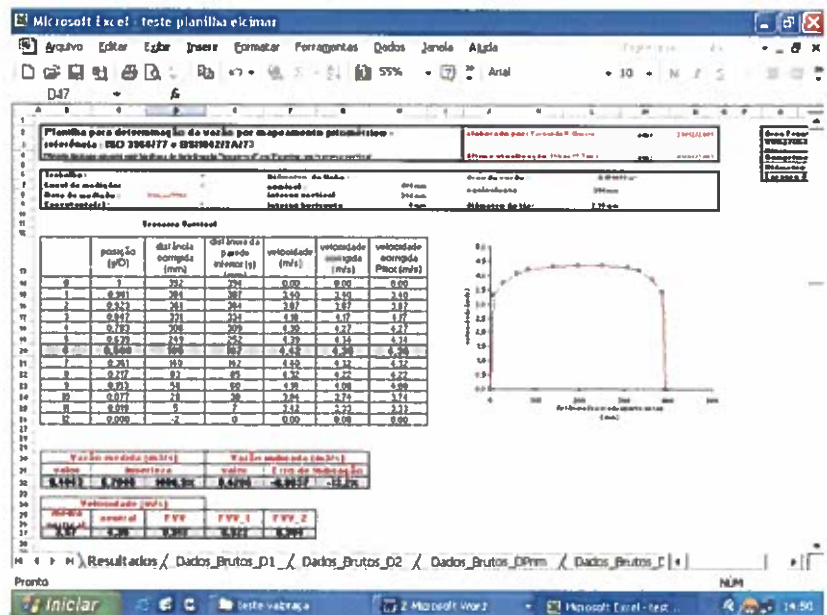


Figura 21 - Área de trabalho do Excel® - pasta "Resultados".

NOTA: dependendo da configuração do microcomputador usado, pode haver incompatibilidade de configuração e as instruções das macros podem não ser automaticamente realizadas. Neste caso, pode-se proceder da seguinte maneira:

- a) certificar-se de que os horários foram transferidos através da macro "Transferir Horários",
- b) certificar-se de que, na planilha "Processamento", as células de B6 a R16 foram limpas, e
- c) abrir os respectivos arquivos *.txt com o assistente de importação de dados e limpá-los manualmente nas respectivas células a partir da célula A4, mantendo a formatação da Figura 22.

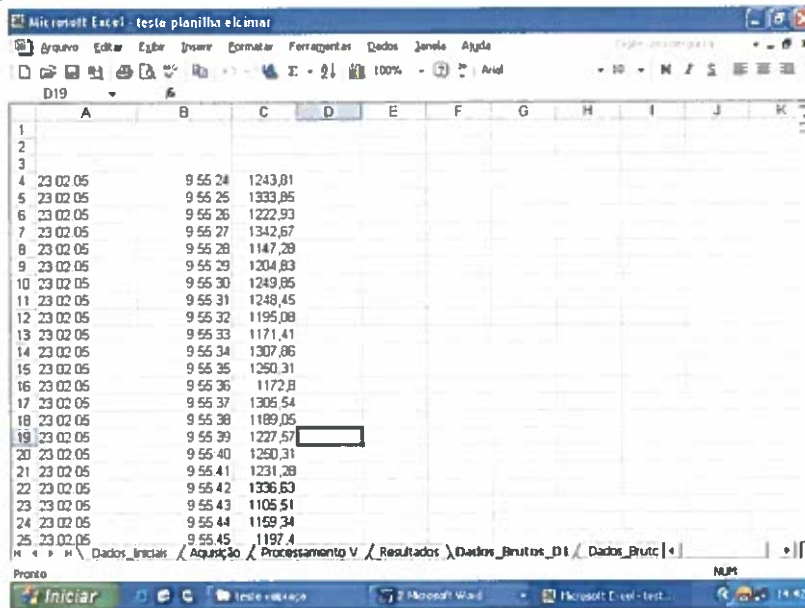


Figura 22 - Área de trabalho do Excel® - inserção manual de dados para processamento.

- a) após colar os respectivos dados da Estação Pitométrica e do medidor venturi ou do eletromagnético, teclar F9 (comando do Microsoft Excel® que inicia a execução de cálculos),
- b) clicar na pasta "Processamento" e copiar os valores das células de B47 a R57 nas células de B6 a R16 limpas anteriormente, e
- c) clicar na pasta "Resultados" para obter o produto final da calibração.

Estas Instruções não estão descritas nos procedimentos, pois deverão ser elaboradas em conjunto com outras equipes (ex.: segurança do trabalho, etc):

7.11 Sinalização e preparação do local

- Sinalizar o local, se necessário.
- Abrir a tampa ou tampão da(s) caixa(s) do tap(s) e do medidor.
- Medir a concentração de oxigênio e gases explosivos e, se necessário, insuflar ar conforme PROCEDIMENTO DA SEGURANÇA DO TRABALHO.

Anexo A – Avaliação das instalações e configuração do medidor em teste e da estação pitométrica

Esta avaliação pode ser dividida em duas etapas:

Check list: realizado previamente pela equipe na estação em questão, este processo consiste na identificação em campo do macromedidor (primário e secundário) e da Estação Pitométrica, bem como na verificação da existência de derivações entre a EP e o medidor, avaliação das condições de trabalho nos poços de visita tais como: existência de escada, medição de concentração de oxigênio e de gases explosivos, iluminação, etc. No ato da visita técnica preenche-se o *check list* (conforme modelos mostrados nos Anexos K e L).

Avaliações: executadas pela área de engenharia com base nas informações do *check list*, e divididas em três módulos:

- Avaliação do elemento primário.
- Avaliação do elemento secundário.
- Avaliação da estação Pitométrica.

Avaliação do elemento primário: com base nas distâncias das singularidades mais próximas do primário, analisam-se os trechos retos à montante e jusante, averiguando se são acima dos valores mínimos recomendados pelas normas que regulamentam a instalação de medidores por diferencial de pressão e eletromagnéticos.

Se o medidor funcionar por diferencial de pressão (deprimogêneo), deve ser seguida a NBR ISO 5167-1, onde os trechos retos mínimos de tubulação adjacentes ao primário são mostradas na Tabela A.1 (com incerteza adicional de 0,5%):

Tabela A.1 – Avaliação do elemento primário

β (Relação entre o diâmetro da garganta e do tubo)	Lado à montante do primário								Lado à jusante do primário
	Curva de 90° (escoamento de uma derivação somente)	Mais de uma curva de 90° no mesmo plano	Mais de uma curva de 90° em planos diferentes	Redução de $2 \times D$ para D em comprimento de $(1 \text{ a } 2) \times D$	Ampliação de $0,5 \times D$ para D em comprimento de $(1 \text{ a } 2) \times D$	Válvula-globo totalmente aberta	Válvula-esfera ou gaveta totalmente aberta	Redução concêntrica abrupta com $d/D \geq 0,5$	Conexões (colunas de 2 a 8*)
0,20	6	7	17	5	8	9	6	15	2
0,25	6	7	17	5	8	9	6	15	2
0,30	6	8	17	5	8	9	6	15	2,5
0,35	6	8	18	5	8	9	6	15	2,5
0,40	7	9	18	5	8	10	6	15	3
0,45	7	9	19	5	9	10	6	15	3
0,50	7	10	20	5	9	11	6	15	3
0,55	8	11	22	5	10	12	7	15	3
0,60	9	13	24	5	11	13	7	15	3,5
0,65	11	16	27	6	13	14	8	15	3,5
0,70	14	18	31	7	15	16	10	15	3,5
0,75	18	21	35	11	19	18	12	15	4
0,80	23	25	40	15	27	22	15	15	4

- Para medidores eletromagnéticos, as normas a serem seguidas são:

- NBR ISO 6817, que estabelece um trecho reto mínimo de cinco diâmetros à montante do primário, nada exigindo com relação ao trecho de jusante;
- NBR ISO 9104, que estabelece um trecho reto mínimo de dez diâmetros à montante do primário e de cinco diâmetros com relação ao trecho de jusante.

- **Avaliação do elemento secundário:** com base nas faixas operacionais de vazão (fabricante) e na faixa programada, efetua-se a análise de como o secundário está trabalhando. Devem ser avaliados, também, os seguintes aspectos:

- acessibilidade para configurar e executar a manutenção;
- níveis de temperatura, umidade e vibração dentro dos limites estabelecidos pelo fabricante;
- exposição a raios solares e ambientes corrosivos;
- configuração do *span* correspondendo a 133,3% da vazão máxima de operação, para absorver eventuais situações de transitório e fora de rotina.

- **Avaliação da Estação Pitométrica:** para este tipo de instalação, a norma a ser obedecida é a BSI 1042-2.1, que exige um trecho reto mínimo de 20 diâmetros à montante e, de 5 à jusante de uma EP. Vale destacar que a Norma BSI 1042 recomenda que o mapeamento seja feito sempre em dois diâmetros defasados de 90° na seção de medição, para uma melhor definição do perfil de velocidades e

visando garantir a redução das incertezas de medição. Mas, na maioria dos casos, só é possível levantar o perfil de velocidades em apenas um diâmetro (*traverse*).

Outro aspecto a ser verificado visualmente é o alinhamento do eixo dos *taps* em relação à linha de centro (diâmetro) da seção transversal da tubulação na qual os *taps* estão instalados.

Anexo B – Seleção das vazões de calibração

Um fator fundamental na realização das calibrações é a determinação das faixas de vazão de operação. Tal determinação deve ser feita com base nas vazões de trabalho dos últimos 12 meses, levando-se em conta possíveis restrições de velocidade que serão obtidas no mapeamento da seção durante o processo de calibração em campo. O banco de dados do Scoa fornece subsídios para a determinação das faixas de vazão de operação do macromedidor em questão e, é através da compilação desses registros por meio de um aplicativo em Excel[®], que temos retratado o comportamento da operação do Ponto de Medição em questão, conforme ilustra o Gráfico B.1.

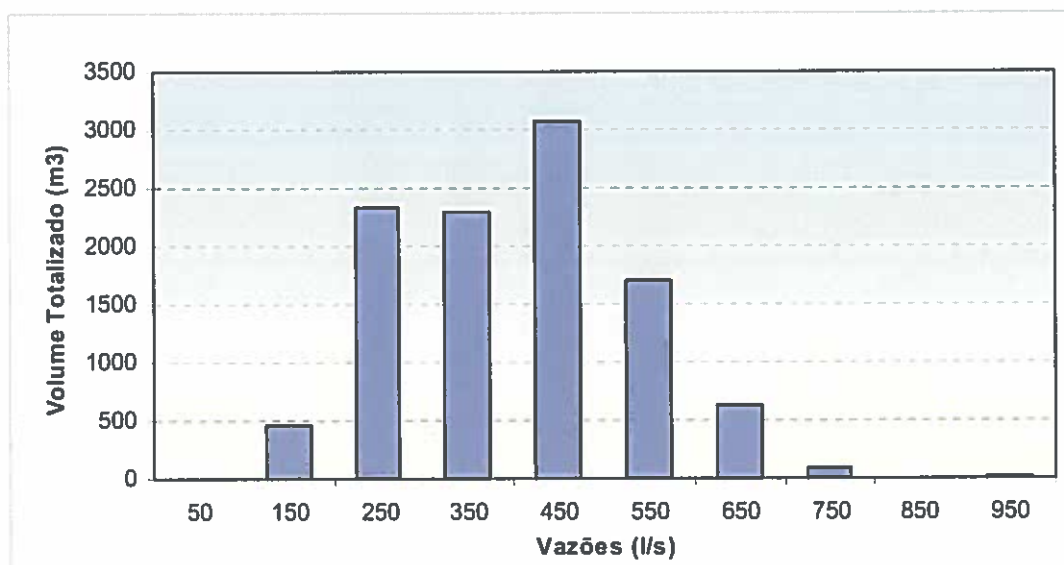


Gráfico B.1 - Histograma anual de vazões.

Excetuando-se os casos em que as condições operacionais determinadas pelo sistema não permitem, toda calibração deve ser feita em três vazões, dentro da faixa de trabalho do medidor, conforme mostrado no Gráfico B.2.

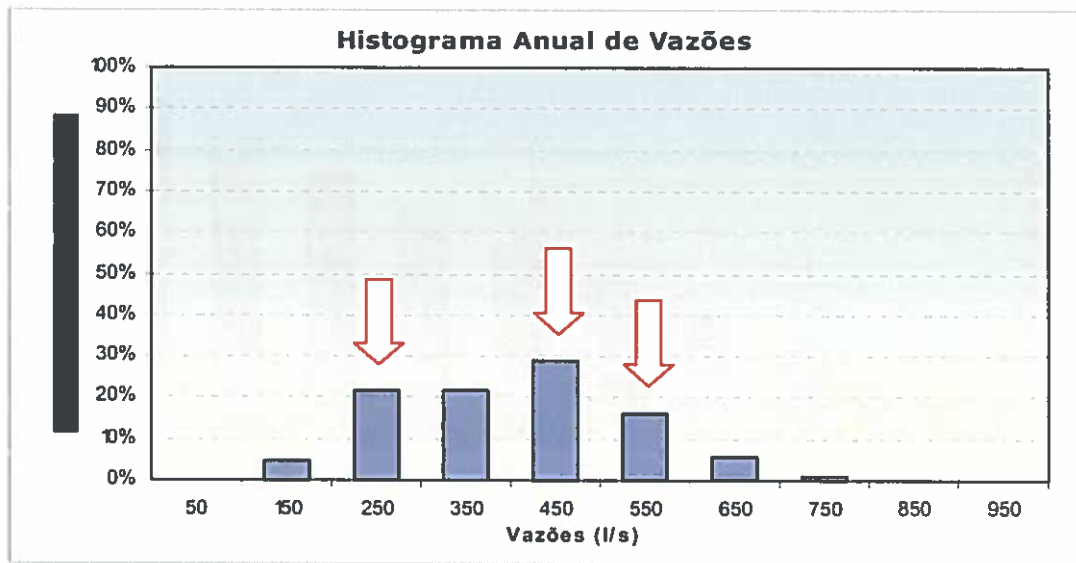


Gráfico B.2 - Histograma anual de vazões.

De posse das vazões de ensaio, passa-se a definir as características da instrumentação que será usada na calibração em campo.

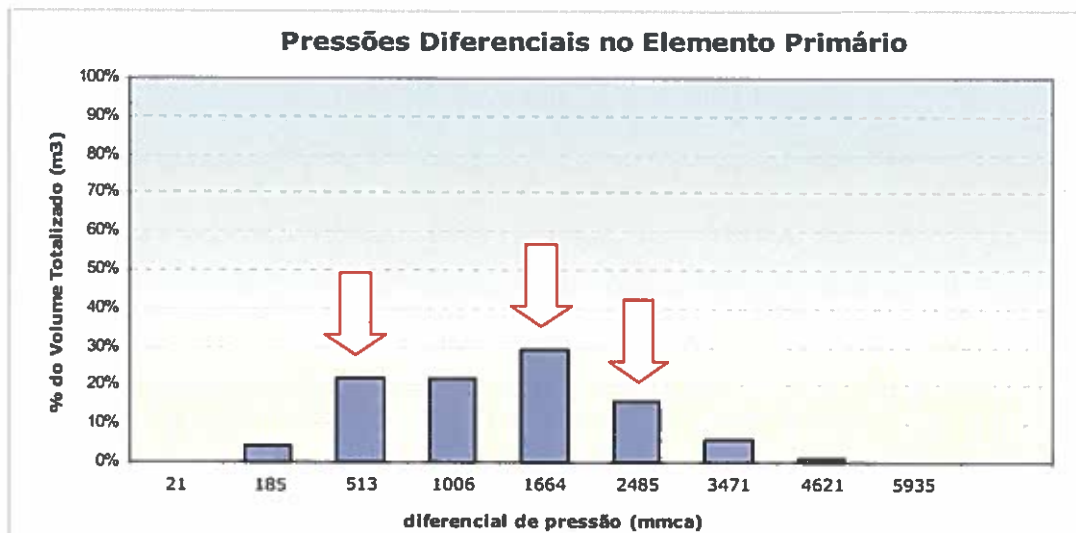


Gráfico B.3 - Histograma anual de pressões diferenciais no primário.

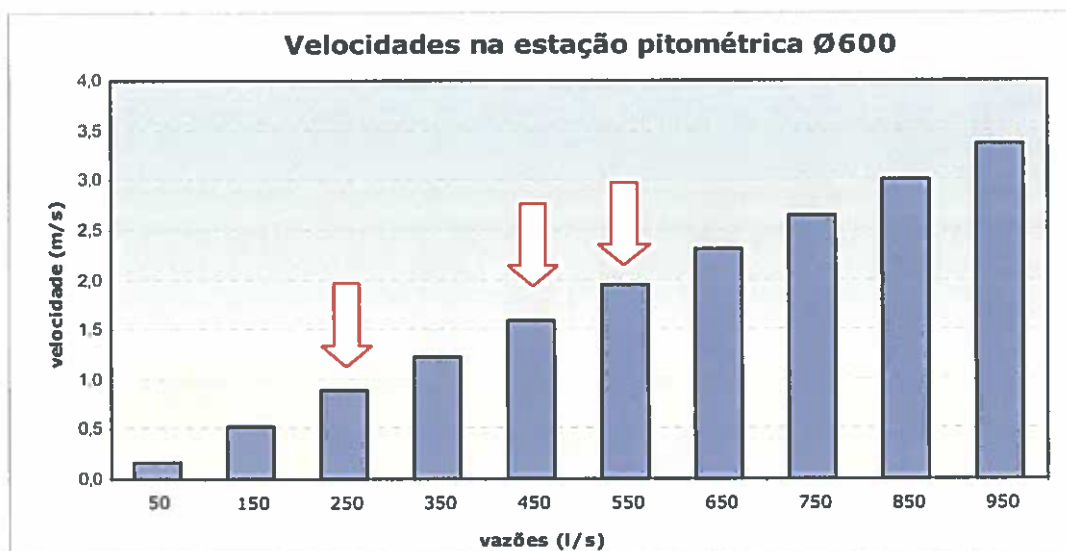


Gráfico B.4 - Histograma de velocidades na Estação Pitométrica.

Anexo C – Ensaio de Campo - Medição do diâmetro interno da seção da tubulação

Foto C.1 - Calibre ou galgador de um Tubo de Pitot.

Neste processo, além do calibre (galgador), utiliza-se uma escala de aço (escalímetro). Ao se medir o diâmetro interno de uma tubulação, deve-se atentar para o fato do galgador possuir uma distância chave de 20 mm, que deve ser somada ao diâmetro medido no galgador (conforme figura C.1).

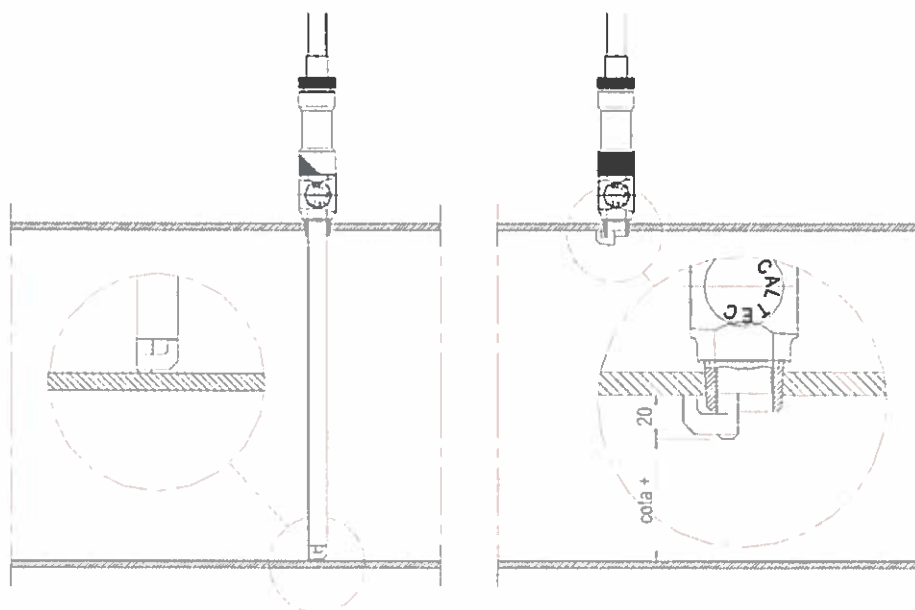


Figura C.1 - Calibração do diâmetro interno do tubo. À direita, o uso do galgador.

A medição do diâmetro interno da tubulação deve ser realizada na vertical, horizontal ou em ambas; se existirem dois *taps* (ou válvulas de esfera). Outra disposição dos *taps* pode ser a 45° em relação ao eixo vertical. A figura C.2 mostra as disposições mais comuns de *taps* e os respectivos diâmetros calibrados:

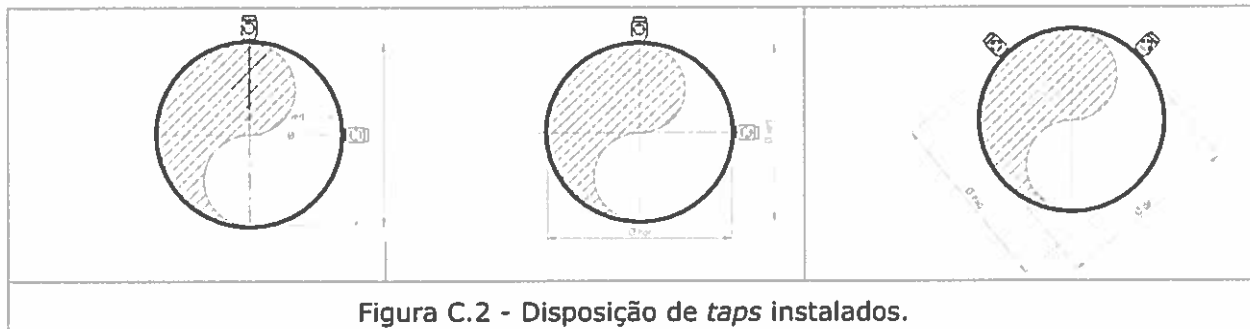


Figura C.2 - Disposição de taps instalados.

Deve-se atentar para os casos em que os taps estão rosqueados diretamente na parede da adutora, notadamente em linhas de ferro fundido. Neste caso, em função do diâmetro interno, a Posição 1 (calculada) pode não ser alcançada por restrição física e, portanto, deve ser estabelecida por extrapolação. O valor real medido deve ser lançado no respectivo campo da planilha de calibração. Do ponto de vista metrológico, esta extrapolação não representa problema, pois na metodologia desenvolvida, há dispositivos que permitem corrigir esta situação. A Figura C.3 ilustra este problema que comumente é encontrado em campo.

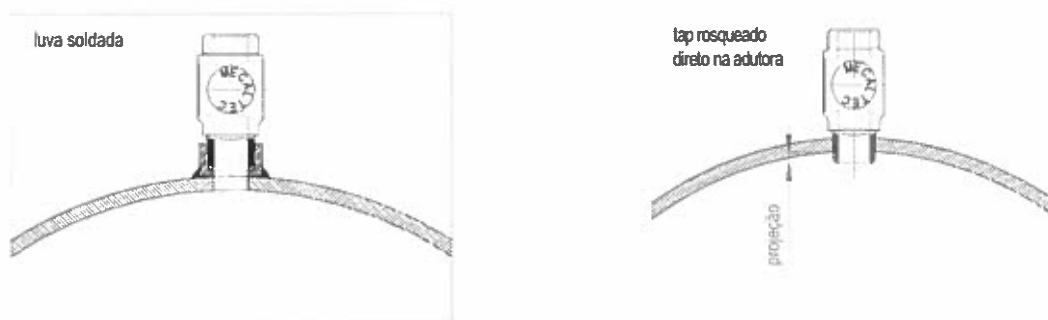


Figura C.3 - Instalações típicas de tap: à esquerda, em tubulação de aço e, à direita, de ferro fundido.

Conforme se pode observar nas figuras acima, o tap deve estar instalado diretamente na adutora (tubulação de ferro fundido) ou ser rosqueado em uma luva de aço soldada diretamente na geratriz (tubulações de aço). Caso o tap esteja fixado em uma tampa de inspeção ou de outra forma que não se permita galgar a tubulação, não se pode usar este ponto para medir, pois é através desta medição que obtemos o posicionamento ao longo do diâmetro interno da seção para levantamento do perfil de velocidades (ver Tabela C.1).

Tabela C.1 - Tabela de cálculo do posicionamento do Tubo de Pitot para mapeamento.

Traverse Vertical						
	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	298	302	0,00	0,00	0,00
1	0,981	290	294	1,04	1,04	1,04
2	0,923	273	277	1,32	1,32	1,32
3	0,847	250	254	1,47	1,46	1,46
4	0,783	231	235	1,54	1,53	1,53
5	0,639	187	192	1,56	1,54	1,54
6	0,500	146	150	1,54	1,51	1,51
7	0,361	104	108	1,55	1,51	1,51
8	0,217	61	65	1,56	1,51	1,51
9	0,153	42	46	1,51	1,46	1,46
10	0,077	19	23	1,42	1,37	1,37
11	0,019	1	6	1,28	1,23	1,23
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00

Anexo D – Montagem e preparação dos equipamentos para mapeamento de velocidades

O perfil de velocidades é obtido através de um Tubo de Pitot previamente calibrado em túnel de vento, conforme procedimento IPT PC 18: **Calibração de tubos de Pitot com ar**.

D.1 Instalação do tubo de Pitot

Antes de se conectar os transdutores de pressão, deve-se introduzir o Tubo de Pitot em qualquer posição até atingir a geratriz inferior. Ao fazer isto, posiciona-se a guia na haste do Tubo de Pitot e depois, na geratriz superior. Mede-se então, com uma escala de aço, a posição alcançada para saber se ela corresponde à medida calculada na planilha.

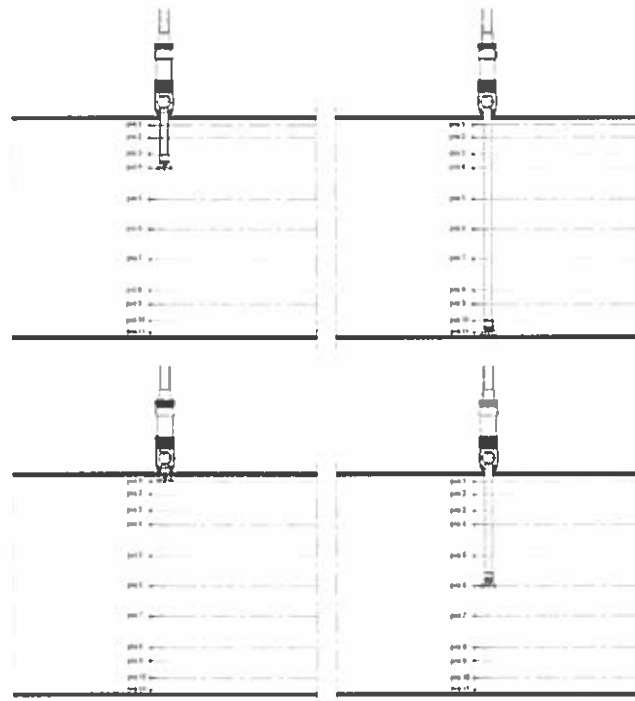


Figura D.1 - Seqüência para montagem do Tubo de Pitot.

NOTA: Depois de posicionar os *tips* do Tubo de Pitot no centro da tubulação, deve-se promover um giro de 180° de modo que as tomadas de alta e baixa sejam invertidas a fim de verificar se há diferença significativa entre as medições que, em caso positivo, indicaria problemas no transdutor de pressão ou avarias nos *tips* do Tubo de Pitot. Em ambas as situações o componente com problemas deve ser substituído.

2 Montagem dos transdutores de pressão

A montagem dos transdutores de pressão no primário do medidor deprimogêneo, sempre que possível, deve ser feita da maneira ilustrada na Figura D.2.

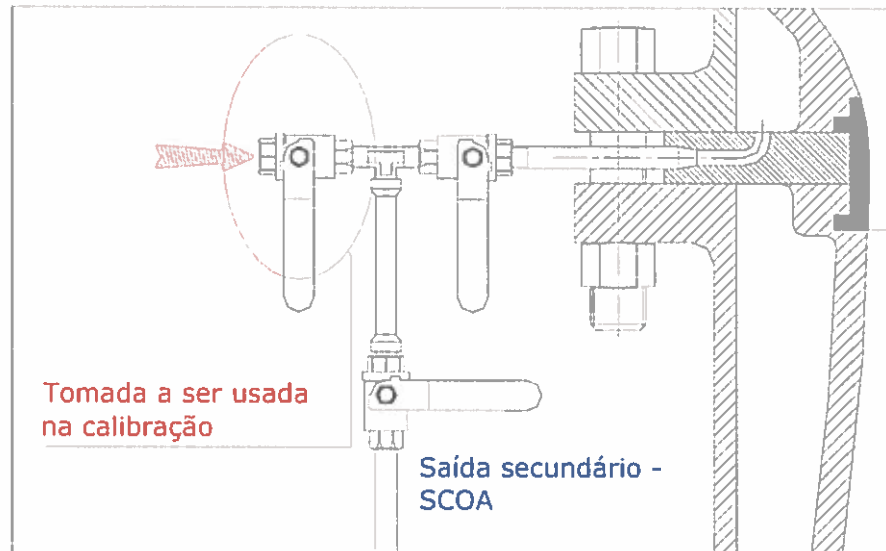


Figura D.2 – Montagem dos transdutores de pressão no primário do medidor deprimogênico.

Em casos extremos em que o acesso ao primário é dificultoso, gera transtornos ou implica na segurança dos colaboradores, pode-se analisar a calibração através do elemento secundário, desde que este critério seja previamente acertado com o solicitante. A montagem no elemento primário deve ser feita após se certificar de que as tomadas de pressão estejam desobstruídas. Caso se constate a obstrução devido à deposição de material sedimentado ou de natureza desconhecida, deve-se usar ar comprimido. Isto pode ser feito em uma visita técnica que antecede a calibração ou mesmo no dia da realização do ensaio.

NOTA: caso se constate que a pressão nas tomadas de baixa do primário seja negativa, deve-se providenciar a instrumentação adequada para a montagem dos transdutores. Nessa situação, a instrumentação deve ser totalmente preparada para que não haja admissão de ar e a conseqüente adulteração do diferencial de pressão medido no primário. Geralmente, conexões à base de anilha resolvem este problema.

A montagem dos transdutores no elemento primário deve ser efetuada conforme Figura D.3.

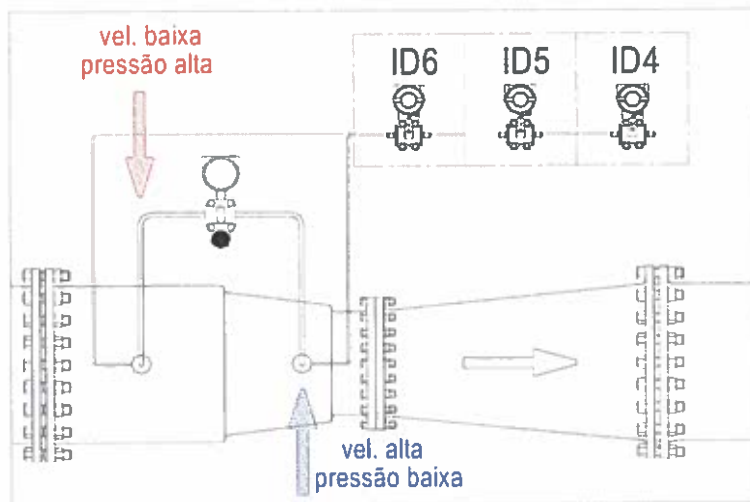


Figura D.3 - Montagem dos transdutores no primário.

Na montagem da instrumentação, deve-se observar as respectivas tomadas de pressão. Caso não seja possível identificar qual é a de baixa ou de alta pressão, deve-se orientar pelo secundário que normalmente traz as inscrições H (*High* ou Alto) e L (*Low* ou Baixo). Além disso, a disposição sugerida acima tem por finalidade parametrizar o uso das células capacitivas em um ensaio de calibração para que sempre trabalhem dentro de uma faixa ideal. Isto também possibilita que células capacitivas menores sejam descartadas nas vazões maiores para que não fiquem expostas a deformações plásticas e venham a apresentar posteriormente problemas de ajuste de “zero”, calibração, etc. O Gráfico D.1 serve como referencial para seleção do transdutor a ser usado no secundário em função do diferencial de pressão obtido durante uma determinada calibração:

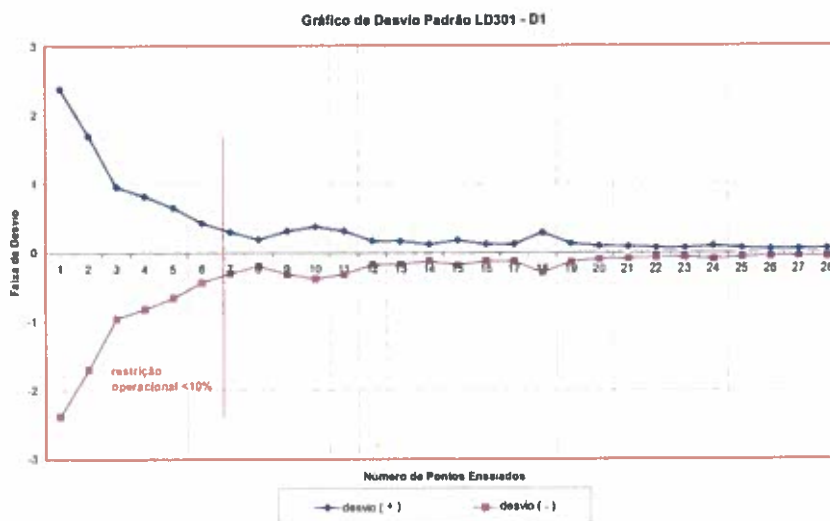


Gráfico D.1 - Curva de desvio de indicação LD 301 – (ID1 – 500 mmH₂O).

Pelo gráfico, notamos que, para que as leituras sejam precisas e para termos incertezas menores, temos de utilizar os transdutores capacitivos em faixas superiores a 10% do URL.

Desta forma, durante a calibração de um medidor deprimogêneo, deve-se observar as restrições operacionais conforme Figura D.4.

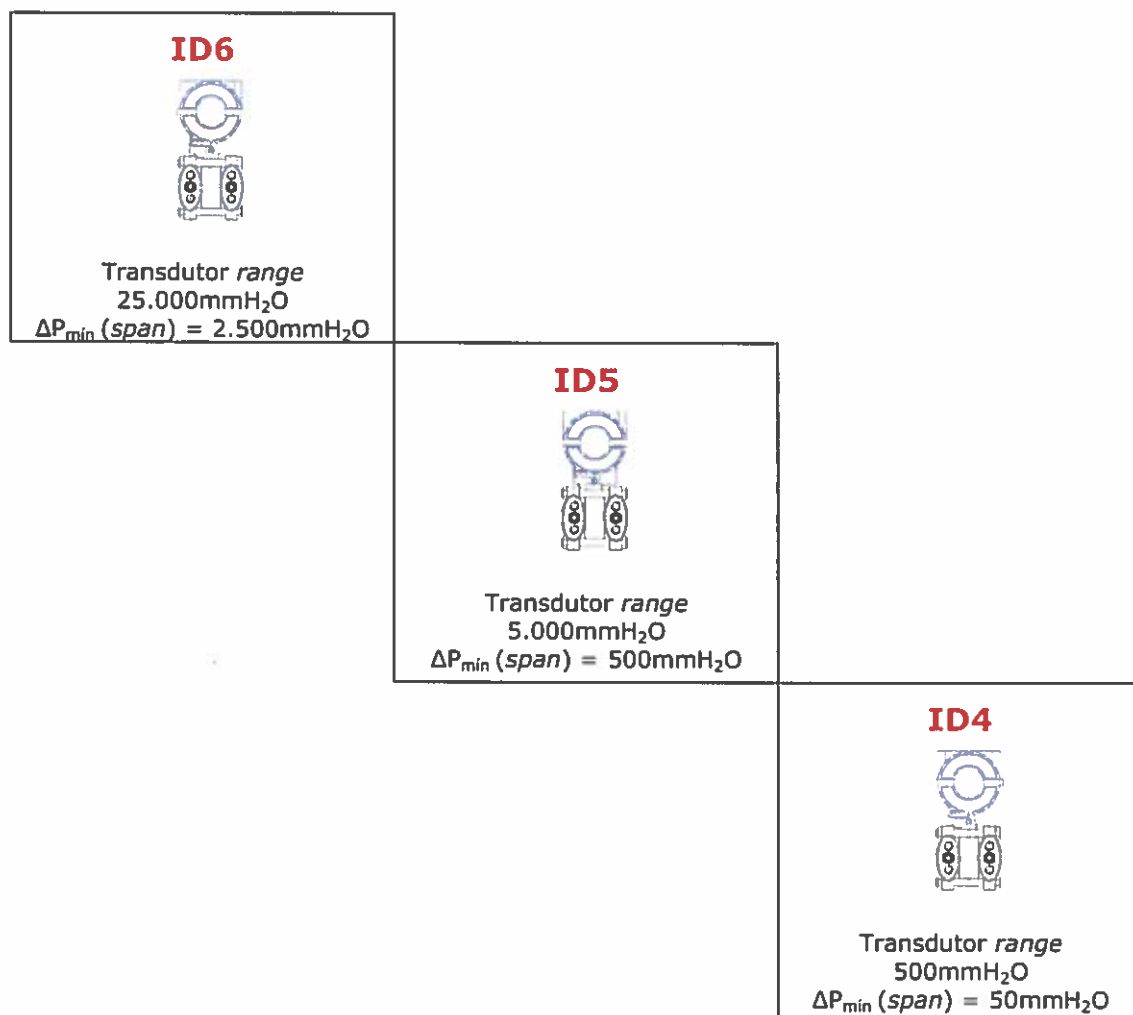


Figura D.4 – Restrições operacionais de calibração de um medidor deprimogêneo

NOTA: valores de diferencial de pressão mínimos com vazão ajustada para calibração.

Naturalmente, na montagem da instrumentação da Estação Pitométrica, deve-se observar as respectivas tomadas de pressão. Antes de se iniciar a calibração, procede-se à eliminação do ar dos componentes. O Gráfico D.1 também serve como referência para escolha e montagem dos transdutores de pressão da Estação Pitométrica, que deverá ser efetuada conforme Figura D.5.

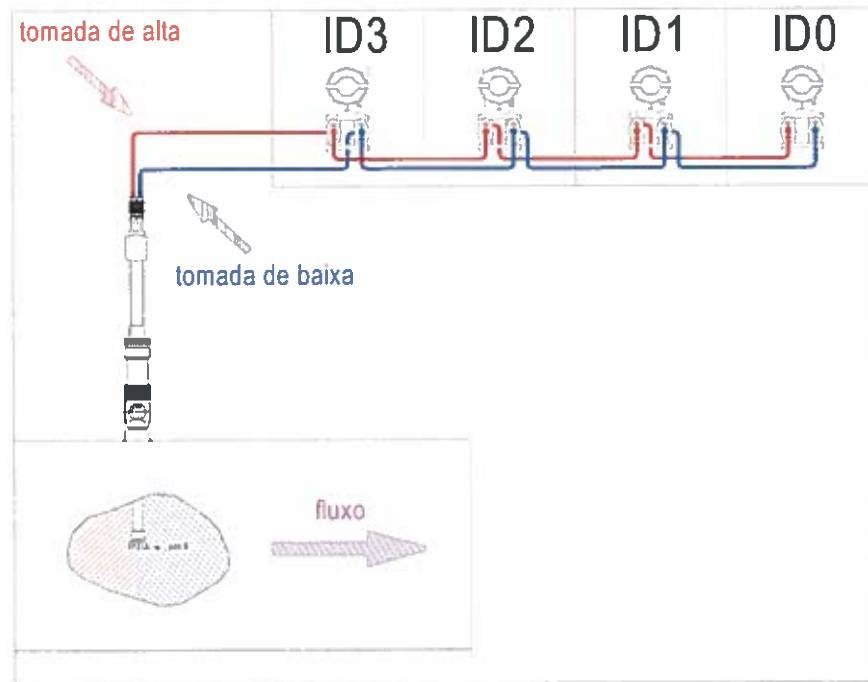


Figura D.5 - Montagem dos transdutores na Estação Pitométrica.

Montagem da instrumentação da Estação Pitométrica.

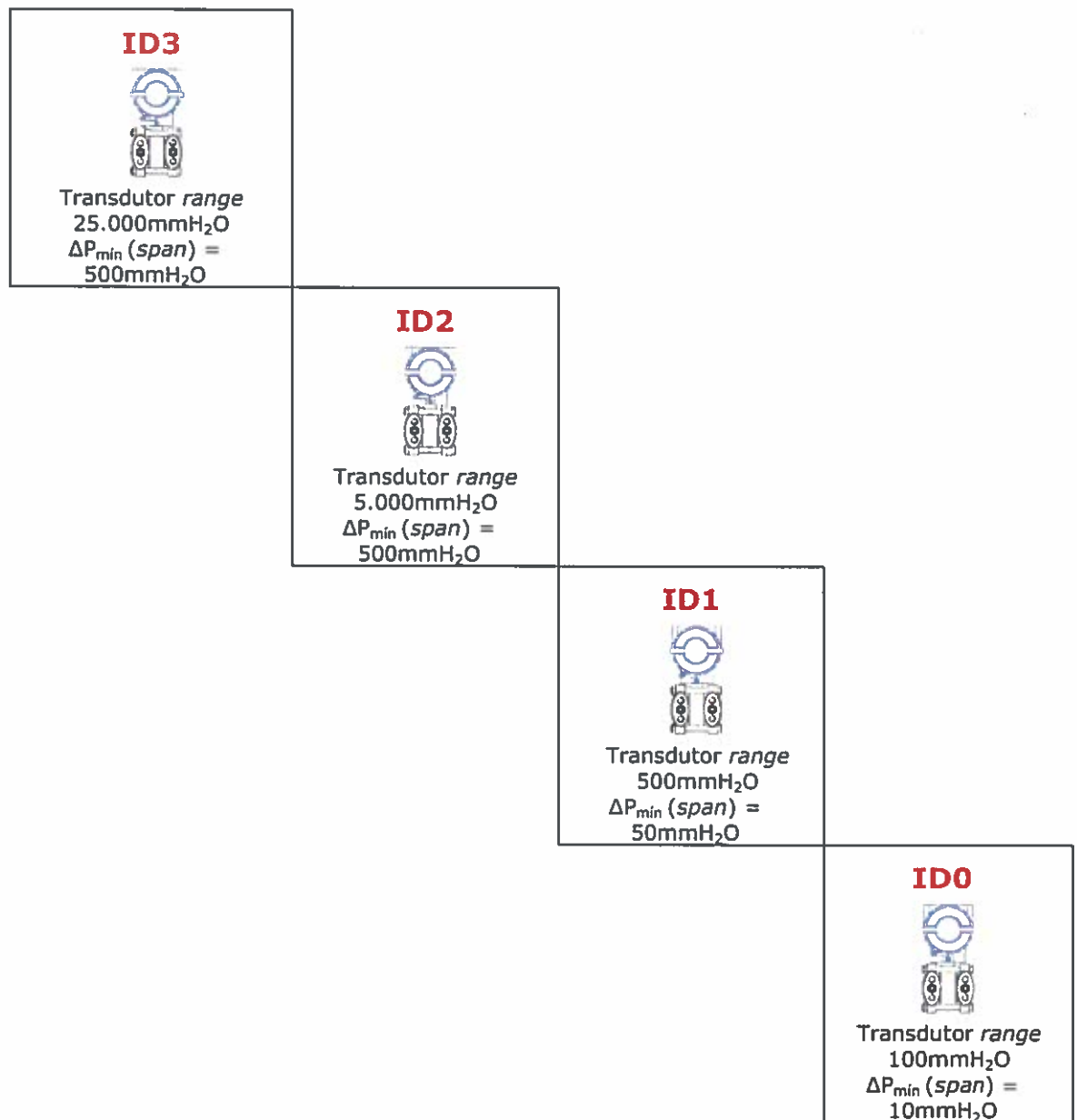


Figura D.6 – Montagem da instrumentação da Estação Pitométrica

NOTAS:

- $\Delta P_{\min} (span)$ – valores mínimos de mapeamento com Tubo de Pitot com vazão ajustada para calibração.
- Os transdutores devem ter seu ID e seu RANGE ou FAIXA especificados no corpo em local facilmente visível.
- Devem zerar com a válvula equalizadora aberta.
- Na montagem dos transdutores, deve-se observar as tomadas de pressão.
- Antes de se iniciar a calibração, procede-se a eliminação do ar dos componentes.

Anexo E – Preparação para aquisição de dados

Assim que toda a instrumentação estiver ligada e o ar do sistema eliminado, deve-se iniciar o aplicativo "IPT-PITOT" – versão 3.0 através do ícone na área de trabalho (ver Figura E.1).

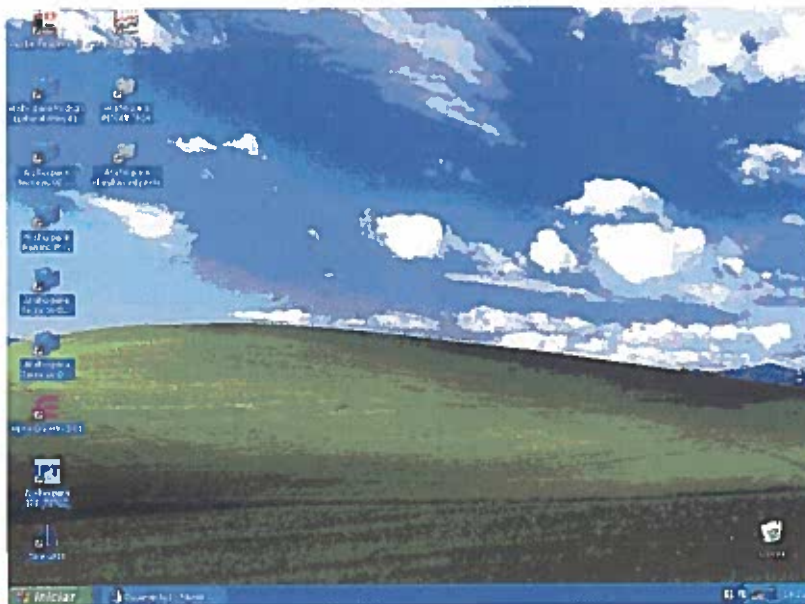


Figura E.1 - Área de trabalho Windows® – aplicativo "IPT-PITOT" – versão 3.0.

Ao abrir este aplicativo será apresentada a tela da Figura E.2.

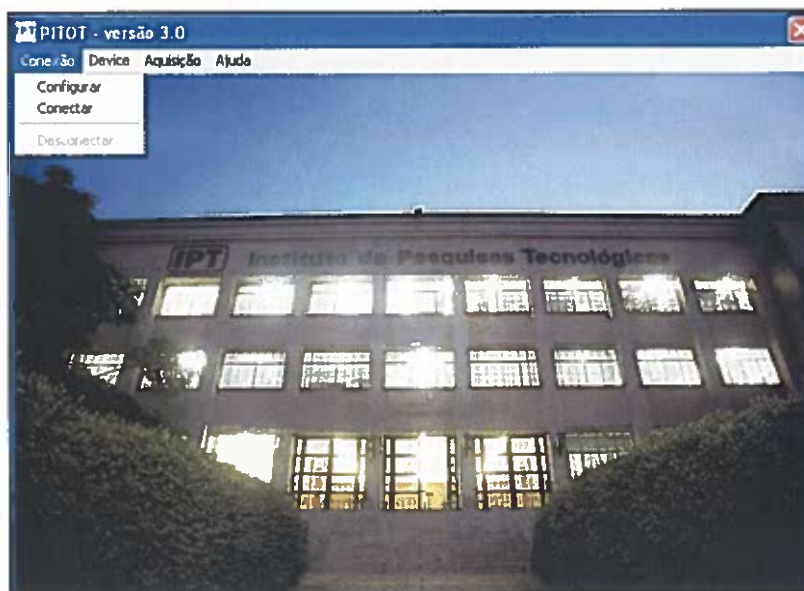


Figura E.2 - Área de trabalho Windows® – "janela" de entrada do aplicativo "IPT-PITOT".

Deve-se proceder da seguinte maneira:

- a) clicar em "Conexão" na barra superior e selecionar a opção "Configurar";
- b) selecionar a respectiva porta de comunicação (COM1) correspondente do *notebook*, e
- c) clicar na botão "Continuar" (ver Figura E.3).



Figura E. 3 - Área de trabalho Windows® - "CONFIGURAÇÃO DOS PARÂMETROS DA PORTA SERIAL".

Após, deve-se clicar na opção "Conexão"/ "Conectar" e será apresentada a tela da figura E.4.

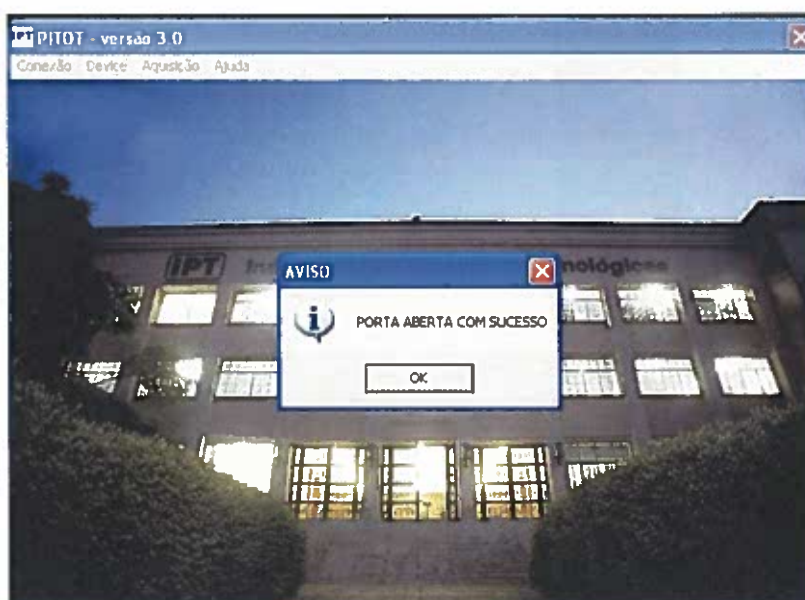


Figura E.4 - Área de trabalho Windows® - aviso que a conexão está estabelecida.

Clicar em "OK" e, em seguida, configurar os endereços (*Devices*). Para isso deve-se clicar em "Device"/ "Procurar", conforme Figura E.5.

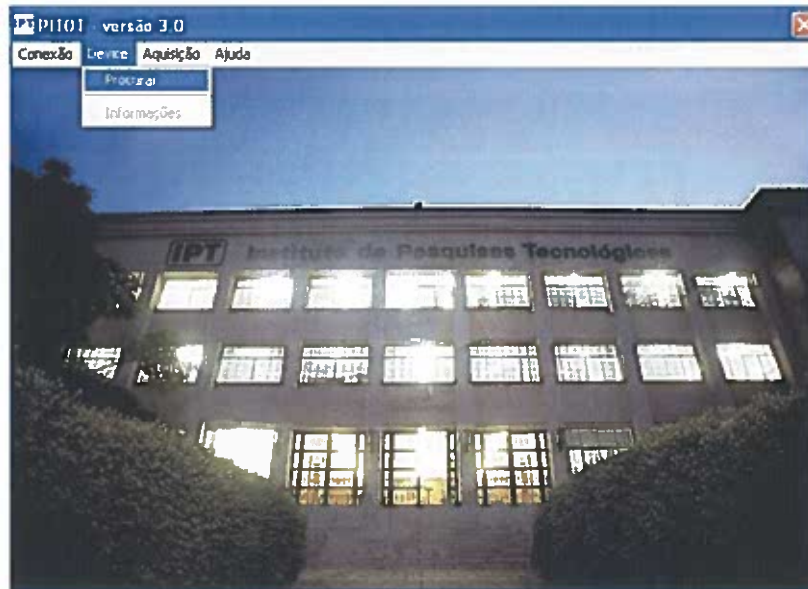


Figura E.5 - Área de trabalho Windows® - menu "Device"/ "Procurar".

Ao seleccionar esta opção, abre-se a janela (Figura E.6) na qual se escolhe a opção de acordo com o número de transdutores a serem utilizados e clica-se em "Continuar".

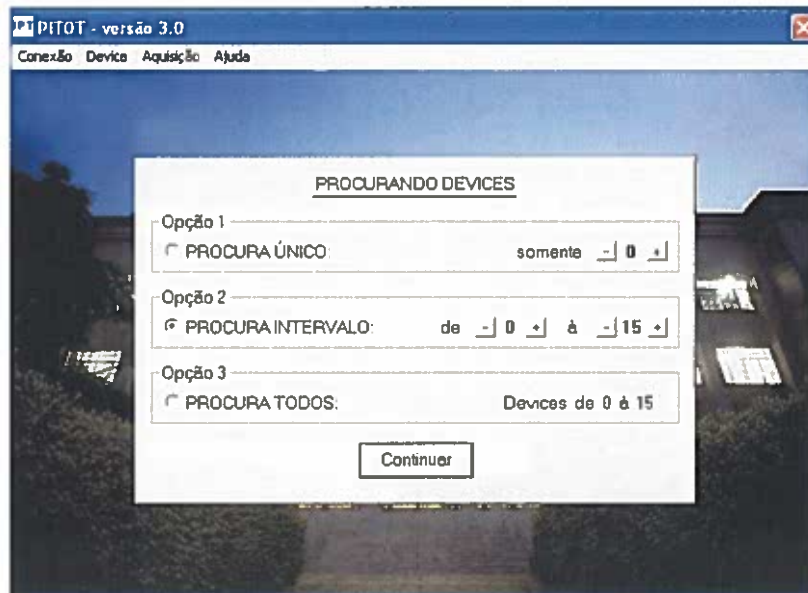


Figura E.6 - Área de trabalho Windows® - "PROCURANDO DEVICES".

O software apresentará a janela na Figura E.7.



E.7 - Área de trabalho Windows® - janela mostrando os transdutores conectados à malha.

Clicar novamente em "Continuar" e depois na opção "Aquisição"/ "Iniciar", quando será apresentada a tela da Figura E.8.

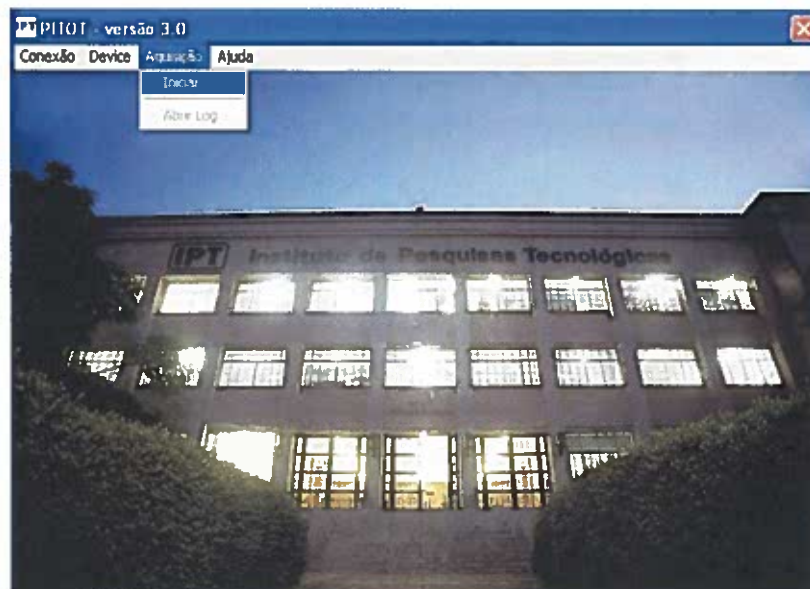


Figura E.8 - Área de trabalho Windows® - seqüência para iniciar aquisição.

A seguir, o software apresentará a janela (Figura E.9), que mostra a pasta onde os dados *.txt serão gravados.

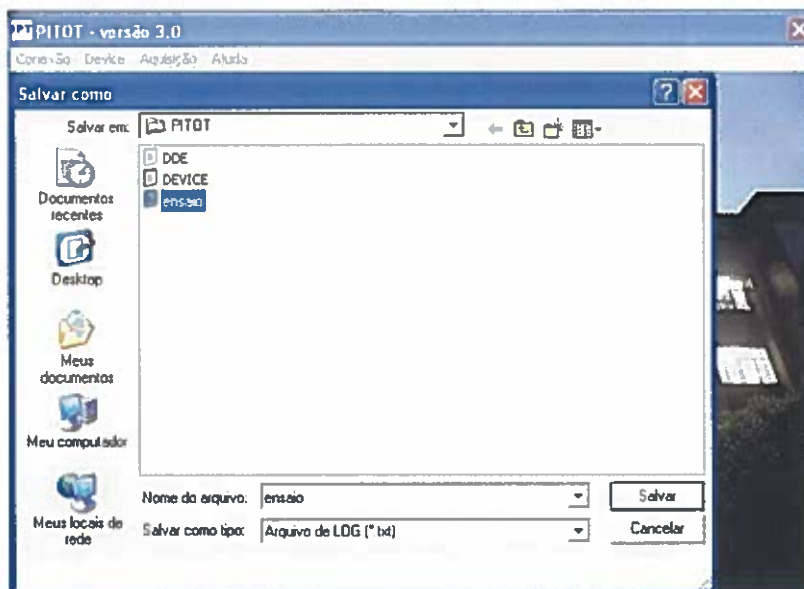


Figura E.9 - Área de trabalho Windows® - endereçamento para arquivamento dos dados *.txt.

Preenche-se o nome do arquivo, escolhe-se o diretório onde os dados serão salvos e clica-se em "Salvar". Após isso, na área de trabalho teremos a seguinte janela (Figura E.10).

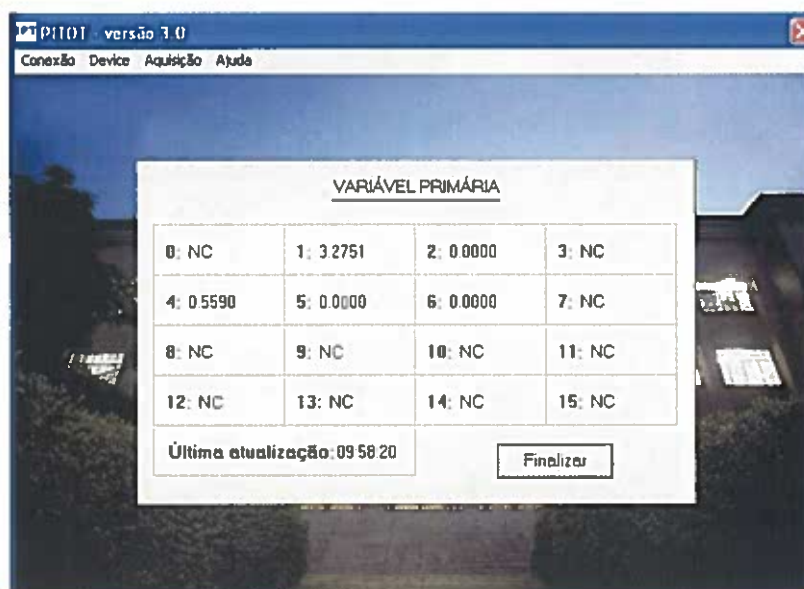


Figura E.10 - Área de trabalho Windows® - aplicativo pronto para início do mapeamento de velocidades.

NOTA: esta janela deverá permanecer aberta durante todo o mapeamento.

Seguido este procedimento, pode-se abrir a planilha "Aquisição_Hart_Vertical_Horizontal". Fazendo isso, preenche-se a tabela da pasta "Dados_Iniciais" (ver Figuras E.11 e Quadro E.1).

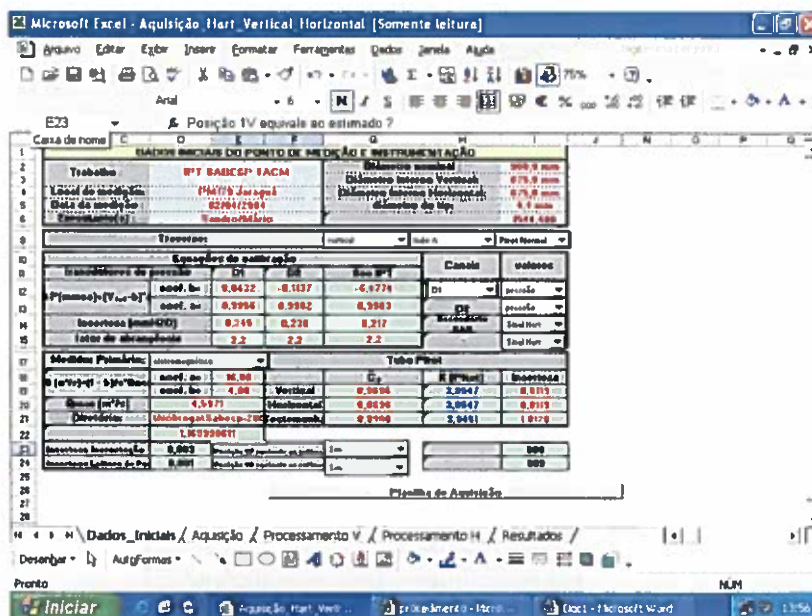


Figura E.11 - Área de trabalho do Excel® - planilha de aquisição de dados aberta.

Quadro E.1 - Preenchimento dos Campos

Trabalho:	Macromedição UN ou Permissionária
Local de medição:	Identificação do Ponto de Medição
Data de medição	Data completa
Executantes:	Membros participantes da calibração
Diâmetro nominal:	Diâmetro nominal do tubo em mm
Diâmetro interno vertical:	Diâmetro calibrado do eixo vertical em mm
Diâmetro interno horizontal:	Diâmetro calibrado eixo horizontal em mm
Diâmetro do tip:	4,7mm (medida fixa)
Traverse	Vertical
	Horizontal
Lado do Pitot (em relação ao parafuso do corpo)	Lado A
	Lado B
Tipo de Pitot	Pitot normal
	Pitot reforçado

Depois, deve-se preencher o campo "Equações de calibração" (ver Tabela E.1).

Tabela E.1 - "Equações de calibração".

Equações de calibração				
transdutores de pressão	D1	D2	Sec IPT	
$\Delta P(\text{mmca})=(V_{\text{ind}}-b)*a$	coef. b=	0,0432	-0,1137	-6,4774
	coef. a=	0,9956	0,9982	0,9983
Incerteza (mmH2O)	0,245	0,238	8,217	
fator de abrangência	2,2	2,2	2,2	

Estes campos são preenchidos com base nos valores fornecidos pela oficina da instrumentação, quando da calibração em laboratório dos transdutores. Embora o preenchimento destes campos não implique na inutilização em campo do ensaio, deve-se sempre que possível preencher estes campos por ocasião do ensaio, preferencialmente para esclarecer eventuais dúvidas do solicitante.

A seguir, preenchem-se os campos "Canais" e "valores" (ver Quadros E.2 e E.3).

Quadro E-2 - Campos "Canais e valores"

Canais	valores
D1	pressão
D2	pressão
Secundário IPT	Sinal Hart
Secundário SAB	Sinal Hart

Preenchimento dos Campos

Quadro E-3 - Opções

	ESCOLHER A OPÇÃO CORRESPONDENTE
Canais	ID1 transdutor 500mmH ₂ O
	ID2 transdutor 5.000mmH ₂ O
	ID3 transdutor 25.000mmH ₂ O
Valores	Pressão (variável de processo)
	Velocidade (variável de processo)
Secundário IPT	Sinal Hart
	Datalogger
Secundário SAB (sinal enviado ao Scoa)	Sinal Hart
	Datalogger

NOTA: Atualmente a planilha usada possui as opções D0 e D1. Portanto, ao escolhermos os transdutores a serem usados, convencionamos que os endereços onde o sistema Hart de aquisição buscará são primariamente indicados na sua configuração. Isto quer dizer que, atualmente temos apenas duas opções de

endereço de transdutores a serem escolhidos. Caso se faça necessário o uso de um terceiro, deve-se atentar para seu endereço, para que esse transdutor não seja inserido na malha em adição a um endereço já existente.

Na seqüência preenche-se o campo "Medidor Primário" (ver Quadros E.4 e E.5).

Quadro E.4 - Campos "Diretório", "K Venturi", "coef. A" e "coef. B".

Medidor Primário:	dif. pressão ▼	
DP(mmH2O)=(I-b)/a*DPmax	coef. a=	16,00
	coef. b=	4,00
Raiz(DPmax(mH2O))	4,5971	
Diretório:	C:\Nóbrega\Sabesp-2004\	
KVenturi (m³/s/mH2O^{0.5})	1,165998611	

Preenchimento dos Campos

Quadro E-5 - Opções

ESCOLHER A OPÇÃO CORRESPONDENTE	
Medidor primário	Por diferencial de pressão
	Eletromagnético
$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = (I - b)/a \times Q_{\text{máx}}$	Coeficiente a = 16 (fixo)
	Coeficiente b = 4 (fixo)
$Q_{\text{máx}} \text{ (m}^3\text{/s)}$	Indicar a vazão máxima no caso de medidor eletromagnético
	Indicar o $\Delta P_{\text{máx}}$ no caso de medidor deprimogêneo
Diretório	Endereço completo onde arquivos serão salvos em *.xls e *.txt
K Venturi [$\text{m}^3/(\text{s} \times \text{mH}_2\text{O}^{1/2})$]	Fator K atual do medidor

O próximo passo inclui informar os dados do(s) Tubo(s) de Pitot que será(ão) usado(s) na calibração (ver Quadro E.6).

Quadro E.6 - Campos "C_ds", "K" dos Tubos de Pitot e "incertezas"

Tubo Pitot			
	C _d	K (Pitot)	incerteza
Vertical	0,8696	3,8547	0,0119
Horizontal	0,8696	3,8547	0,0119
Testemunha	0,8900	3,9451	1,0120

Nestes campos se digitam apenas os C_ds dos Tubos de Pitot, bem como suas respectivas incertezas. O cálculo do K (Pitot) é efetuado automaticamente. Em um ensaio normal de calibração, o campo "Testemunha" deve ser desconsiderado, visto ser usado em ensaios especiais. Finalizando, o preenchimento da planilha "Dados_Iniciais", deve-se preencher os campos relacionados nos Quadros E.7 e E.8.

Quadro E.7 - Campo "Incerteza Incrustação" e "Posições alcançadas".

Incerteza Incrustação	0,003	Posição 1V equivale ao estimado ?	Sim		809
Incerteza Leitura de Posição	0,001	Posição 1H equivale ao estimado ?	Sim		809

Quadro E.8 - Opções

ESCOLHER A OPÇÃO CORRESPONDENTE	
Incerteza Incrustação	Não preencher - valor experimental baseado em normas
Incerteza Leitura de Posição	Não preencher - valor experimental baseado em normas
Posição 1V equivale ao estimado?	Se a opção for "sim", desconsiderar medida em mm
	Se a opção for "não", indicar posição alcançada em mm
Posição 1H equivale ao estimado?	Se a opção for "sim", desconsiderar medida em mm
	Se a opção for "não", indicar posição alcançada em mm

Seguidos estes passos, recomenda-se que a planilha seja renomeada e salva no diretório já especificado (ver Figura E.9 e texto subsequente).

NOTA: definidas as medidas do mapeamento, marca-se as posições em uma escala de aço para facilitar o mapeamento com o Tubo de Pitot.

Pode-se agora passar para a planilha denominada "Aquisição" (ver Figura E.12).

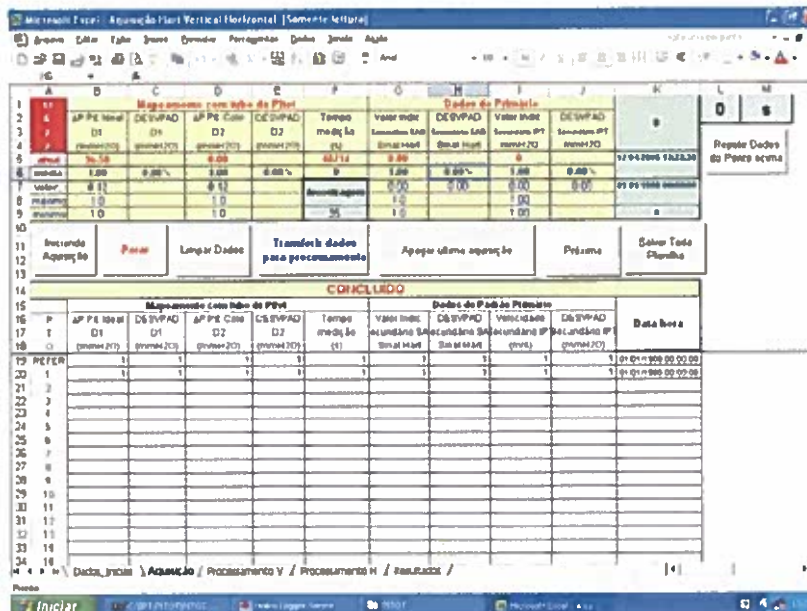


Figura E.12 - Área de trabalho do Excel® - planilha de aquisição.

NOTA: ao clicar nesta planilha, obviamente os valores que estão sendo lidos em tempo real na linha 5 devem corresponder aos indicados pelos transdutores e estar dentro das faixas de trabalho especificadas de cada transdutor.

Antes de iniciar a aquisição de dados propriamente dita, deve-se certificar que:

- o perfilamento (*traverse*) a ser iniciado está corretamente indicado na planilha de "Dados_Iniciais", e
- a respectiva planilha "Processamento" está "limpa". Se não, deve-se selecionar a respectiva pasta e limpá-la (ver exemplo na Figura E.13).

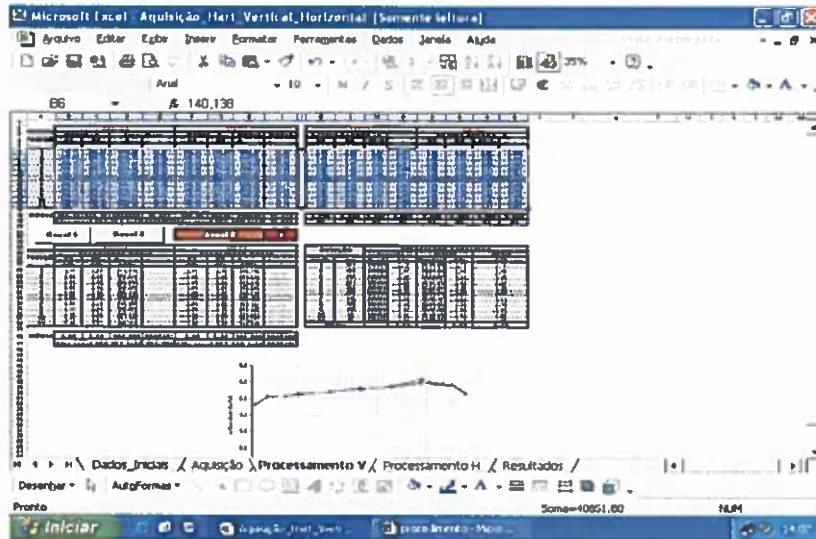


Figura E.13 - Área de trabalho do Excel® - planilha de processamento preenchida.

Planilha de aquisição limpa e pronta para receber os dados.

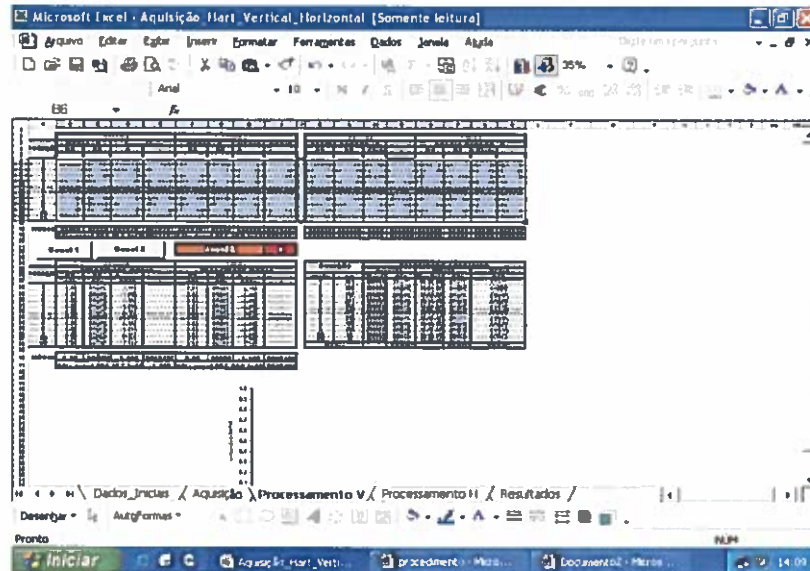


Figura E.14 - Área de trabalho do Excel® - planilha de processamento limpa.

O mesmo procedimento se aplica quando da aquisição na horizontal. Clica-se novamente na planilha "Aquisição" e promove-se sua "limpeza", clicando na macro "Limpar Dados".

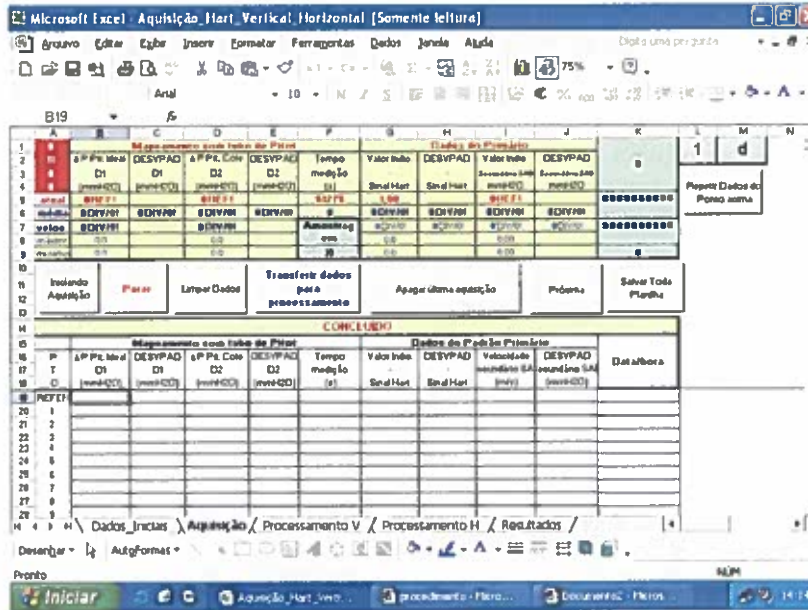


Figura E.15 - Área de trabalho do Excel® - planilha "Aquisição".

Anexo F – Finalização dos testes

Certificando-se que os mapeamentos foram concluídos com êxito, salva-se a planilha de processamento, fecha-se todos os aplicativos, para que se desligue o *notebook* e se possa desconectar todos os equipamentos. A partir de então procede-se à análise e validação dos resultados obtidos.

- Análise e validação dos dados obtidos

Certificando-se que todos os preceitos acima foram obedecidos e, que durante a calibração nas vazões pré-determinadas não houve nenhuma intercorrência que as invalidasse, procede-se à análise dos resultados.

Anexo G – Montagem dos equipamentos para calibração de medidores deprimogêneos com coletores de dados (*Dataloggers*)

Montagem dos Transdutores para Calibração de Deprimogêneos com Coletores de Dados (*Dataloggers*)

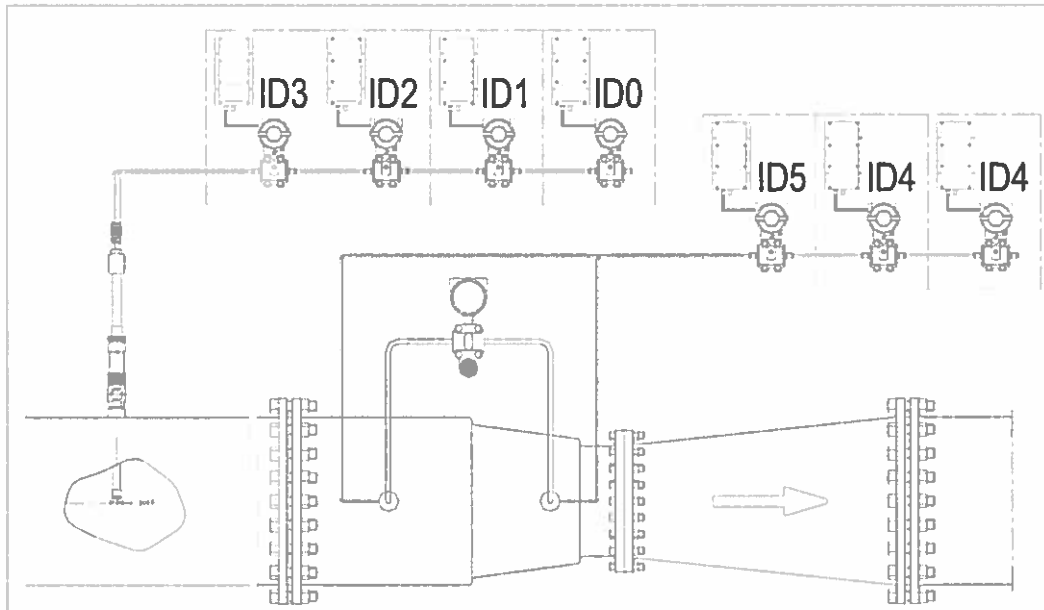


Figura G.1 - Esquema para calibração de medidores deprimogêneos com *dataloggers*.

NOTAS:

- Não há restrição quanto ao uso de *dataloggers* com mais de um canal, bem como à aquisição das variáveis nos diversos canais disponíveis.
- Antes do início da calibração, deve-se verificar a tensão de alimentação nas baterias dos transdutores com um multímetro.

- Montagem dos transdutores de pressão para calibração de medidor eletromagnético com coletores de dados

Consta basicamente do procedimento acima descrito. Porém, nesta atividade, faz-se necessária a instalação de um *datalogger* na saída de 4 a 20 mA no elemento secundário do transdutor eletromagnético para posterior processamento. O *datalogger* registra os dados de vazão simultaneamente com os da Estação Pitométrica.

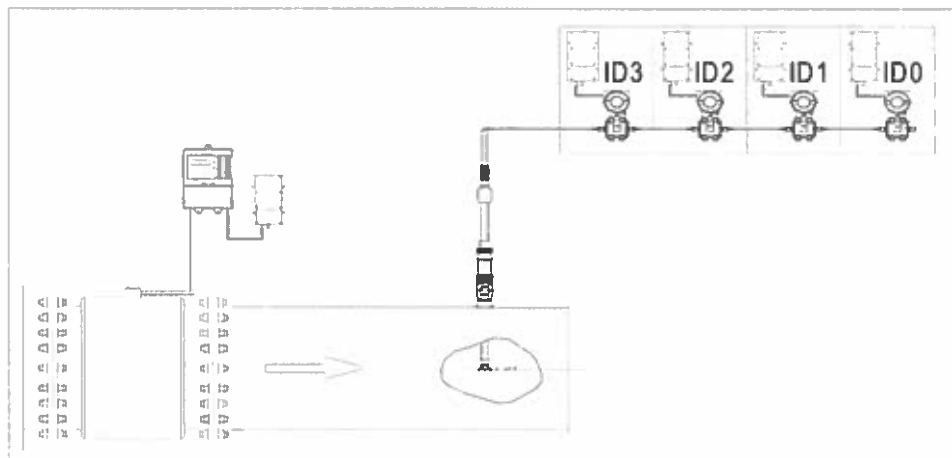


Figura G.2 - Esquema para calibração de medidores eletromagnéticos com *dataloggers*.

NOTAS:

- a) Deve-se sempre, antes de se iniciar a calibração, verificar a saída de corrente correspondente com um multímetro ou equipamento similar;
- b) Deve-se sempre observar a polaridade na ligação da saída do secundário até a entrada do *datalogger*. Este procedimento é prudente nos casos em que o *datalogger* usado é do tipo que não possui *display* que mostre se as variáveis estão sendo realmente registradas;
- c) É prudente observar se o sinal sofrerá algum tipo de alteração ou se a corrente está coerente com o *span* programado;
- d) Os dados adquiridos no medidor eletromagnético devem estar em m^3/s .

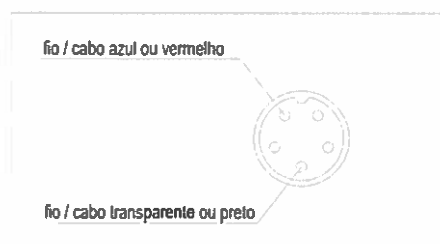


Figura G.3 - Polaridade no conector do cabo do *datalogger*.

NOTA: tanto na calibração de um medidor deprimogênico como na de um medidor eletromagnético, a variação máxima admissível na vazão durante o processo de calibração é de 5%. Caso seja maior, a calibração deve ser interrompida, a vazão regulada e a calibração retomada.

Anexo H – Preparação para mapeamento Pitométrico em campo sem notebook

Antes de se iniciar a calibração, deve-se posicionar o Tubo de Pitot com os *tips* no centro da tubulação promovendo uma rotação de 180°, de modo que as tomadas de alta e baixa sejam invertidas a fim de verificar se há diferença significativa entre as medições que, em caso positivo, indicaria problemas no transdutor de pressão ou avarias nos *tips* do Tubo de Pitot. Em ambas as situações o componente com problemas deve ser substituído.

- Planilha para preenchimento em campo

Como na aquisição para posterior processamento não se dispõe de *notebook* em campo para adquirir os dados, preenche-se manualmente uma planilha (modelo Figura H.1) indicando os dados pertinentes à calibração, incluindo a anotação dos horários de aquisição de dados com o auxílio de um cronômetro.

Ensaio de Calibração de Macromedidor Sabesp - IPT									
Local			Data		PM		NM		
Técnico:			Diâm. Nom.		Real Vert.		Real Horiz.		

Última posição eixo vertical		Última posição eixo horizontal	
Calculada		Calculada	
Medida		Medida	

PITOT BP (Vertical)				PITOT BP (Horizontal)			
---------------------	--	--	--	-----------------------	--	--	--

Perfilamentos na Vertical									
		Teste 01			Teste 02			Teste 0	
Pontos	Posicao	Inicio	Término	Leitura (mmca)	Inicio	Término	Leitura (mmca)	Inicio	Término
1d	0,9811*d-4,35								
2d	0,9235*d-4,35								
3d	0,8475*d-4,35								
4d	0,7829*d-4,35								
5d	0,6388*d-4,35								
6d	0,5*d-4,35								
7d	0,3612*d-4,35								
8d	0,2171*d-4,35								
9d	0,1525*d-4,35								
10d	0,0765*d-4,35								
11d	0,0189*d-4,35								
11s	0,0189*d-4,35								
10s	0,0765*d-4,35								
9s	0,1525*d-4,35								
8s	0,2171*d-4,35								
7s	0,3612*d-4,35								
6s	0,5*d-4,35								
5s	0,6388*d-4,35								
4s	0,7829*d-4,35								
3s	0,8475*d-4,35								

Figura H.1 - Planilha de preenchimento em campo.

Anexo I – Preparação dos equipamentos de segurança e medicina do trabalho

- Separar os EPCs: sinalizadores (cones), monitor de quatro gases, insufladores de ar, kit de primeiros socorros, tripé de resgate, etc..
- Separar os EPIs: luva, uniforme, bota, capacete, protetor auricular, etc.

Anexo J – Preparação do veículo de transporte

- Carregar a viatura com material de segurança e medicina do trabalho.
- Carregar viatura com equipamento eletrônico e mecânico em acondicionamento próprio para tal finalidade.

Anexo K – Modelo de *Check List*: calibração de macromedidor Venturi

CHECK LIST PARA CALIBRAÇÃO DE MEDIDOR VENTURI

OS n.º: _____/_____

PONTO DE MEDIÇÃO: _____	SCOA n.º: _____	UN: _____ _____
--------------------------------	------------------------	------------------------------

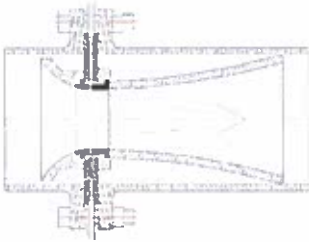
Solicitante: _____	Unidade: _____	Telefone: _____
---------------------------	-----------------------	------------------------

Informações cadastrais

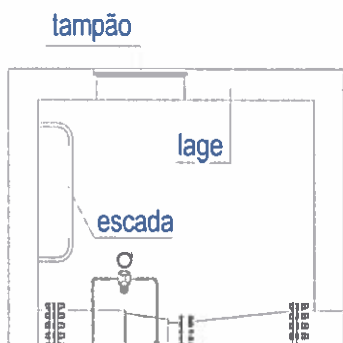
<i>Check list</i> das informações cadastrais:	<input type="checkbox"/>	Croqui da MAGO atualizado
	<input type="checkbox"/>	Croqui da Etep
	<input type="checkbox"/>	Relatório de Ponto de Medição
	<input type="checkbox"/>	Relatório de calibração de medidor

Ponto de Medição mede a vazão de:	<input type="checkbox"/>	Entrada de reservatório
	<input type="checkbox"/>	Distribuição de setor
	<input type="checkbox"/>	Recalque de estação elevatória ou
	<input type="checkbox"/>	Outros:

INFORMAÇÕES GERAIS DO PRIMÁRIO

	Marca: _____		
	Diâmetro nominal (mm): _____		
	Modelo (primário): _____		
	Número de série: _____		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Venturi longo	Venturi curto	Inserido	

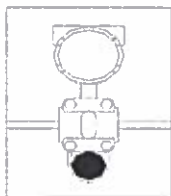
Abrigo do Primário



- Abrigo de alvenaria em área externa à Sabesp
- Abrigo de alvenaria em área da Sabesp
- Tampão de aço ou ferro nodular de Ø _____
- Tampão de concreto ou cimento
- Caixa sujeita à falta de oxigênio
- Caixa com presença de gás combustível
- Caixa inundada e/ou com esgoto
- Sem escada
- Necessária sinalização para acesso
- Necessária iluminação para acesso
- Tomadas do primário independentes
- Outras: _____

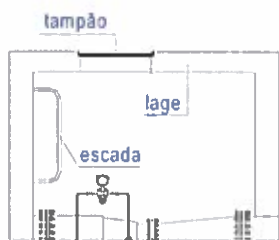
Endereço: _____

INFORMAÇÕES GERAIS DO SECUNDÁRIO



- Marca: _____
- Modelo (secundário): _____
- Número de série: _____
- Pressão máxima (mH₂O): _____

Abrigo do Secundário

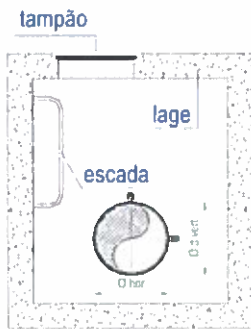


- Abrigo de alvenaria (caixa do primário)
- Abrigo de alvenaria em área da Sabesp
- Abrigo de alvenaria na calçada
- Na sala de telemetria
- Na guarita da vigilância
- Outros locais: _____

Endereço: _____

INFORMAÇÕES GERAIS DA ESTAÇÃO PITOMÉTRICA

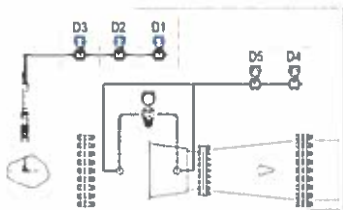
Estação Pitométrica e Abrigo de Pitometria



- Em área do reservatório ou Estação Elevatória
- Em abrigo de alvenaria
- Tampão de aço ou ferro nodular de
- Tampão de concreto ou cimento
- Caixa sujeita à falta de oxigênio
- Caixa com presença de gás combustível
- Caixa inundada ou com esgoto
- Sem escada
- Necessária sinalização para acesso
- Tap sextavado
- Tap avariado
- Outras:

Endereço: _____

CARACTERÍSTICAS DO ENSAIO EM CAMPO



Aquisição de dados através de sistema Hart		
Aquisição de dados através de <i>datalogger</i>		
Tubo de Pitot: _____	Lado A	Lado B
Vazões (l/s):	_____	_____

Check list preenchido por: _____ Data: _____

Anexo L – Modelo de *Check-list*: Calibração de macromedidor eletromagnético

CHECK LIST PARA CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDOR ELETROMAGNÉTICO

O.S. nº ____/____

PONTO DE MEDIÇÃO: _____	SCOA: _____	UN: _____
-------------------------	-------------	-----------

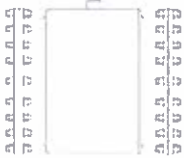
Solicitante: _____	Unidade: _____	Telefone: _____
--------------------	----------------	-----------------

Informações gerais cadastrais:


Check-list das informações cadastrais:	<input type="checkbox"/>	croquis MAMG atualizado
	<input type="checkbox"/>	croquis ETEP
	<input type="checkbox"/>	relatório de ponto de medição
	<input type="checkbox"/>	relatório de calibração de medidor

Ponto de medição controla:	<input type="checkbox"/>	entrada reservatório
	<input type="checkbox"/>	distribuição setor
	<input type="checkbox"/>	recalque estação elevatória
	<input type="checkbox"/>	outros: _____

Informações gerais do primário:


	Marca:
	Diâmetro Nominal: Ø mm
	Modelo :
	Número de série:

Abrigo do Primário


	<input type="checkbox"/>	abrigo de alvenaria área externa (rua)
	<input type="checkbox"/>	abrigo de alvenaria área Sabesp
	<input type="checkbox"/>	tampão de aço ou ferro nodular Ø 900
	<input type="checkbox"/>	tampão de concreto ou cimento
	<input type="checkbox"/>	caixa sujeita a de falta de oxigênio
	<input type="checkbox"/>	caixa inundada/ esgoto
	<input type="checkbox"/>	sem escada
	<input type="checkbox"/>	necessário sinalização para acesso
	<input type="checkbox"/>	necessário iluminação para acesso
	<input type="checkbox"/>	tomadas primário independentes
	outras: _____	

Endereço: _____

Informações gerais do secundário:

	Marca:
	Modelo (secundário):
	Número de série:
	Vazão máx (m ³ /s)(l/s):

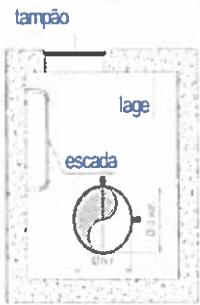
Abrigo do Secundário

	<input type="checkbox"/> abrigo de alvenaria - caixa do primário
	<input type="checkbox"/> abrigo de alvenaria área Sabesp
	<input type="checkbox"/> abrigo de alvenaria calçada
	<input type="checkbox"/> sala de telemetria
	<input type="checkbox"/> guarita do segurança
	<input type="checkbox"/> outras: _____

Endereço: _____

Informações gerais da estação pitométrica:

Estação Pitométrica e abrigo de pitometria:

	<input type="checkbox"/> área do reservatório ou elevatória
	<input type="checkbox"/> abrigo de alvenaria
	<input type="checkbox"/> tampão de aço ou ferro nodular Ø _____
	<input type="checkbox"/> tampão de concreto ou cimento
	<input type="checkbox"/> caixa sujeita a de falta de oxigênio
	<input type="checkbox"/> caixa inundada/ esgoto
	<input type="checkbox"/> sem escada
	<input type="checkbox"/> necessário sinalização para acesso
	<input type="checkbox"/> tap sextavado
	<input type="checkbox"/> outras: _____

Endereço: _____

PROVIDÊNCIAS NECESSÁRIAS:

ENSAIO DE CAMPO:

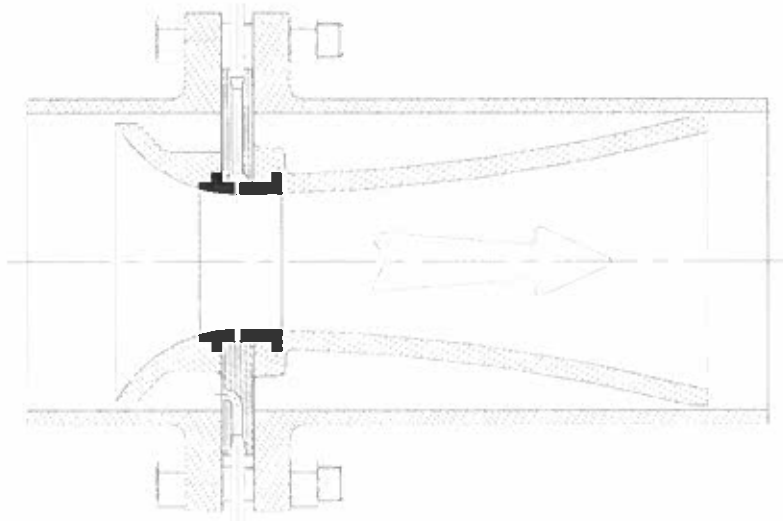
Informações pertinentes ao ensaio:			
	<input type="checkbox"/> aquisição <i>hart</i>		
	<input type="checkbox"/> aquisição <i>datalogger</i>		
	Tubo pitot		lado A
Vazões			

TÉCNICO DA U.N. OU PERMISSIONÁRIA QUE ACOMPANHOU O ENSAIO: NÃO HOUVE ACOMPANHAMENTO

OBSERVAÇÕES REFERENTES AO ENSAIO:

Anexo M – Modelo de relatório técnico**RELATÓRIO TÉCNICO MAMG N.º 071/06****NATUREZA DO TRABALHO:**

**AVALIAÇÃO E ESTIMATIVA DE ERROS DE INDICAÇÃO DA
ESTAÇÃO DE MACROMEDIÇÃO ENTRADA JAGUARA (PM 093)**



São Paulo, setembro de 2006

1 OBJETIVO

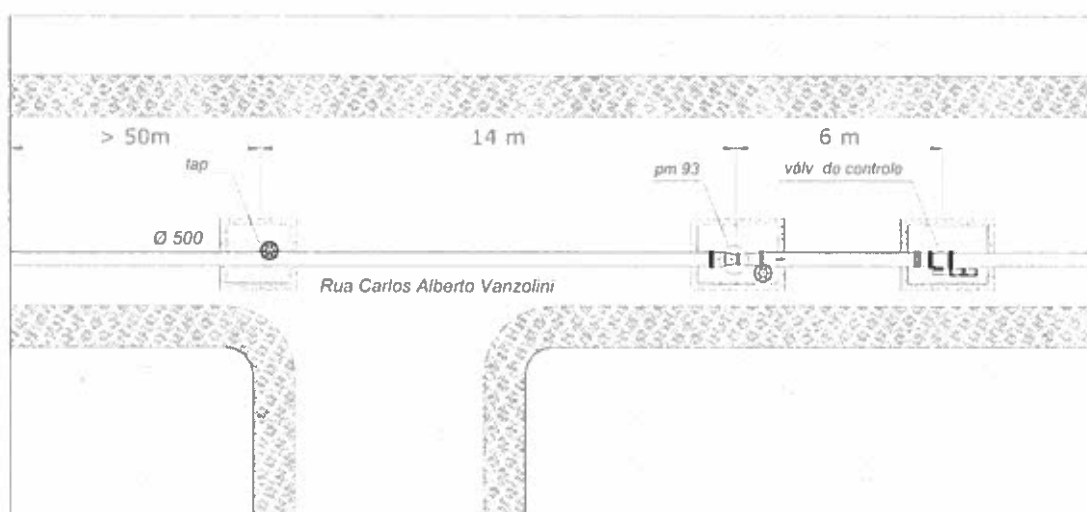
Este Relatório objetiva apresentar os resultados do ensaio de calibração em campo, realizado em 05 de setembro de 2006 na Estação de Macromedição Entrada Jaguará, situada na R. Carlos Alberto Vanzolini, altura do n.º 103, próximo à área do Res. Vila Jaguará, no Município de São Paulo, bem como definir eventuais providências. Esta estação está identificada no cadastro como PM 093.

O ensaio foi realizado em atendimento à Ordem de Serviço do Sistema de Gerenciamento de Manutenção (SGM) nº 25.696/06 e seu respectivo plano n.º 12.500, utilizando-se a metodologia de mapeamento pitométrico in loco, de acordo com o **Manual de Manutenção do Ponto de Medição** – Outubro de 2005 – Revisão Zero (Sabesp) utilizada na calibração de medidores de vazão por diferencial de pressão. Conforme tal metodologia instala-se um Tubo de Pitot do tipo Cole em série com o medidor, com o propósito de levantar o perfil de velocidade do escoamento em diferentes vazões, utilizando-se para isso um software supervisor desenvolvido pelo IPT. Tal procedimento permite calcular o(s) desvio(s) de indicação do medidor.

2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA AVALIADO

2.1 Instalação geral

A Estação de Medição avaliada consiste de um medidor de vazão tipo deprimogêneo longo, na extremidade do Distribuidor Principal Oeste, de \varnothing 1.500 mm. Neste ponto, localizado na Rua Carlos Alberto Vanzolini, há uma derivação de \varnothing 500 mm de ferro fundido nodular, que aduz ao Reservatório Vila Jaguará. O referido reservatório recebe água do Sistema Produtor Cantareira. Na figura abaixo temos os detalhes pertinentes à Estação de Medição.



2.2 Medidor de vazão

Os dados de identificação e de operação do macromedidor são apresentados a seguir:

Identificação do Ponto de Medição:	PM 093	
Identificação do medidor:	NM 093	
Tag (telemetria):	FT-045-01	
Tipo do medidor:	Venturi longo	
Marca (primário):	CDC	
Faixa de vazão ajustada no secundário:	0 a 600 L/s	
Faixa de vazão de trabalho aproximada:	28 a 429 L/s	
Marca do transdutor (secundário):	Enginstrel	
Diâmetro nominal:	500 mm	
Pressão máxima (<i>span</i>) prevista para o transdutor:	11,36 mH ₂ O	
Coeficiente K nominal do medidor:	Vazão (m ³ /s)	Fator K [m ³ /(s×mH ₂ O ^{1/2})]
	0,140	0,1665
	0,219	0,1619
	0,315	0,1635
	0,388	0,1614

Conforme **Esquema Hidráulico e levantamento em campo**, as singularidades mais próximas são:

- À montante:
 - Curva horizontal de 90°, a uma distância superior a 64 m do medidor;
- À jusante:
 - Rotoválvula, a 6 m;
 - Câmara de expansão, a cerca de 9 m.

2.3 Estação Pitométrica

O *tap*, onde o Tubo de Pitot foi introduzido, situa-se a, aproximadamente, 14m à montante do medidor, em linha de Ø500mm de ferro fundido nodular. Embora só apresente a geratriz superior exposta, o *tap* aparenta estar bem instalado, perpendicular ao eixo da tubulação. Com base nas informações obtidas in loco, à montante do *tap* existe um trecho reto maior que 64m (128 diâmetros). À jusante, o trecho reto é de 14 m (28 diâmetros).

3 METODOLOGIA DE ENSAIO

A metodologia do ensaio baseou-se no procedimento DME-AV-PE-21 – Calibração em Campo e Avaliação de Erros de Estações de Macromedição de Água com Medidores

de Vazão por Diferencial de Pressão (Deprimogêneos), versão 02 de 2004, e no Manual de Manutenção do Ponto de Medição – Outubro de 2005 – Revisão 1 (Sabesp).

O ensaio foi executado com vazões aproximadas de 0,15, 0,24 e 0,32m³/s, obtidas através do fechamento e abertura de válvula telecomandada pelo CCO. Com estes valores estimamos as incertezas de medição em relação à geometria e às condições de instalação do medidor.

4 REFERÊNCIAS

- DME-AV-PE-21 – Calibração em Campo e Avaliação de Erros de Estações de Macromedição de Água com Medidores de Vazão por Diferencial de Pressão (Deprimogêneos), versão 02 de 2004;
- Norma ISO 3966 – *Measurement of Fluid in Closed Conduits – Velocity Area Methods Using Static Pitot Tubes*, versão de 1977;
- Norma BSI 1042: *Section 2.1 – Measurement of Fluid in Closed Conduits – Velocity Area Method Using Pitot Static Tube*;
- ISO 5167 – *Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits – part 1 to 4* – versão 1991 e DIS (*Draft*) editada em 2001;
- Manual de Manutenção do Ponto de Medição – Outubro de 2005 – Revisão 1 (Sabesp).

5 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Tubo de Pitot tipo Cole, BP n.º 502, previamente calibrado conforme Certificado de Calibração IPT n.º 70187-101;
- Transdutor de pressão Smar, modelo LD301, n.º de série U209493, conectado ao *datalogger* com n.º de série 4816;
- Transdutor de pressão Smar, modelo LD301, n.º de série U132368, conectado ao *datalogger* com n.º de série 4806.

O Tubo de Pitot foi calibrado pelo Instituto Pesquisas Tecnológicas, em túnel de vento, segundo o Procedimento Interno do IPT **PC 18 – Calibração de Tubos de Pitot Tipo Cole com Ar**.

6 RESULTADOS DO ENSAIO

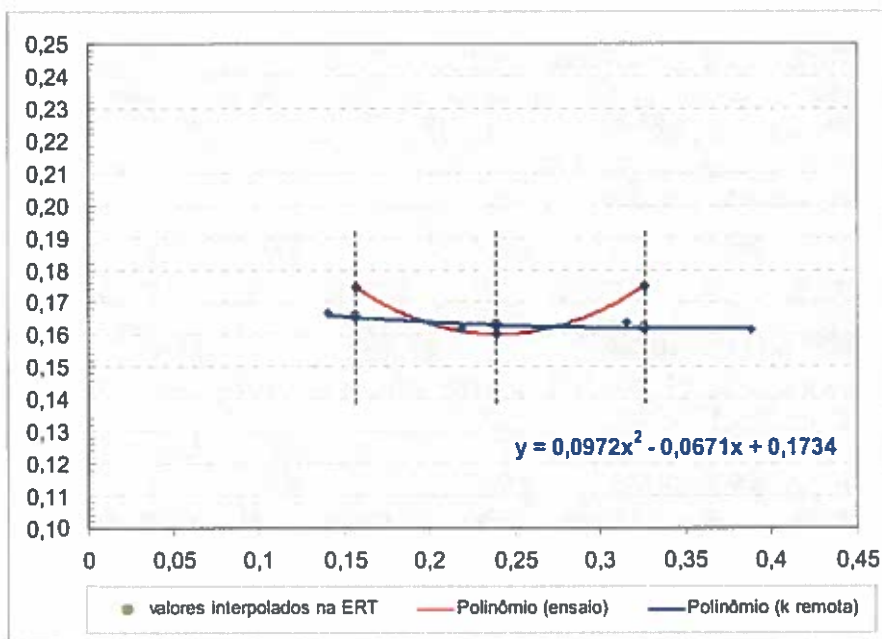
Na tabela abaixo estão apresentados os resultados da determinação da vazão e os respectivos desvios de indicação do medidor ensaiado.

Mapeamento com Tubo de Pitot Cole			K obtido (A)	K variável sistema		K sistema interpolado* (B)	Desvio de indicação Ks
Q (m ³ /s)	Incertezas		Fator K	Q (m ³ /s)	Fator K	Fator K	(B-A) (%)
	(m ³ /s)	(%)	[m ³ /(s×mH ₂ O ^{1/2})]		[m ³ /(s×mH ₂ O ^{1/2})]	[m ³ /(s×mH ₂ O ^{1/2})]	
0,157	0,0051	3,3	0,1745	0,140	0,1665	0,1653	5,6
0,239	0,0073	3,1	0,1601	0,219	0,1619	0,1629	-1,7
0,326	0,0092	2,8	0,1750	0,315	0,1635	0,1619	8,1
-----	-----	-----	-----	0,388	0,1614	-----	-----

Onde:

$$\text{Fator } K = \frac{\text{Vazão determinada com Tubo de Pitot}}{(\text{Diferencial médio de pressão no medidor})^{1/2}}$$

Nota*: Entenda-se por “K sistema interpolado” o valor obtido por uma regressão linear através da curva atual do medidor visando comparar os Fatores Ks obtidos com os fatores que seriam obtidos reproduzindo-se a vazão atual ensaiada na atual curva implantada na estação remota de telemetria. Tal procedimento é necessário devido à incapacidade de se reproduzir às condições ensaiadas, especialmente as vazões do ensaio precedente com o presente ensaio (ver gráfico abaixo).



A incerteza apresentada é a incerteza expandida, baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência k=1,96, fornecendo um nível de confiança na medição de aproximadamente 95%.

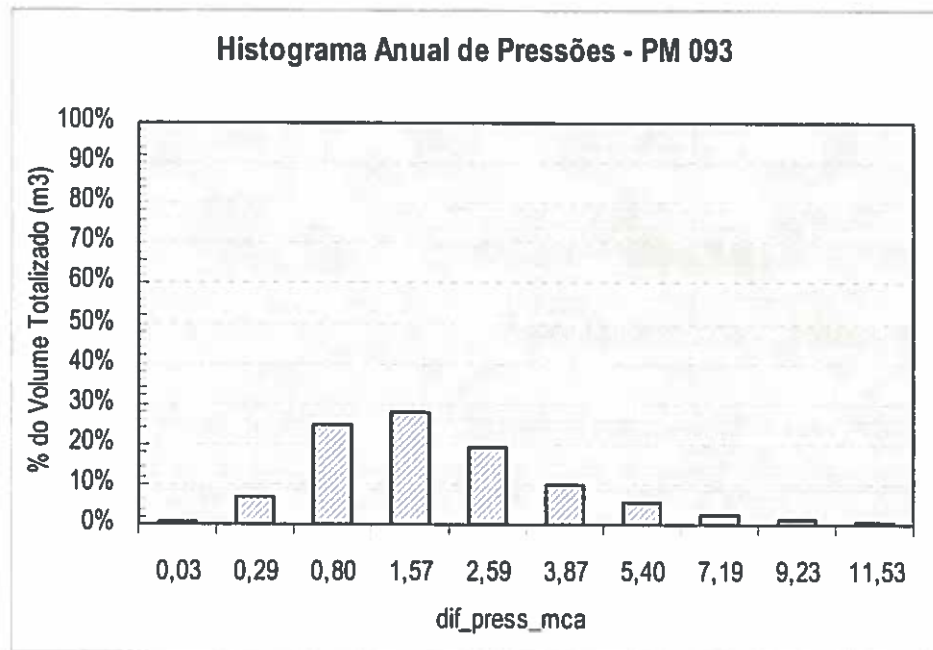
As planilhas com os resultados gerais para cada vazão medida estão apresentadas no Item 10. PERFIS DE VELOCIDADE.

7 CONCLUSÕES

De acordo com a recomendação da Norma **NBR ISO 5167-1 – Medição de Vazão em Conduitos Fechados Usando Medidores de Pressão Diferencial**, é necessário um trecho reto mínimo à montante do elemento primário de 12 diâmetros (6 m) e, de 3 diâmetros (1,5 m), à jusante. Como os trechos retos à montante e jusante contemplam os mínimos recomendados pela referida norma, podemos considerar que a **instalação do macromedidor está adequada** (ver Item 2.1. Instalação Geral).

Segundo a recomendação da Norma **BSI 1042: Section 2.1 – Measurement of Fluid in Closed Conduits – Velocity Area Method Using Pitot Static Tube**, faz-se necessário que não exista nenhuma singularidade a, pelo menos, 20 diâmetros (10m) à montante e 5 diâmetros (2,5m) à jusante de uma Estação Pitométrica. Neste caso, os trechos retos excedem o recomendado, podendo-se considerar, sob o critério desta norma, que a **instalação da Estação Pitométrica está adequada** (ver Item 2.1. Instalação Geral).

A faixa de operação do secundário do medidor é de 11,36 mH₂O e, segundo os valores obtidos no histograma anual de vazões, está superdimensionado, trabalhando em sua maior parte com menos de 50% do *span*, conforme mostra o gráfico abaixo:



8 PROVIDÊNCIAS

De acordo com os resultados obtidos na presente calibração, deve-se adotar a nova curva de "K variável" abaixo descrita:

Vazão (m ³ /s)	K [m ³ /(s×mH ₂ O ^{1/2})]
0,1565	0,1745
0,2392	0,1601
0,3259	0,1750

9 DIVULGAÇÃO

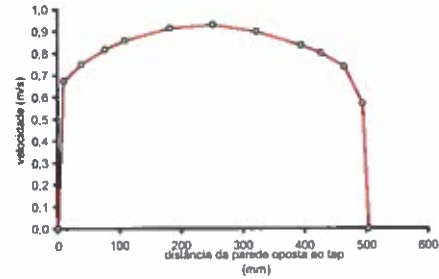
MAGO – Divisão de Operação da Adução da Produção.

10 PERFIS DE VELOCIDADE

Planilha para determinação da vazão por mapeamento pitométrico - referência : ISO 3966/77 e BSI1042/2A/73				elaborado por: Fernando R. Garcia	em: 20/12/2001
Método do mapeamento com hipótese de distribuição "log normal" em 11 pontos, um traverse vertical				última atualização: Wilson M. Tava	em: 01/08/2003
Trabalho:	Macro medição da VVH - Tava	Dímetro da linha:	0,199504 m ²	Área da seção:	0,199504 m ²
Local de medição:	PM 93 - Vila Jaguara	nominal:	500 mm	equivalente:	504 mm
Data da medição:	05/04/2008	interno vertical medido:	504 mm	dímetro do tpo:	2,35 mm
Executante(s):	Adauto, José e Edmilson	interno horizontal medido:	0 mm		

Traverse Vertical

	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	502	504	0,00	0,00	0,00
1	0,981	492	494	0,57	0,57	0,57
2	0,923	483	465	0,74	0,74	0,74
3	0,847	425	427	0,80	0,80	0,80
4	0,783	392	395	0,84	0,83	0,83
5	0,639	320	322	0,91	0,90	0,90
6	0,500	250	252	0,94	0,93	0,93
7	0,361	180	182	0,93	0,91	0,91
8	0,217	107	109	0,87	0,86	0,86
9	0,153	75	77	0,83	0,82	0,82
10	0,077	36	39	0,77	0,75	0,75
11	0,019	7	10	0,69	0,67	0,67
12	0,000	-2	0	0,00	0,00	0,00



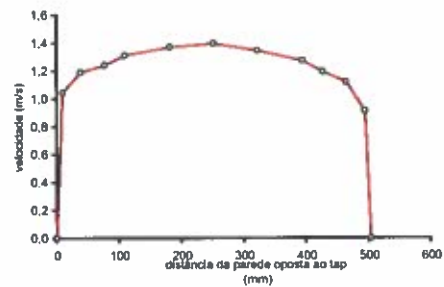
Vazão medida (m3/s)			Fator K (m3/s/mH2O1/2)		
valor	incerteza		valor	incerteza	
0,1565	0,0051	3,3%	0,1745	0,0057	3,3%

Velocidade (m/s)				
media vertical	central	FWV	FWV_1	FWV_2
0,78	0,93	0,845	0,827	0,864

Planilha para determinação da vazão por mapeamento pitométrico - referência : ISO 3966/77 e BSI1042/2A/73				elaborado por: Fernando R. Garcia	em: 20/12/2001
Método do mapeamento com hipótese de distribuição "log normal" em 11 pontos, um traverse vertical				última atualização: Nilson M. Tava	em: 01/08/2003
Trabalho:	Macro medição da VVH - Adauto	Dímetro da linha:	0,199504 m ²	Área da seção:	0,199504 m ²
Local de medição:	PM 93 - Vila Jaguara	nominal:	500 mm	equivalente:	504 mm
Data da medição:	05/04/2008	interno vertical medido:	504 mm	dímetro do tpo:	2,35 mm
Executante(s):	Adauto, José e Edmilson	interno horizontal medido:	0 mm		

Traverse Vertical

	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	502	504	0,00	0,00	0,00
1	0,981	492	484	0,91	0,91	0,91
2	0,923	483	465	1,12	1,12	1,12
3	0,847	425	427	1,20	1,19	1,19
4	0,783	392	395	1,28	1,27	1,27
5	0,639	320	322	1,36	1,34	1,34
6	0,500	250	252	1,41	1,40	1,40
7	0,361	180	182	1,39	1,37	1,37
8	0,217	107	109	1,34	1,31	1,31
9	0,153	75	77	1,27	1,24	1,24
10	0,077	36	39	1,21	1,19	1,19
11	0,019	7	10	1,07	1,04	1,04
12	0,000	-2	0	0,00	0,00	0,00



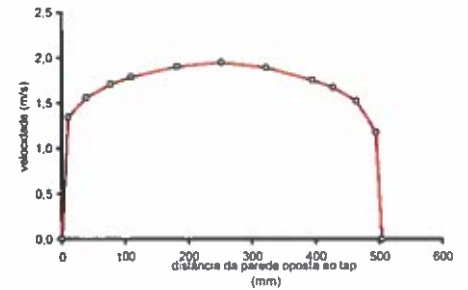
Vazão medida (m3/s)			Fator K (m3/s/mH2O1/2)		
valor	incerteza		valor	incerteza	
0,2382	0,0073	3,1%	0,1801	0,0049	3,1%

Velocidade (m/s)				
media vertical	central	FWV	FWV_1	FWV_2
1,29	1,40	0,859	0,836	0,881

Planilha para determinação da vazão por mapeamento pitométrico - referência : ISO 3966/77 e BSI1042/2A/73 Método do mapeamento com hipótese de distribuição "log normal" em 11 pontos, um traverse vertical		elaborado por: Fernando R. Garcia em: 20/12/2001 última atualização: Nilson M. Terra em: 01/08/2003
Trabalho : Macromedição da U N Feitoria Local de medição : PM 93 - Vila Jaguará Data da medição : 05/sep/2006 Executante(s) : Adauto, José e Edmáson	Diâmetro da linha : nominal : 500 mm interno vertical medido : 504 mm interno horizontal medido : 0 mm	Área da seção : 0,199504 m ² equivalente : 504 mm diâmetro do tip: 2,35 mm

Traverse Vertical

	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	502	504	0,00	0,00	0,00
1	0,981	492	494	1,18	1,18	1,18
2	0,923	463	465	1,53	1,52	1,52
3	0,847	425	427	1,68	1,67	1,67
4	0,783	392	395	1,76	1,75	1,75
5	0,639	320	322	1,91	1,89	1,89
6	0,500	250	252	1,97	1,95	1,95
7	0,361	180	182	1,94	1,91	1,91
8	0,217	107	109	1,82	1,79	1,79
9	0,153	75	77	1,74	1,71	1,71
10	0,077	36	39	1,60	1,56	1,56
11	0,019	7	10	1,37	1,34	1,34
12	0,000	-2	0	0,00	0,00	0,00



Vazão medida (m ³ /s)		Fator K (m ³ /mH ² O ^{1/2})	
valor	incerteza	valor	incerteza
0,3258	0,0032	0,1750	0,0050
	2,8%		2,8%

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
1,63	1,95	0,838	0,823	0,852

Equipe responsável pela execução do trabalho:

Assinado Eletronicamente

ADAUTO LUIZ DE SOUZA DA SILVA
Técnico em Manutenção

Assinado Eletronicamente

JOSÉ SANTANA FILHO
Técnico em Sistemas de Saneamento

Assinado Eletronicamente

EDMILSON ANDRÉ DOS SANTOS
Oficial de Sistemas de Saneamento
Instrumentista responsável pelos
equipamentos:

Assinado Eletronicamente

RODRIGO MEDEIROS SANTANA BOLOU
Técnico em Manutenção

Verificado por:

Assinado Eletronicamente

RENATO DE SOUSA AVILA
Tecnólogo

Aprovado por:

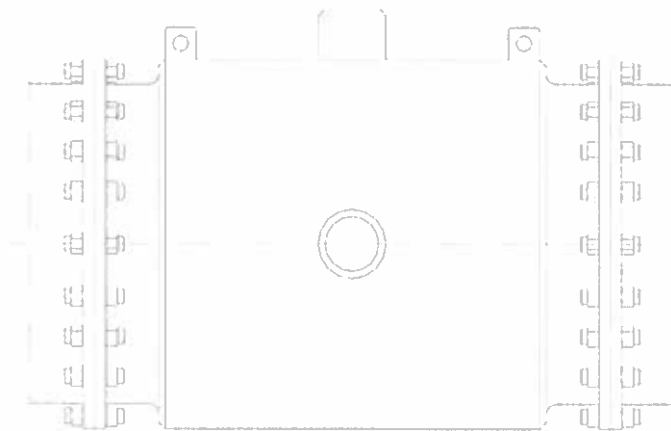
Assinado Eletronicamente

JAMES SHIROMOTO
Gerente de Divisão

RELATÓRIO TÉCNICO MAMG N.º 050.07

NATUREZA DO TRABALHO:

**AVALIAÇÃO E ESTIMATIVA DE ERROS DE INDICAÇÃO DA ESTAÇÃO DE
MACROMEDIÇÃO ENTRADA ALÇA LESTE TIETÊ SÃO MIGUEL (PM 600)**



São Paulo, agosto de 2007

1. OBJETIVO

Este Relatório objetiva apresentar os resultados do ensaio de calibração em campo realizado em 20 de junho de 2007 na Estação de Macromedição Entrada Alça Leste Tietê São Miguel (AT), localizada na Av. São Miguel, n.º 7.175, no Município de São Paulo, bem como definir eventuais providências. Esta Estação está identificada no cadastro sob o PM 600.

O ensaio foi realizado em atendimento à Ordem de Serviço do Sistema de Gerenciamento de Manutenção (SGM) n.º 540.094/07 e seu respectivo plano n.º 12.114, utilizando-se a metodologia de mapeamento pitométrico in loco, de acordo com o Manual de Manutenção do Ponto de Medição – Outubro de 2005 – Revisão Zero (Sabesp) utilizada na calibração de medidores de vazão por diferencial de pressão. Conforme tal metodologia, instala-se um Tubo de Pitot do tipo Cole em série com o medidor, com o propósito de levantar o perfil de velocidade do escoamento em diferentes vazões, utilizando-se para isso um software supervisor desenvolvido pelo IPT. Tal procedimento permite calcular o(s) desvio(s) de indicação do medidor.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA AVALIADO

2.1. Instalação Geral

A Estação de Macromedição avaliada consiste de um medidor de vazão eletromagnético, instalado em uma tubulação de Ø700mm, situada na área do Res. Ermelino Matarazzo. A estação em questão recebe água do Sistema Produtor Alto Tietê (SAM). Na figura abaixo temos os detalhes desta instalação.

Detalhe da instalação do elemento primário:



2.2. Medidor de Vazão

Os dados de identificação do macromedidor são apresentados a seguir:

Identificação do ponto de medição:	PM 600
Identificação do medidor:	NM 625
Tag (telemetria):	FT-073F01
Tipo do medidor:	Eletromagnético
Scoa ponto:	071F01
Marca:	DANFOSS
Modelo (primário):	MAG 3100 221B211000
Número de série:	083Z8016
Modelo (secundário):	Danfoss MAG 5000
Número de série:	083F5002
Diâmetro nominal:	700mm
Faixa de vazão ajustada no secundário:	0 a 1.500 l/s
Faixa de vazão de trabalho aproximada:	0 a 1.200 l/s

Conforme indicação do **Esquema Hidráulico e levantamento em campo**, as singularidades mais próximas são:

- A montante:
 - Curva horizontal de 45°, distante aproximadamente 15,0m.
- Jusante:
 - Válvula de controle telecomandada, distante aproximadamente 9,0m.

2.3. Estação Pitométrica

O *tap*, onde o Tubo de Pitot foi introduzido, situa-se a jusante do medidor, em linha Ø700mm, em abrigo de alvenaria abaixo do nível do solo, na área do Res. Ermelino Matarazzo. Está bem instalado, perpendicular ao eixo da tubulação e, de acordo com as condições confirmadas através de vistoria *in loco*, a montante há um trecho reto aproximado de 16m (22,8 diâmetros) e, a jusante, um trecho reto aproximado de 7,6m (10,8 diâmetros).

3. METODOLOGIA DE ENSAIO

A metodologia do ensaio baseou-se no procedimento **DME-AV-PE-21 – Calibração em Campo e Avaliação de Erros de Estações de Macromedição de Água com Medidores de Vazão por Diferencial de Pressão (Deprimogêneos)**, versão 02 de 2004, e no **Manual de Manutenção do Ponto de Medição – Outubro de 2005 – Revisão Zero (Sabesp)**.

O ensaio foi executado com vazão aproximada de 400, 830 e 1.090 l/s. Estas vazões foram obtidas com base nas vazões de operação e volumes totalizados pelo Scoa durante um ano. Durante o ensaio, as vazões foram obtidas através de graduação da válvula telecomanda, instalada a jusante do medidor. Com estes valores estimamos as incertezas de medição em relação à geometria e às condições de instalação do medidor.

4. REFERÊNCIAS

- DME-AV-PE-21 – Calibração em Campo e Avaliação de Erros de Estações de Macromedição de Água com Medidores de Vazão por Diferencial de Pressão (Deprimogêneos), versão 02 de 2004;
- Norma NBR ISO 9104 – Medição de vazão de Fluidos em Conduitos Fechados – Métodos para Avaliação de Desempenho de Medidores de Vazão Eletromagnéticos para Líquidos;

- Norma NBR ISO 6817 – Medição de Vazão de Líquido Condutivo em Conduitos Fechados – Método Utilizando Medidores de Vazão Eletromagnéticos;
- Manual de Manutenção do Ponto de Medição – Outubro de 2005 – Revisão Zero (Sabesp).

5. INSTRUMENTOS UTILIZADOS

- Tubos de Pitot Cole, BP n.º 519, previamente calibrado conforme Certificado de Calibração IPT n.º 72842/101;
- Transdutor de pressão Smar, modelo LD301, n.º de série U189505;
- Transdutor de pressão Smar, modelo LD301, n.º de série U322475;
- Transdutor para corrente "TT", modelo LD 301/BP 342461.

O Tubo de Pitot foi calibrado pelo Instituto Pesquisas Tecnológicas (IPT), em túnel de vento, segundo o Procedimento Interno do IPT de Calibração PC 18 – **Calibração de Tubos de Pitot tipo Cole com Ar.**

6. RESULTADOS DO ENSAIO

Na tabela abaixo estão apresentados os resultados da determinação da vazão e os respectivos desvios de indicação do medidor ensaiado.

Mapeamento com Tubo de Pitot Cole			Indicação do Secundário do Medidor		
Vazões	Incertezas		Vazões	Desvios de indicação	
(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)
0,4049	0,0130	3,2	0,3889	-0,0160	-4,0
0,8364	0,0253	3,0	0,8046	-0,0318	-3,8
1,0904	0,0313	2,9	1,0608	-0,0296	-2,7

Onde:

$$\text{Desvio de indicação} = \frac{\text{Vazão indicada} - \text{Vazão verdadeira convencional}}{\text{Vazão verdadeira convencional}} \times 100\%$$

Vazão indicada: vazão observada no secundário da Estação de Medição;

Vazão verdadeira convencional: vazão obtida pelo mapeamento do perfil de velocidades com Tubo de *Pitot Cole*.

A incerteza apresentada é a incerteza expandida, baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência $k=1,96$, fornecendo um nível de confiança na medição de aproximadamente 95%.

As planilhas com os resultados gerais para cada vazão medida estão apresentadas no Item 10. PERFIS DE VELOCIDADE.

7. CONCLUSÕES

A Norma **NBR ISO 6817 - Medição de Vazão de Líquido Condutivo em Conduitos Fechados – Método Utilizando Medidores de Vazão Eletromagnéticos**, recomenda um trecho reto mínimo a montante do elemento primário de 10 diâmetros (7 m) e, de 5 (3,5 m) a jusante. A recomendação do fabricante é que a instalação do medidor respeite trechos retos mínimos de 5 diâmetros (3,5 m) a montante e, de 3 (2,1 m) a jusante. Como os trechos retos

contemplam os mínimos recomendados pela referida norma, pode-se considerar que a **instalação do macromedidor está adequada** (ver Item 2.1. Instalação Geral).

Segundo a recomendação da Norma **BSI 1042: Section 2.1 1983 – Measurement of Fluid Flow in Closed Conducts – Velocity Area Method Using Pitot Static Tube**, faz-se necessário que não exista nenhuma singularidade a, pelo menos, 20 diâmetros (14m) a montante e 5 (3,5m) a jusante de uma Estação Pitométrica. Neste caso, os trechos retos contemplam o recomendado, podendo-se considerar, sob o critério desta norma, que a **instalação da Estação Pitométrica está adequada** (ver Item 2.1. Instalação Geral).

MEDIDOR (PRIMÁRIO)	TRECHO RETO MÍNIMO (m)				REFERÊNCIA	SITUAÇÃO
	A montante		A jusante			
	Norma	Real	Norma	Real	() NBR ISO 5167-1 () NBR ISO 9104	(x) Adequado () Inadequado
	7,0	±15,0	3,5	±9,0	(x) ISO 6817	
ESTAÇÃO PITOMÉTRICA (TAP)	TRECHO MÍNIMO SEM SINGULARIDADES (m)				REFERÊNCIA	SITUAÇÃO
	A montante		A jusante			
	Norma	Real	Norma	Real	() ISO 3966 (x) BSI 1042	(x) Adequada () Inadequada
	14,0	>16,0	3,5	>7,5		

8. PROVIDÊNCIAS

Alertamos que perfis distorcidos podem influenciar na qualidade do ensaio. Tendo como objetivo a busca da qualidade e das melhorias em nossas medições, recomendamos, sempre que possível, a realização das medições em dois *taps* instalados em posições ortogonais. De acordo com os resultados obtidos neste ensaio, informamos que o medidor está medindo corretamente, já que a incerteza está dentro do pré-estabelecido e os desvios de indicação estão muito próximos desta incerteza.

Recomenda-se que seja realizada uma verificação do "zero" e inspeção de cabos de alimentação e de sinal do elemento primário.

9. DIVULGAÇÃO

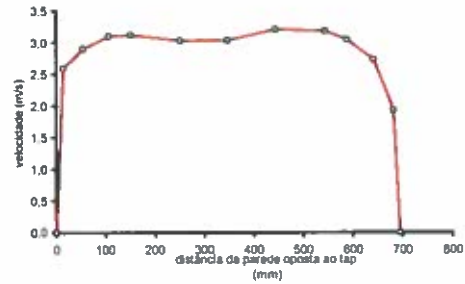
Divisão de Operação da Adução da Produção (MAGO);
Divisão de Controle de Perdas Leste (MLET).

10. PERFIS DE VELOCIDADE

Planilha para determinação da vazão por mapeamento pitométrico - referência : ISO 3966/77 e BS11042/2A/73				elaborado por: Fernando R. Garcia	em: 20/12/2001
Método do mapeamento com hipótese de distribuição "log normal" em 11 pontos, um travesse vertical				última atualização: Nilson M. Taira	em: 11/8/2003
Trabalho:	Macromedicação U.N. LESTE	Dímetro de linha:	700 mm	Área da seção:	0,378276 m ²
Local de medição:	PIA 600 ERMELINO MATARAZZO	nominal:	694 mm	equivalente	694 mm
Data da medição:	20/jun/2007	Interno vertical medido	694 mm	dímetro do tip:	4,35 mm
Executante(s):	Raimundo Jose Roberto	Interno horizontal medido	0 mm		

Traverse Vertical

	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	690	694	0,00	0,00	0,00
1	0,981	676	681	1,93	1,93	1,93
2	0,923	636	641	2,73	2,73	2,73
3	0,847	583	588	3,05	3,04	3,04
4	0,783	539	543	3,18	3,18	3,18
5	0,639	439	443	3,23	3,21	3,21
6	0,500	343	347	3,06	3,04	3,04
7	0,361	246	251	3,06	3,03	3,03
8	0,217	146	151	3,16	3,12	3,12
9	0,153	102	106	3,15	3,10	3,10
10	0,077	49	53	2,95	2,90	2,90
11	0,019	9	13	2,63	2,59	2,59
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00



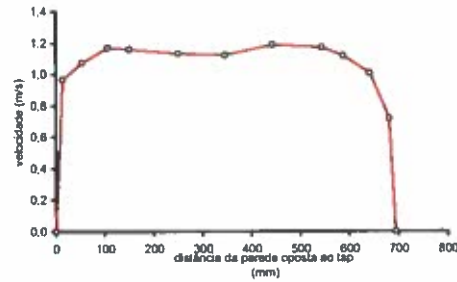
Vazão medida (m ³ /s)			Vazão indicada (m ³ /s)	
valor	incerteza		valor	Erro de indicação
1,0904	0,0313	2,9%	1,0608	-0,0296 -2,7%

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
2,88	3,04	0,950	0,928	0,971

Planilha para determinação da vazão por mapeamento pitométrico - referência : ISO 3966/77 e BS11042/2A/73				elaborado por: Fernando R. Garcia	em: 20/12/2001
Método do mapeamento com hipótese de distribuição "log normal" em 11 pontos, um travesse vertical				última atualização: Nilson M. Taira	em: 11/8/2003
Trabalho:	Macromedicação U.N. LESTE	Dímetro de linha:	700 mm	Área da seção:	0,378276 m ²
Local de medição:	PIA 600 ERMELINO MATARAZZO	nominal:	694 mm	equivalente	694 mm
Data da medição:	20/jun/2007	Interno vertical medido	694 mm	dímetro do tip:	4,35 mm
Executante(s):	Raimundo Jose Roberto	Interno horizontal medido	0 mm		

Traverse Vertical

	posição (y/D)	distância corrigida (mm)	distância da parede inferior (y) (mm)	velocidade (m/s)	velocidade corrigida (m/s)	velocidade corrigida Pitot (m/s)
0	1	690	694	0,00	0,00	0,00
1	0,981	676	681	0,72	0,72	0,72
2	0,923	636	641	1,01	1,01	1,01
3	0,847	583	588	1,12	1,12	1,12
4	0,783	539	543	1,18	1,17	1,17
5	0,639	439	443	1,19	1,19	1,19
6	0,500	343	347	1,13	1,12	1,12
7	0,361	246	251	1,15	1,13	1,13
8	0,217	146	151	1,17	1,16	1,16
9	0,153	102	106	1,19	1,17	1,17
10	0,077	49	53	1,09	1,07	1,07
11	0,019	9	13	0,98	0,97	0,97
12	0,000	-4	0	0,00	0,00	0,00



Vazão medida (m ³ /s)			Vazão indicada (m ³ /s)	
valor	incerteza		valor	Erro de indicação
0,4049	0,0130	3,2%	0,3889	-0,0160 -4,0%

Velocidade (m/s)				
média vertical	central	FVV	FVV_1	FVV_2
1,07	1,12	0,953	0,927	0,960

Equipe responsável pela execução do trabalho:

Assinado Eletronicamente

José Santana Filho
Técnico em Sistemas de Saneamento

Assinado Eletronicamente

Raimundo Teixeira dos Santos
Técnico em Sistemas de Saneamento

Assinado Eletronicamente

Roberto Coutinho dos Santos
Operador em Sistemas de Saneamento
Instrumentista responsável pelos equipamentos:

Assinado Eletronicamente

Ricardo Fuzishima de Santana
Técnico em Sistemas de Saneamento

Verificado por:

Assinado Eletronicamente

Renato de Sousa Ávila
Tecnólogo

Aprovado por:

Assinado Eletronicamente

James Shiromoto
Gerente de Divisão

CALIBRAÇÃO DE MACROMEDIDORES EM CAMPO

Considerações finais:

- 1) Esta norma técnica, como qualquer outra, é um documento dinâmico, podendo ser alterada ou ampliada sempre que for necessário. Sugestões e comentários devem ser enviados ao Departamento de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - TOD;
- 2) Tomaram parte na elaboração desta Norma.

ÁREA	UNIDADE DE TRABALHO	NOME
M	MAMG.3	Renato de Souza Avila
M	MLI	Pedro Alves Silva
M	MOET	Agnaldo Aprijo Farias
M	MSEP	Marcio J. N. Pagliuca
R	RVO	Breno Botelho Ferraz A. Gurgel
T	TOD	Marco Aurélio Lima Barbosa
T	TOE	Cecília Megumi Hassegawa

Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
Diretoria de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente - T
Superintendência de Desenvolvimento Operacional - TO
Departamento de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - TOD

Rua Costa Carvalho, 300 - CEP 05429-900
São Paulo - SP - Brasil
Telefone: (011) 3388-8096 / FAX: (011) 3034-5633
E-mail : marcoabarbosa@sabesp.com.br

- Palavras Chave: Calibração, macromedidor.

- 87 páginas

