

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**Centro Tecnológico**

Pós-MCI – Programa de Pós-graduação em metrologia Científica e Industrial

Labmetro – Laboratório de Metrologia e Automação

Departamento de Engenharia Mecânica

**“ DESENVOLVIMENTO E QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA  
DE UM FLUXÍMETRO TIPO TURBINA APLICADO  
AOS PROCESSOS DE SOLDAGEM ”**

Dissertação submetida à: Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Mestre em Metrologia

***Adriano Virgilio Maurici***

Florianópolis, 30 de Outubro de 2000

**“ DESENVOLVIMENTO E QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA  
DE UM FLUXÍMETRO TIPO TURBINA APLICADO  
AOS PROCESSOS DE SOLDAGEM ”**

***Adriano Virgilio Maurici***

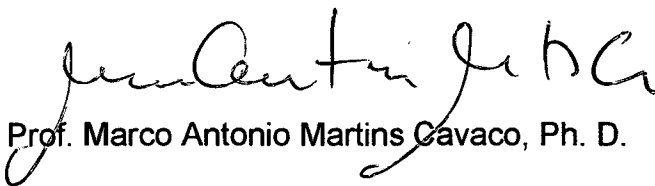
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de  
**“MESTRE EM METROLOGIA”**  
e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial


  
Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.  
ORIENTADOR

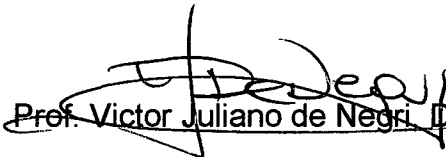
  
Prof. Jair Carlos Dutra, Dr. Eng.  
COORIENTADOR

*Albertazzi*  
Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Jr., Dr. Eng.  
COORDENADOR DO CURSO DE MESTRADO EM METROLOGIA CIENTÍFICA E INDUSTRIAL

**Banca Examinadora:**

  
Prof. Marco Antonio Martins Cavaco, Ph. D.

  
Prof. Jair Carlos Dutra, Dr. Eng.

  
Prof. Victor Juliano de Negri, Dr. Eng.

**Este trabalho é dedicado aos  
meus pais que sempre me  
apoiaram e incentivaram.**

## Resumo

# “ DESENVOLVIMENTO E QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA DE UM FLUXÍMETRO TIPO TURBINA APLICADO AOS PROCESSOS DE SOLDAGEM ”

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um fluxímetro tipo turbina aplicado aos processos de soldagem, incluindo também a proposta de um procedimento para a calibração deste tipo de instrumento. O interesse para tal pesquisa surgiu a partir de um estudo conduzido para identificar a influência do fluxo de gás na qualidade e no custo de processos de soldagem que utilizam proteção gasosa de fonte externa, como o MIG/MAG, TIG e PLASMA. As diretrizes para projeto do sistema de medição tipo turbina, assim como os procedimentos propostos para a calibração, seguem a norma ABNT/ISO 9951 (Medidores de Vazão de Gás em Conduitos Fechados – Medidores tipo Turbina).

Para fornecer informações necessárias ao projeto foram conduzidos estudos para definir uma tecnologia para a identificação e medição da velocidade de rotação do rotor da turbina, os mancais a serem utilizados e disposição do eixo do rotor em relação ao fluxo de gás. Alguns destes parâmetros foram selecionados a partir de testes experimentais, conduzidos em uma bancada de ensaios montada com instrumentos rastreados. Esta bancada permitiu otimizar o desempenho do medidor e verificar a eficácia do método de calibração.

**Palavras-chaves:** metrologia, soldagem, fluxo de gás, vazão, turbina

## Abstract

# DEVELOPMENT AND METROLOGICAL QUALIFICATION OF A TURBINE TYPE FLOWMETER APPLIED TO WELDING PROCESSES

This work discusses about the development of a turbine type flowmeter applied to the welding processes, also including a proposal for a calibration procedure for this kind of measurement instrument. The interest on such a research was grounded on a study that accomplished the influence of the flow of gas in the quality and in the cost of welding processes that use gaseous protection from external source, like MIG/MAG, TIG and PLASMA Welding. The design of the measurement instrument, as the same as the procedures proposed for calibration, had as a guideline the ABNT/ISO 9951 Standard (Gas Flow Meters in Shut Conduits – Turbine Type Flowmeters).

Studies were accomplished to provide information for designing the instrument, involving a technology for identify and measure the rotation speed of the turbine, the kind of axles bearings and the alignment of the rotor axis, in relation to the gas flow. Several of these parameters were selected by experimental trials, conducted at a bench with traced instruments. This arrangement allows optimise the instrument performance and checks the effectiveness of the calibration procedure proposed.

**Word-keys:** metrology, welding, gas flow, flow, turbine

# SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>vi</b>
<b>GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO 1 – QUALIDADE NOS PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO COM PROTEÇÃO GASOSA.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NA SOLDAGEM.....	3
1.3 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO, CONTROLE E CORREÇÃO DAS VARIÁVEIS DE SOLDAGEM.....	5
1.4 PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO QUE EMPREGAM PROTEÇÃO GASOSA DE FONTE EXTERNA.....	8
1.4.1 O FLUXO DE GÁS NO PROCESSO MIG/MAG.....	9
1.4.2 O FLUXO DE GÁS NO PROCESSO TIG.....	10
1.4.3 O FLUXO DE GÁS NO PROCESSO PLASMA.....	11
<b>CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS.....</b>	<b>14</b>
2.1 UTILIZAÇÃO DO FLUXO DE GÁS NA SOLDAGEM.....	14
2.2 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS UTILIZADOS NOS PROCESSOS DE SOLDAGEM.....	16
2.2.1 ROTÂMETRO UTILIZADO NO BOCAL DA TOCHA DE SOLDAGEM...	17
2.2.2 REGULADOR DE VAZÃO ACOPLADO NA SAÍDA DO CILINDRO DE GÁS.....	19
2.2.3 ROTÂMETRO COM REGULADOR DE PRESSÃO ACOPLADO NO	

NO CILINDRO DE GÁS.....	20
2.2.4 VÁLVULA PARA MONITORAÇÃO E CONTROLE DA VAZÃO.....	21
2.2.5 MEDIDORES TIPO TURBINA.....	22
2.3 PARÂMETROS À SE CONSIDERAR NA SELEÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS.....	23
<b>CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE     FLUXO DE GÁS TIPO TURBINA.....</b>	<b>25</b>
3.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS TIPO TURBINA.....	25
3.2 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS.....	25
3.2.1 VARIAÇÕES EM RELAÇÃO À MANEIRA DE MEDIR AS ROTAÇÕES DA TURBINA.....	26
3.2.2 VARIAÇÕES EM RELAÇÃO AOS MANCAIS UTILIZADOS.....	27
3.2.3 VARIAÇÕES EM RELAÇÃO À DISPOSIÇÃO DO EIXO DO ROTOR EM RELAÇÃO AO FLUXO.....	28
3.3 CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E ESPECIFICAÇÕES DE SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS TIPO TURBINA.....	28
3.3.1 NORMALIZAÇÃO.....	28
3.3.2 CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	31
3.4 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS TIPO TURBINA.....	32
3.4.1 CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS PRETENDIDAS.....	32
3.4.2 CARACTERÍSTICAS ELETRÔNICAS PRETENDIDAS.....	32
3.4.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	33
3.4.4 TESTES DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO.....	38
3.5 REAVALIAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO ADOTADOS.....	38

<b>CAPÍTULO 4 – PROJETO E MONTAGEM DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS E CALIBRAÇÃO DE FLUXÍMETROS TIPO TURBINA.....</b>	<b>43</b>
4.1 ESCOLHA DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO.....	43
4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO.....	43
4.1.2 OPÇÕES DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO PADRÃO NO MERCADO.....	45
4.1.2.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO PISTÃO COM SELO DE EMRÚRIO.....	45
4.1.2.2 SISTEMMA DE MEDIÇÃO TIPO ROTOR SEMI-SUBMERSO.....	47
4.1.2.3 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO MÁSSICA.....	48
4.1.2.4 SISTEMA DE MEDIÇÃO TIPO ROTÂMETRO.....	49
4.1.3 SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO ESCOLHIDO.....	50
4.1.4 PROCEDIMENTO PARA ESCOLHA DO MODELO DO ROTÂMETRO..	53
4.2 PROJETO E MONTAGEM DA BANCADA PARA ENSAIOS E CALIBRAÇÃO DE FLUXÍMETROS.....	55
4.2.1 BANCADA DE CALIBRAÇÃO PARA FLUXÍMETROS TIPO TURBINA.....	55
4.2.2 DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE CALIBRAÇÃO.....	56
4.2.3 CARACTERÍSTICA METROLÓGICA DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS.....	58
4.3 CONSIDERAÇÕES REFERENTES À CALIBRAÇÃO SOBRE O PROJETO DE NORMA ABNT/ISO 9951.....	59
<b>CAPÍTULO 5 – QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA DO FLUXÍMETRO DESENVOLVIDO.....</b>	<b>62</b>
5.1 CALIBRAÇÃO DE FLUXÍMETROS TIPO TURBINA COM A BANCADA DE ENSAIOS RASTREADA.....	62
5.1.1 PROCEDIMENTO GERAL DE CALIBRAÇÃO PARA FLUXÍMETROS TIPO	



TURBINA COM A BANCADA DESENVOLVIDA.....	62
5.1.2 VALIDAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO.....	66
5.2 PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO TIPO	
TURBINA DESENVOLVIDO.....	70
5.2.1 LINEARIDADE.....	71
5.2.2 ÍNDICE DE DESEMPENHO DO MEDIDOR, FATOR K.....	71
<b>CAPÍTULO 6 – DESEMPENHO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO</b>	
<b>DESENVOLVIDO.....</b>	<b>73</b>
6.1 GRANDEZAS EXTERNAS QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO DO	
SISTEMA DE MEDIÇÃO DESENVOLVIDO.....	73
6.1.1 VARIAÇÕES DE TEMPERATURA.....	73
6.1.2 VARIAÇÕES NA PRESSÃO A JUSANTE.....	74
6.1.3 EFEITOS DA DENSIDADE.....	76
6.2 ANÁLISE COMPARATIVA.....	76
6.3 PONTOS DE MELHORIA.....	77
<b>CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>

## ABREVIATURAS

MIG	Metal inert gas
MAG	Metal active gas
TIG	Tungstênio inert gás
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO	International Organization Standardization
ta	Temperatura ambiente
SMC	Sistema de medição à calibrar
SMP	Sistema de medição padrão
VVC	Valor verdadeiro convencional
FS	Fundo de escala
q <sub>max</sub>	Vazão máxima
q <sub>min</sub>	Vazão mínima
MVT	Medidor de vazão tipo turbina
MVG	Medidor de vazão de gás
VG	Válvula de controle de gás
P	Pressão
V	Volume
T	Temperatura
U <sub>95</sub>	Incerteza de medição correspondente a um nível de confiabilidade de aproximadamente 95%

## **CAPÍTULO 1**

### **QUALIDADE NOS PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO COM PROTEÇÃO GASOSA**

#### **1.1 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS DESTE ESTUDO**

Muitas variáveis influenciam de maneira relevante na qualidade da solda nos processos de soldagem a arco com proteção gasosa, e entre elas, uma de grande importância é a vazão de gás. Nos processos de soldagem MIG/MAG, TIG, e plasma, utiliza-se gás de proteção, sendo que no processo plasma, além do gás de proteção tem-se outro fluxo de gás, chamado de gás de plasma, conforme citado no item 1.3.3. Para a vazão de gás de plasma, conforme resultados experimentais, pode-se ter uma variação de  $\pm 5\%$  em torno do valor mais adequado, para que a solda resultante seja de qualidade. Já, o gás de proteção, permite uma variação de  $\pm 20\%$  em relação ao valor mais adequado para ser utilizado, ainda assim mantendo a qualidade da solda, pelo menos no aspecto superficial. Nestes casos, em que se pode ter uma variação maior do fluxo de gás, o fator predominante na escolha do mesmo, é o econômico. Através dos percentuais mostrados, pode-se notar que um soldador pode estar realizando um procedimento de soldagem onde a solda resultante, embora seja de qualidade, produz grandes perdas para a empresa.

Pode-se citar como exemplo, um procedimento onde o fluxo do gás de proteção mais adequado seja de 10 l/min, e o soldador, por não dispor de instrumentos adequados, estiver utilizando um fluxo de 12 l/min. Neste caso, pode-se obter uma solda com qualidade, porém a cada uma hora de operação, utiliza-se 120 litros de gás a mais que o necessário. Desta maneira, o procedimento de soldagem adotado, está proporcionando um gasto excessivo com gás, além de aumentar a poluição do meio ambiente. O monitoramento e controle do

parâmetro de soldagem vazão de gás, proporciona diminuir os custos de um processo, reduzir a poluição com emissão excessiva de gases na atmosfera, tornando o processo mais produtivo, de melhor qualidade e facilitando a reprodução de uma solda. Entretanto, embora essencial para soldagem, sendo de grande importância para a qualidade, ou em alguns casos um fator econômico predominante, observa-se uma pequena profusão de instrumentos adequadamente projetados para esta finalidade.

Dentre os instrumentos projetados para monitoração e controle da vazão na soldagem, a maioria não possui qualificação metrológica, nem oferecem recursos de automatização, não sendo portanto adequados. Tem-se, portanto, uma carência no mercado de instrumentos para medição de vazão de gás, adequadamente projetados para serem utilizados na soldagem.

O objetivo deste estudo, motivado pelos fatores citados, é desenvolver um sistema de medição de fluxo de gás, qualificado metrológicamente, a ser disponibilizado no mercado a um preço competitivo, permitindo aos usuários a monitoração da vazão durante a soldagem. A utilização do mesmo vai permitir a diminuição dos custos de uma soldagem e também a diminuição da poluição com excesso de gás liberado ao meio ambiente.

No desenvolvimento de um instrumento adequadamente projetado, desafios metrológicos, elétricos e mecânicos devem ser superados. Neste caso, torna-se necessário o desenvolvimento de uma bancada de calibração eficiente, com padrões adequados, possibilitando alcançar como resultado a incerteza de medição esperada no projeto.

Como diretrizes do trabalho, em relação às características eletrônicas do sistema de medição, o mesmo deverá ser operacional de forma autônoma, com possibilidade de integração à sistemas de aquisição de dados computadorizados, possuir alarme indicativo de faixa de vazão, monitoração a distância e medição acumulativa da vazão.

As partes mecânicas projetadas, devem ser robustas, mantendo as características iniciais por um longo período de tempo, sem desgaste dos componentes internos do sistema.

O trabalho realizado, desenvolvimento e qualificação metrológica de um fluxímetro tipo turbina aplicado aos processos de soldagem, está descrito em sete capítulos brevemente citados a seguir.

Qualidade nos processos de soldagem a arco com proteção gasosa, incluindo análise comparativa sobre qualidade e produtividade na soldagem e ressaltando a importância da monitoração e controle das variáveis de soldagem.

Sistemas de medição de fluxo de gás, onde constam os valores de fluxo de gás usuais, os principais sistemas de medição de fluxo de gás utilizados na soldagem a arco com proteção gasosa e os parâmetros a se considerar na seleção de um sistema de medição de vazão de gás.

Desenvolvimento de um sistema de medição de fluxo de gás tipo turbina, com características construtivas, diretrizes para projeto e desenvolvimento de um sistema de medição.

Projeto e montagem de uma bancada de calibração, indicando a escolha do sistema de medição padrão e o procedimento de calibração adotado.

Qualificação metrológica do fluxímetro tipo turbina desenvolvido, determinando os parâmetros característicos do sistema de medição desenvolvido.

Análise do desempenho do sistema de medição desenvolvido, com referência à influência de grandezas externas no desempenho do sistema.

O último capítulo, aborda as conclusões sobre o trabalho desenvolvido e apresenta possíveis sugestões para o aprimoramento do fluxímetro tipo turbina desenvolvido.

## **1.2 QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NA SOLDAGEM**

Soldagem é a operação que visa a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas /1/. A soldagem é um dos processos

tecnológicos de maior importância econômica, e pode ser considerada sob dois aspectos: (a) reparação, (b) fabricação. Por muito tempo, a soldagem foi encarada apenas como um processo de reparação. Só no segundo quarto deste século é que ocorreu sua aceitação em construções que requerem qualidade /1/. A revolução tecnológica, caracterizada por inovações nos equipamentos de soldagem, conduz os técnicos industriais a constantes esforços de atualização e desenvolvimento de novos procedimentos. Vários estudos vem sendo realizados, buscando-se reduzir os custos, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade da soldagem. Para se obter sucesso nesta evolução dos processos de soldagem, deve-se agregar novos conhecimentos, desenvolvendo-se técnicas de medição e instrumentos para monitorar e controlar as principais variáveis de soldagem de maneira automatizada.

A qualidade resultante de uma soldagem, além do atendimento da premissa em sua definição, baseia-se em critérios que levam em conta um perfeito aspecto visual do cordão, soldas sem óxido e escórias, com excelentes propriedades mecânicas e requisitos de penetração /2/. Para caracterizar a produtividade numa soldagem, torna-se necessário o uso de distintos indicadores para os diferentes processos de soldagem. Por exemplo, no caso específico onde se utiliza eletrodo consumível, como acontece na soldagem MIG/MAG, pode-se calcular a produtividade com base na quantidade de quilogramas depositados, por hora e equipamento. Em outros processos que utilizam eletrodos virtualmente não consumíveis e que podem ser realizados sem adição de material, não se pode calcular a produtividade da maneira anterior, devendo-se então, quantificar a quantidade de peças soldadas por hora e por equipamento. Certos processos de soldagem produzem soldas de melhor qualidade que outros, porém, em muitas situações são menos produtivos. Portanto, é empreendida uma luta constante para, ou aumentar a qualidade dos processos mais produtivos, ou aumentar a produtividade dos de melhor qualidade.

### 1.3 IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO, CONTROLE E CORREÇÃO DAS VARIÁVEIS DE SOLDAGEM

Diariamente os especialistas em soldagem são questionados sobre novas técnicas de soldagem e problemáticas encontradas na indústria para realizar uma determinada solda. A solução para estes problemas, nem sempre é direta e fácil. Escolhido o processo, através de pesquisas bibliográficas ou da experiência adquirida, escolhe-se uma faixa de valores para as variáveis e parâmetros de soldagem a serem utilizados nos experimentos e simulando a situação real, qualifica-se o procedimento mais adequado. Para possibilitar a reprodução da solda obtida, torna-se importante a utilização de instrumentação capaz de monitorar e controlar as variáveis de soldagem utilizadas. Na soldagem, as principais variáveis que necessitam ser monitoradas e controladas são: corrente e tensão do arco, velocidade do arame e vazão do gás.

A vazão do gás de proteção, por exemplo, tem atuação direta na estabilidade do arco, ou seja, influencia nas variáveis elétricas tensão e corrente de arco, conforme mostra a figura 1.1.

Os casos A e B, são resultados do processo de soldagem MIG (Metal Inert Gás) com transferência por curto-circuito, utilizando-se a mesma fonte de soldagem, mesmo tipo de eletrodo consumível, velocidade de deslocamento da pistola, velocidade do arame e distância bico contato.

No caso A, o gráfico mostra que a corrente e tensão do arco tem um comportamento estável, ou seja, o tempo de cada período é aproximadamente igual. Sendo assim, a solda resultante é de boa qualidade. Já para o caso B, utilizando-se a vazão de 5 l/min, pode-se ver através do gráfico uma instabilidade das variáveis corrente e tensão do arco.

Os períodos de tempo de curto-circuito e de arco aberto oscilam, causando variações na quantidade de material despreendido e depositado. Estas oscilações, produzem uma quantidade maior de salpicos, sendo a solda resultante de baixa qualidade.

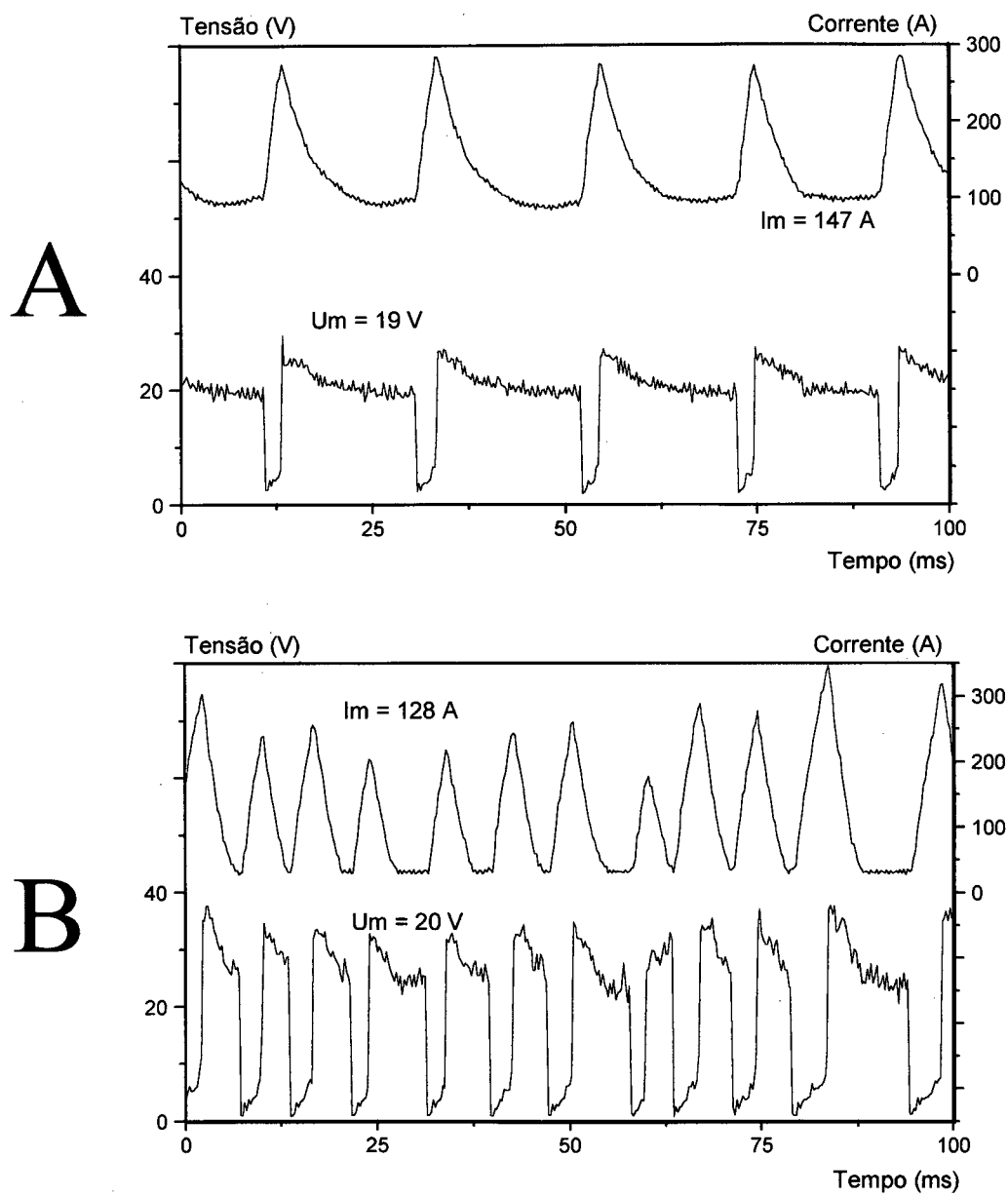


Figura 1.1 Oscilogramas de tensão e corrente na soldagem MIG para os casos

A = gás de proteção Argônio; vazão 15 l/min

B = gás de proteção Argônio; vazão 5 l/min



A figura 1.2 mostra as soldas resultantes de uma soldagem com o processo MIG/MAG, para diferentes valores de fluxo de gás.

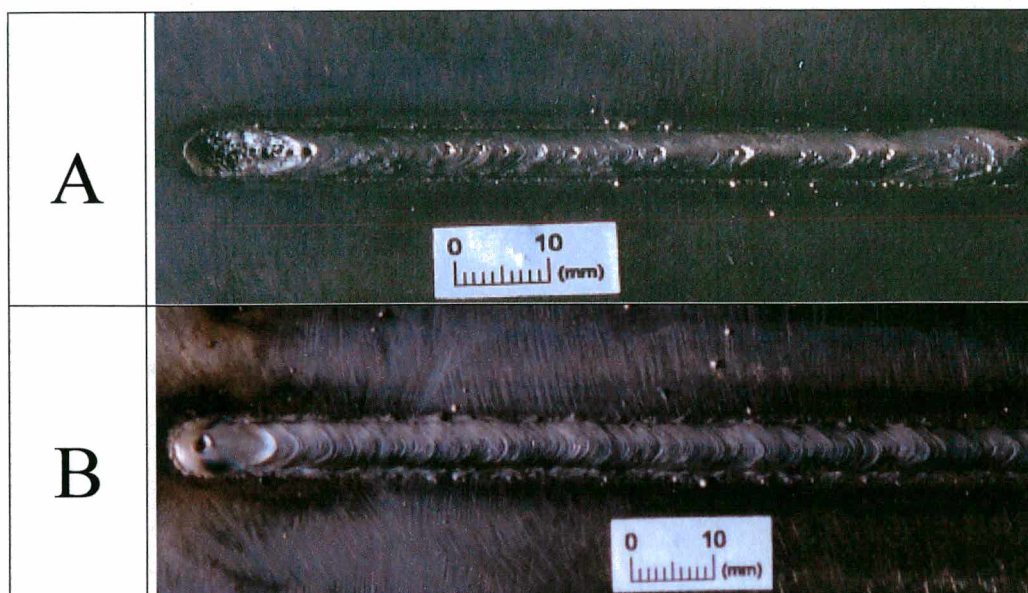


Figura 1.2 – Influência do fluxo de gás na qualidade da solda

A = Gás (Argônio + 5% CO<sub>2</sub>); Vazão 15 l/min.

B = Gás (Argônio + 5% CO<sub>2</sub>); Vazão 5 l/min.

No caso A, vazão de 15 l/min, o cordão de solda resultante é de boa qualidade, sem poros ou mordeduras e com poucos respingos. Já a solda resultante, utilizando-se 5 l/min, não tem qualidade, pois apresenta muitos poros e mordeduras. Portanto, pode-se verificar que a variação do fluxo do gás de proteção influencia a qualidade da solda resultante.

## 1.4 PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO QUE EMPREGAM PROTEÇÃO GASOSA DE FONTE EXTERNA

Cada procedimento de soldagem deve:

- Assegurar na junta, a continuidade das propriedades químicas e físicas /1/.
- Resultar numa solda com boas propriedades metalúrgicas /3/.
- Remover as contaminações das superfícies a serem unidas /3/.
- Evitar que o ar atmosférico contamine a região durante a soldagem /3/.

Todos os processos de soldagem devem satisfazer, pelo menos razoavelmente os requisitos acima. De uma maneira didática, os processos de soldagem podem ser classificados em dois grandes grupos: o que se baseia na fusão dos materiais e o que depende também da atuação de pressão.

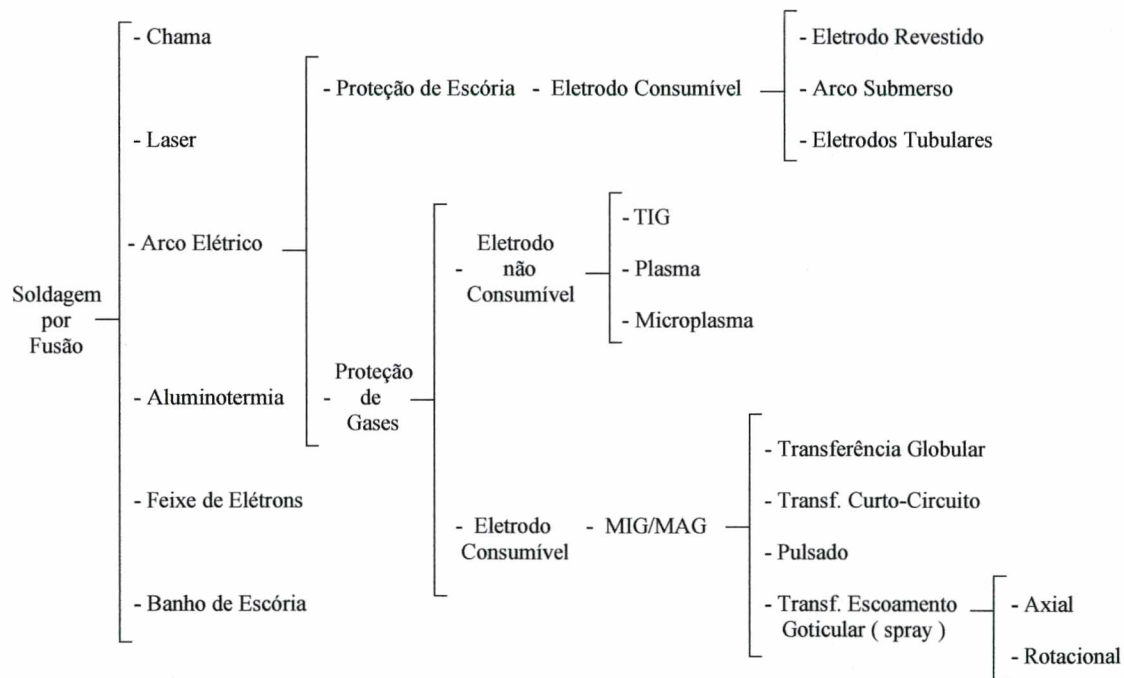


Figura 1.3 – Processos de soldagem a arco que empregam proteção gasosa de fonte externa

Os processos do primeiro grupo são mais críticos para atingirem os requisitos acima e por isso, todos impõem a utilização de um ambiente artificial para sua realização. Estes processos podem ser classificados de acordo com a forma da energia que utilizam /1, 4, 5/, conforme mostra a figura 1.3. Entre estes processos, somente os que utilizam proteção gasosa tem importância para esta dissertação.

#### 1.4.1 O FLUXO DE GÁS NO PROCESSO MIG/MAG

No processo MIG/MAG (Metal Inert Gás/Metal Active Gás), a fusão dos metais é produzida através de um arco voltaico, mantido entre um eletrodo consumível e a peça a soldar. A proteção da região a ser soldada é feita por um fluxo de gás inerte (MIG) ou ativo (MAG). A figura 1.4 mostra esquematicamente o processo.

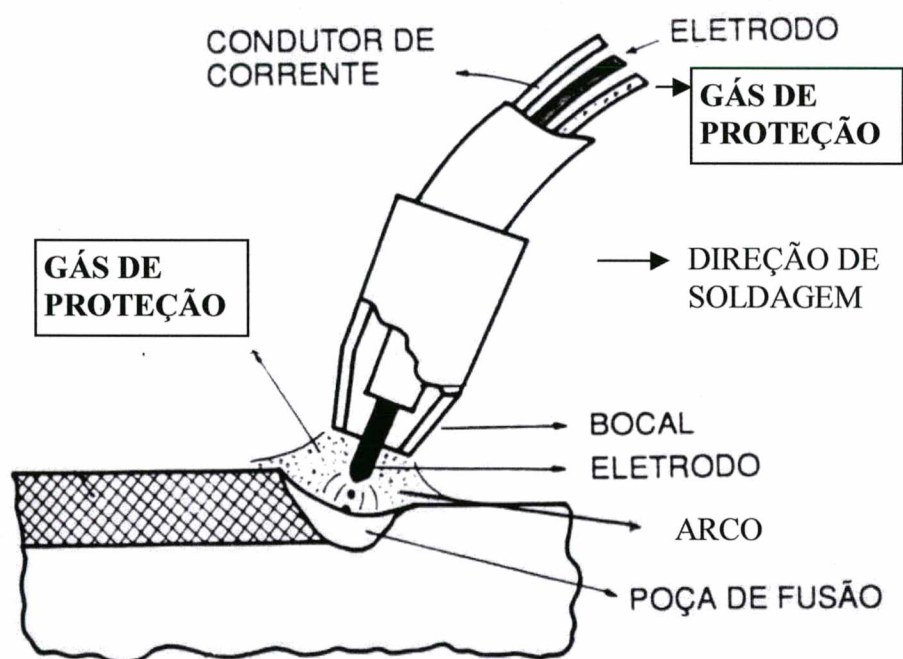


Figura 1.4 – Processo de soldagem MIG/MAG

Entre outros efeitos sobre a soldagem, o tipo de gás de proteção influi no modo de transferência e no formato do arco e do cordão de solda /4/, como mostra a figura 1.5.

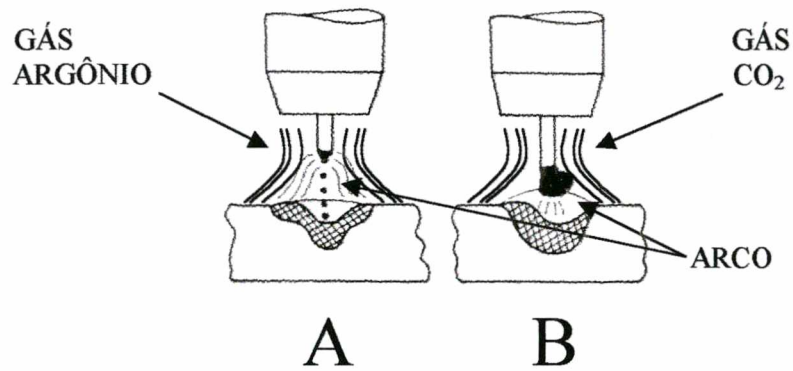


Figura 1.5 – Efeito associado ao gás de proteção no processo MIG/MAG

A = Transferência por escoamento goticular axial (spray)

B = Transferência por curto-circuito

#### 1.4.2 O FLUXO DE GÁS NO PROCESSO TIG

No processo TIG (Tungsten Inert Gas), a fusão dos metais é produzida através de um arco voltaico mantido entre um eletrodo de tungstênio, virtualmente não consumível, e a peça a soldar. A proteção na região da soldagem é feita por um fluxo de gás inerte. A figura 1.6 é uma ilustração esquemática do processo.

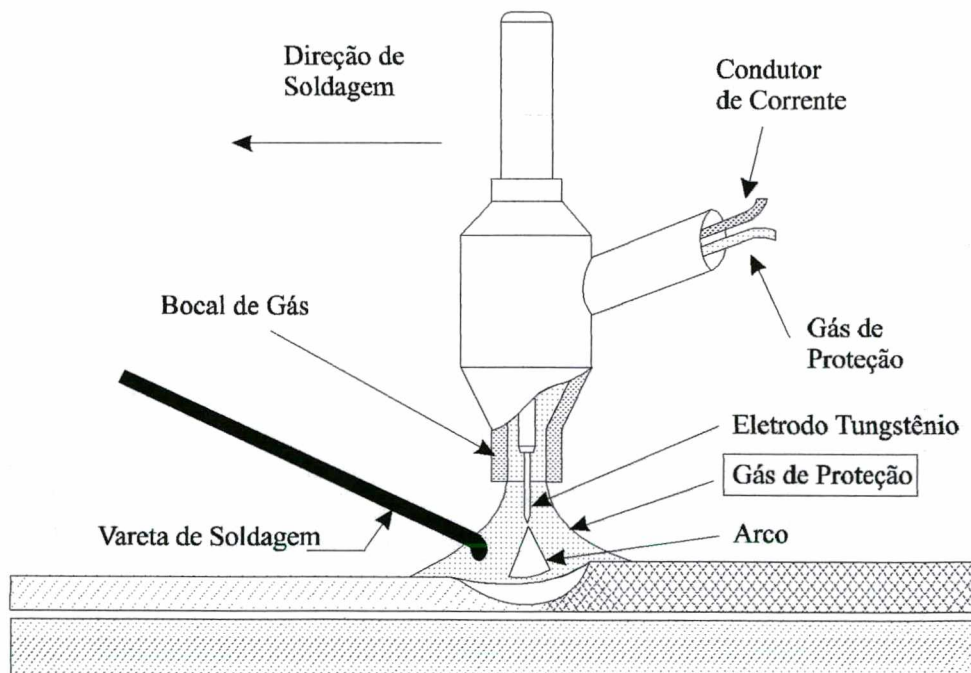


Figura 1.6 – Processo de soldagem TIG – Tungsten Inert Gas

O tipo e o fluxo do gás de proteção podem afetar significativamente a qualidade e o custo da solda /1/.

Como efeitos associados ao gás de proteção, pode-se citar que uma vazão excessivamente alta ou muito baixa, resulta na produção de descontinuidades na solda e acelera o desgaste do eletrodo, levando a interrupções com maior frequência para afiar o eletrodo, sendo que o mesmo terá sua vida útil reduzida. Como consequência, tem-se a elevação dos custos da soldagem, diminuição da produtividade e soldas de baixa qualidade.

### 1.4.3 O FLUXO DE GÁS NO PROCESSO PLASMA

O termo arco plasma é usado para caracterizar os tipos de processos que utilizam um arco elétrico confinado. Conforme mostra a figura 1.7, para a soldagem plasma é necessário, além do gás de plasma, uma fonte auxiliar de gás de proteção, que pode ser um gás inerte puro ou uma mistura.

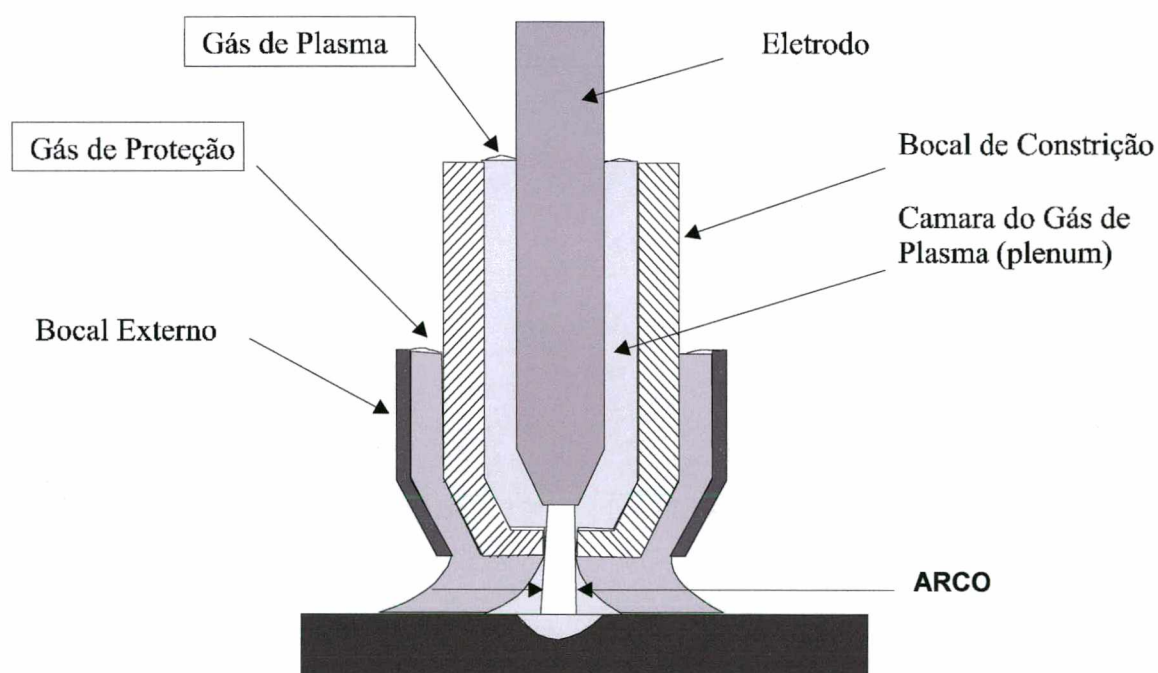


Figura 1.7 – Processo de soldagem plasma

Neste processo, a velocidade do gás de plasma influencia sobremaneira a capacidade de penetração da solda. Com uma velocidade adequada, pode-se obter uma soldagem com penetração total, utilizando-se a técnica que é denominada de “Key Hole”. Entretanto, a faixa de tolerância da velocidade do gás de plasma é extremamente crítica /6, 7, 8/, conforme mostra a figura 1.8.. Por isso, a monitoração e o controle da vazão gasosa, neste caso, se torna muito mais importante.

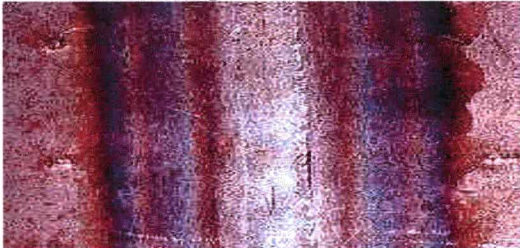
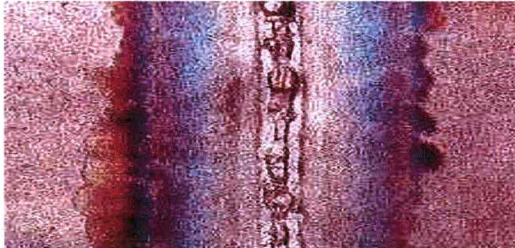
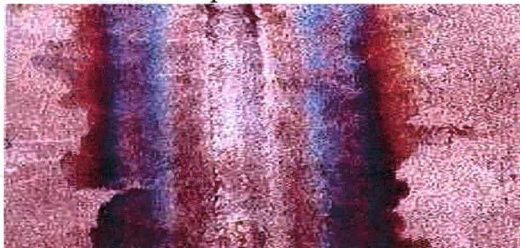
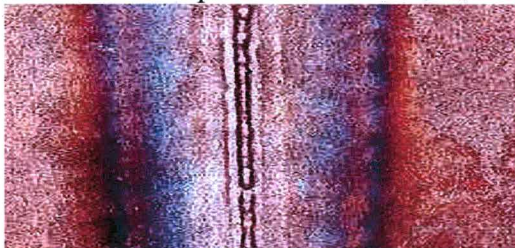
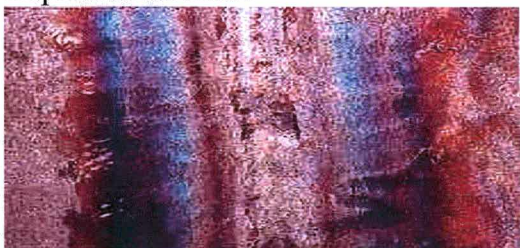
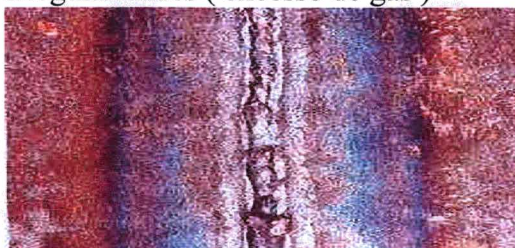
Vazão (l/min)	Superfície da Solda	Reverso da Solda
0,8	Solda com boa qualidade 	Solda irregular ( falta de gás ) 
1,2	Solda com boa qualidade 	Raiz com boa qualidade 
1,6	Depressão na solda 	Irregularidades ( excesso de gás ) 

Fig. 1.8 – Aspecto visual da solda. Gás de plasma: Argônio

Já, a vazão do gás de proteção não é tão crítica, conforme os resultados mostrados na figura 1.9.

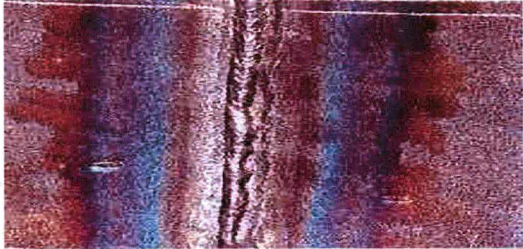
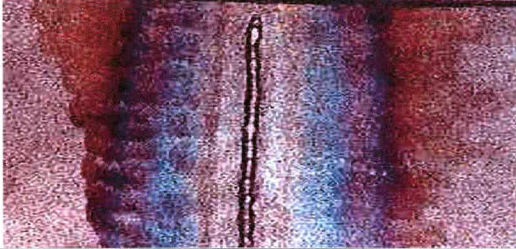
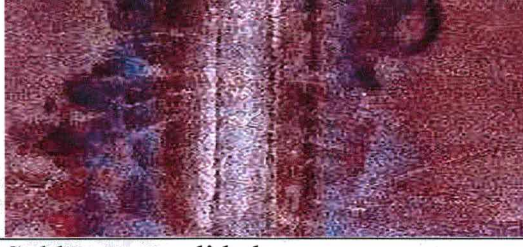
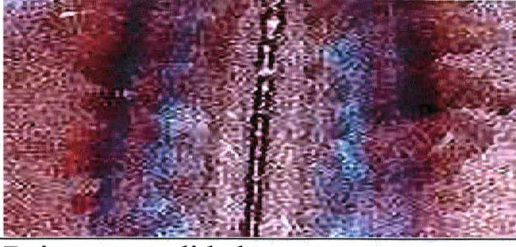
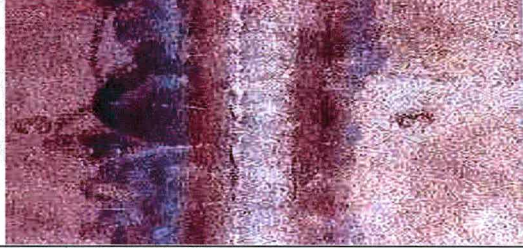
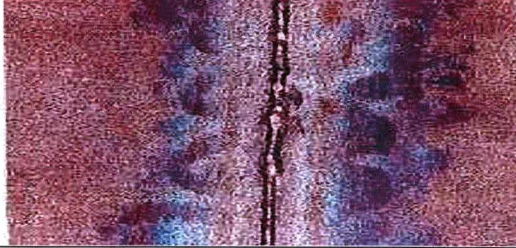
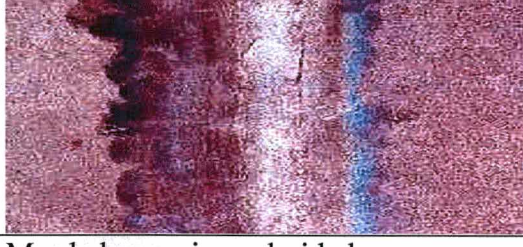
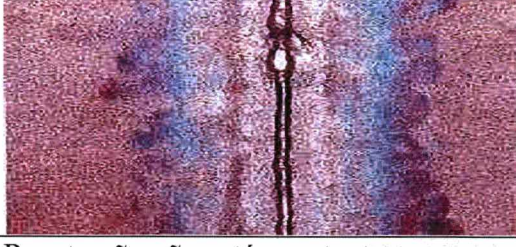
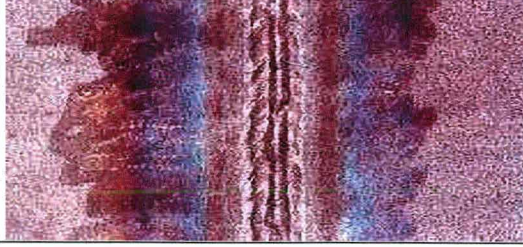
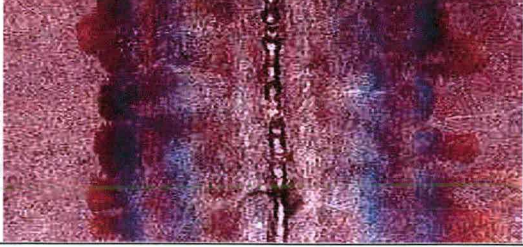
Vazão (l/min)	Superfície da Solda	Reverso da Solda
4,0	Mordeduras e irregularidades na face 	Raiz com pouco de excesso 
6,0	Pequenas mordeduras, mas a solda é de qualidade 	Raiz da solda com qualidade 
8,0	Solda com qualidade 	Raiz com qualidade 
10,0	Um pouco de depressão, mas a solda ainda é de qualidade 	Raiz com qualidade, embora em alguns pontos com excesso 
12,0	Mordeduras e irregularidades 	Penetração não está constante 

Fig. 1.9 – Aspecto visual da solda. Gás de proteção: Argônio

## CAPÍTULO 2

### SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS

#### 2.1 UTILIZAÇÃO DO FLUXO DE GÁS NA SOLDAGEM

Apesar da importância dos sistemas de medição de fluxo de gás aplicados na soldagem, técnicas de medição de fluxo de gás são pouco divulgadas. A necessidade para um método de medir fluxo de gás com precisão e que possibilite determinar o custo efetivo de um processo aumenta diariamente, particularmente quando é necessário estabelecer o custo de uma soldagem ou uma certa quantidade de fluido utilizado. As exigências no mercado consumidor quanto a produtos de melhor qualidade, desempenho, custo e segurança, tem levado as indústrias a controlar mais adequadamente seus processos de fabricação, a fim de garantir a competitividade no mercado /13/. Portanto, a medição de fluxo é essencial nos processos industriais, principalmente quando é realizada de maneira automatizada. Atividades relacionadas à medição de fluxo de gás como, por exemplo, comercialização de fluidos, produção de instrumentos ou controle de processos são objeto de muita atenção em todo o mundo devido aos elevados recursos financeiros envolvidos /11/. Das grandezas envolvidas em processos industriais, a vazão é uma das que apresenta ainda elevados erros de medição. A melhor forma de estabelecer padrões é reproduzir, da melhor maneira possível, dentro de determinadas condições, uma determinada condição de vazão. É muito difícil atingir 0,1% de incerteza em medição de vazão, enquanto se consegue facilmente níveis de incerteza mil vezes menores em grandezas como tempo ou comprimento. A medição da vazão é tão importante quanto a do consumo de energia elétrica, para fins contábeis e para verificação do rendimento do processo /12/. Pode-se ter como exemplo a comercialização de gás natural no Brasil. Em 1992 o Brasil vendia cerca de R\$ 800 milhões por ano. Se a incerteza na medição



(IM) estiver ao redor de 1%, os valores cobrados indevidamente seriam de aproximadamente R\$ 8 milhões por ano. Alguns resultados de aferições e perícias, realizadas por técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) mostram que há casos com incertezas maiores que 1% /11/.

Os medidores de vazão podem ser classificados segundo várias concepções, sendo a mais abrangente aquela utilizada no projeto de norma da ABNT, “Medidores de Vazão de Fluidos – Classificação” /14, 15/.

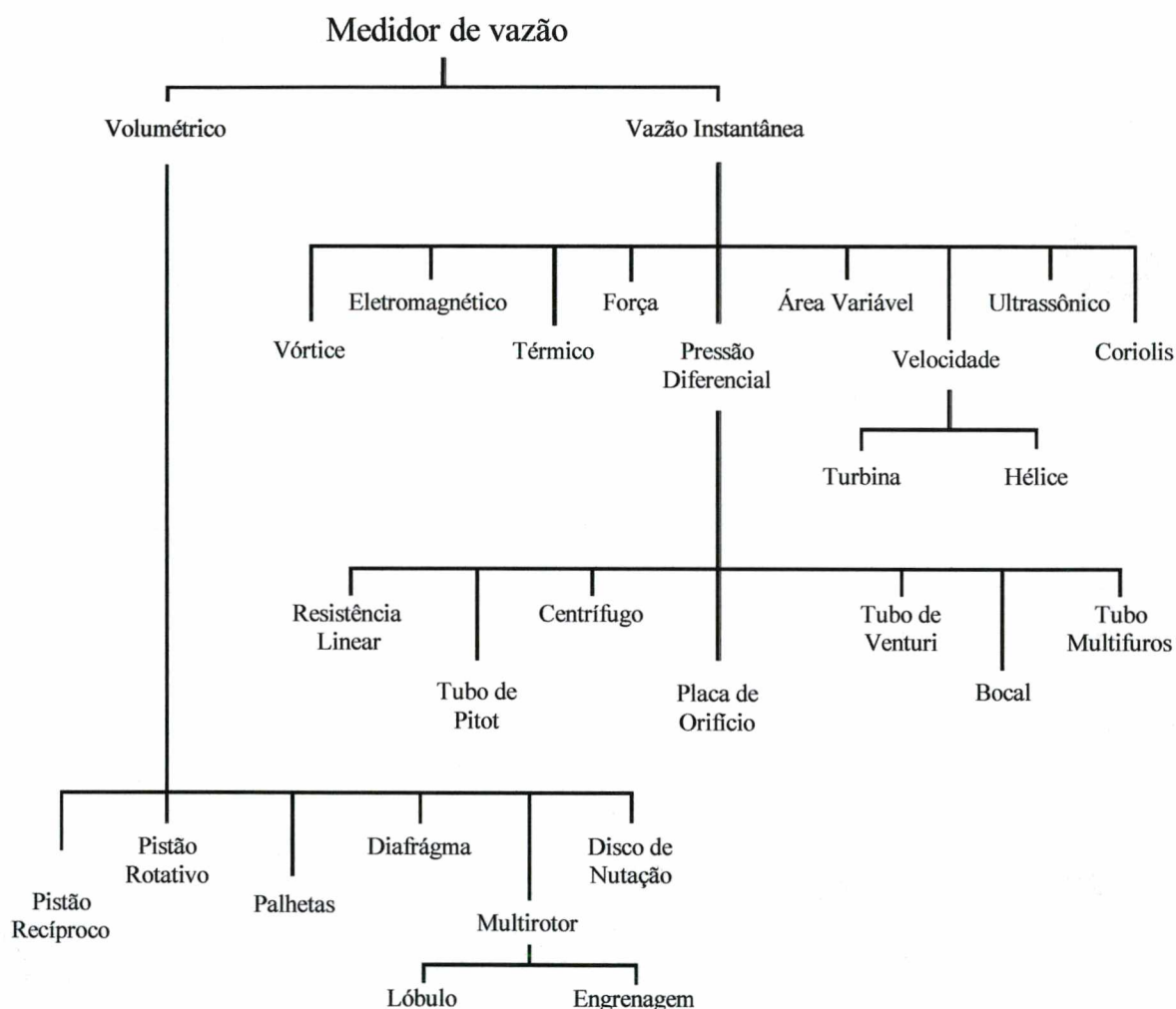


Figura 2.1 – Classificação dos medidores de vazão

As faixas de fluxo, tipo e combinações de gases utilizados são mostradas na figura 2.2. A utilização de um gás ou combinação de gases, depende do material a ser soldado e do processo de soldagem à ser utilizado.

PROCESSO DE SOLDAGEM	GASES	FAIXA OPERACIONAL ( l/min )
MIG/ MAG	Argônio CO <sub>2</sub> Combinações com Argônio e CO <sub>2</sub>	5,0 à 30,0
TIG	Argônio Hélio Combinações com Argônio e Hélio	5,0 à 20,0
PLASMA		
GÁS DE PLASMA	Argônio Argônio + H <sub>2</sub> Argônio + Hélio	0,5 à 3,5
GÁS DE PROTEÇÃO	Argônio Hélio Combinações	5,0 à 20,0
MICROPLASMA		
GÁS DE PLASMA	Argônio Hélio	0,2 à 1,2
GÁS DE PROTEÇÃO	Argônio Hélio	3,0 à 10,0

Figura 2.2 – Faixas de fluxo de gás utilizadas nos processos de soldagem

## 2.2 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS UTILIZADOS NOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

Pode-se encontrar um determinado conjunto de sistemas de medição de fluxo de gás destinados à soldagem, entretanto, poucos possuem uma qualificação metrológica, sendo que o resultado da medição só deve ser utilizado como um valor orientativo da vazão.

Abaixo, segue a descrição de alguns sistemas de medição utilizados em laboratórios e indústrias, com destaque aos seus transdutores.

### **2.2.1 ROTÂMETRO UTILIZADO NO BOCAL DA TOCHA DE SOLDAGEM**

Os medidores de vazão de área variável, chamados de rotâmetro, são amplamente utilizados em processos industriais, onde há necessidade de observação instantânea da vazão. São adequados para baixas vazões, onde apresentam uma excelente relação custo-desempenho /14/. Nestes medidores, o fluido escoar em um tubo cônico vertical, de baixo para cima, no qual há um flutuador. O flutuador podendo movimentar-se verticalmente dentro do tubo, é solicitado por um conjunto de forças que o posicionam à uma certa altura. Qualquer variação da vazão, altera a posição de equilíbrio do flutuador, sendo que para cada vazão de um determinado fluido, existe apenas uma posição de equilíbrio do flutuador. O material usado para fabricação do tubo é usualmente vidro, permitindo assim, que o flutuador possa ser visto por transparência. Neste caso, a posição do flutuador em relação à uma escala gravada no tubo de vidro é representativa da vazão /16/. Normalmente, os rotâmetros destinados à serem utilizados diretamente no bocal da tocha de soldagem possuem escala de vazão com indicação de 3 à 25 l/min.

Como desvantagens ou limitações deste instrumento específico para o bocal da tocha de soldagem, pode-se citar a incerteza de medição elevada; problemática ou até mesmo impossibilidade de ser utilizado em sistemas automatizados, pois o usuário deve parar o processo para efetuar a medição ou ajustar a vazão; utilização somente com fluidos limpos, caso contrário, no caso de fluidos opacos ou por razões de segurança, são utilizados tubos de aço com acoplamento magnético ou elétrico ao sistema de indicação. Estas modificações comprometem as duas principais características deste sistema de medição, simplicidade e baixo custo /17/.

Dentre as principais vantagens, tem-se o baixo custo, em torno de R\$ 15,00; simplicidade; pouco afetado pela pressão à montante; leitura direta da vazão; não requer alimentação auxiliar /17/.

Outra grande vantagem nesta utilização, é que o sistema de medição é utilizado à pressão atmosférica, ou seja, o usuário não precisa ajustar a pressão de entrada. A figura 2.3, mostra a aplicação do sistema de medição tipo rotâmetro sendo utilizado acoplado a uma tocha de soldagem MIG.

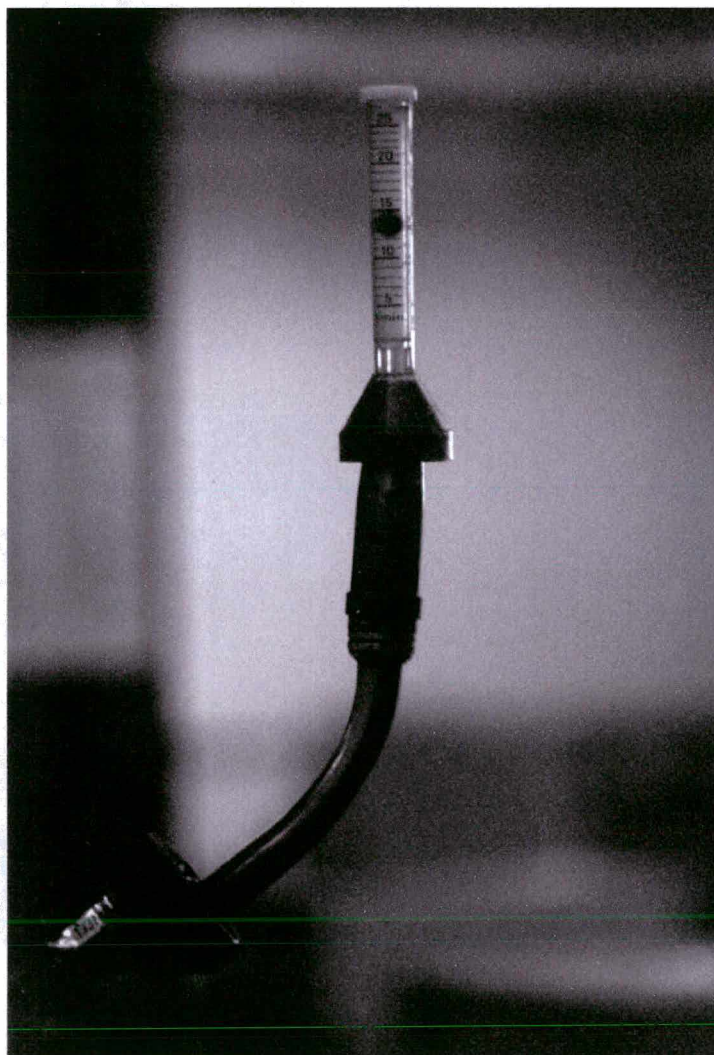


Figura 2.3 – Rotâmetro utilizado no bocal da tocha de soldagem

### 2.2.2 REGULADOR DE VAZÃO ACOPLADO NA SAÍDA DO CILINDRO DE GÁS

Este sistema é composto por um manômetro indicador da pressão interna do cilindro de gás e uma válvula reguladora de vazão, conforme mostrado na figura 2.4.

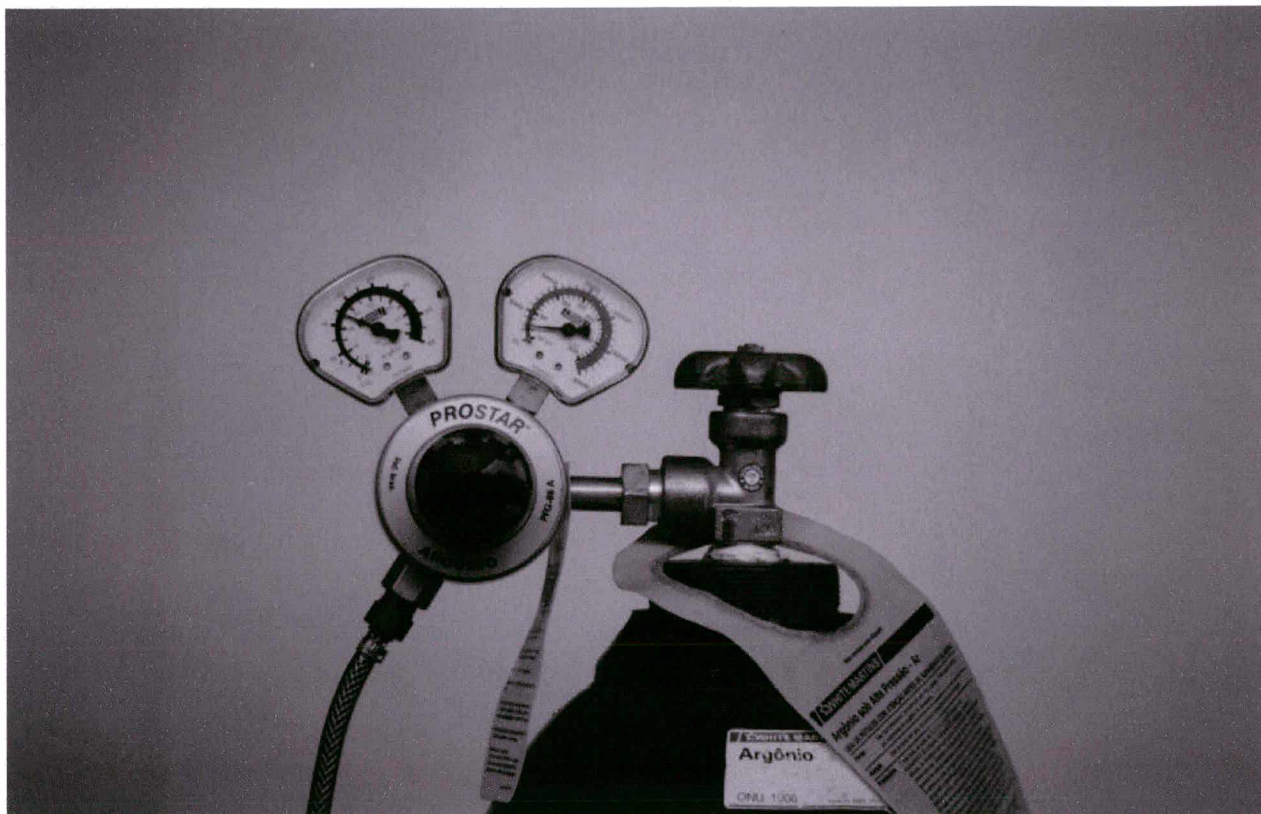


Figura 2.4 – Regulador de Vazão Acoplado na Saída do Cilindro de Gás

A válvula reguladora da vazão, é composta por uma câmara com mola e diafragma. Quando a válvula de regulagem é acionada, o gás é admitido na câmara, aumentando ou reduzindo a pressão sobre o diafragma, tendendo a alterar a vazão do fluxo de gás. Desta forma, é alcançado o equilíbrio de forças, sendo estabilizada a pressão conforme o gás flui. Este tipo de sistema de medição, somente deve ser utilizado em situações que admitam pequenas flutuações da vazão, conforme varia a pressão de fornecimento /6/. Este sistema não permite o monitoramento através de sistemas automatizados e muito menos medição cumulativa da vazão. Como o rotâmetro do item 2.2.1, também não possui qualificação metrológica, sendo

que o erro máximo estimado é da ordem de 5 à 10 % do fundo de escala. A escala deste instrumento pode variar de acordo com a utilização, sendo que para soldagem a escala geralmente encontrada é de 5 à 40 l/min.

### **2.2.3 ROTÂMETRO COM REGULADOR DE PRESSÃO ACOPLADO NO CILINDRO DE GÁS**

Este sistema de medição é composto por um regulador de pressão com rotâmetro acoplado, conforme figura 2.5.

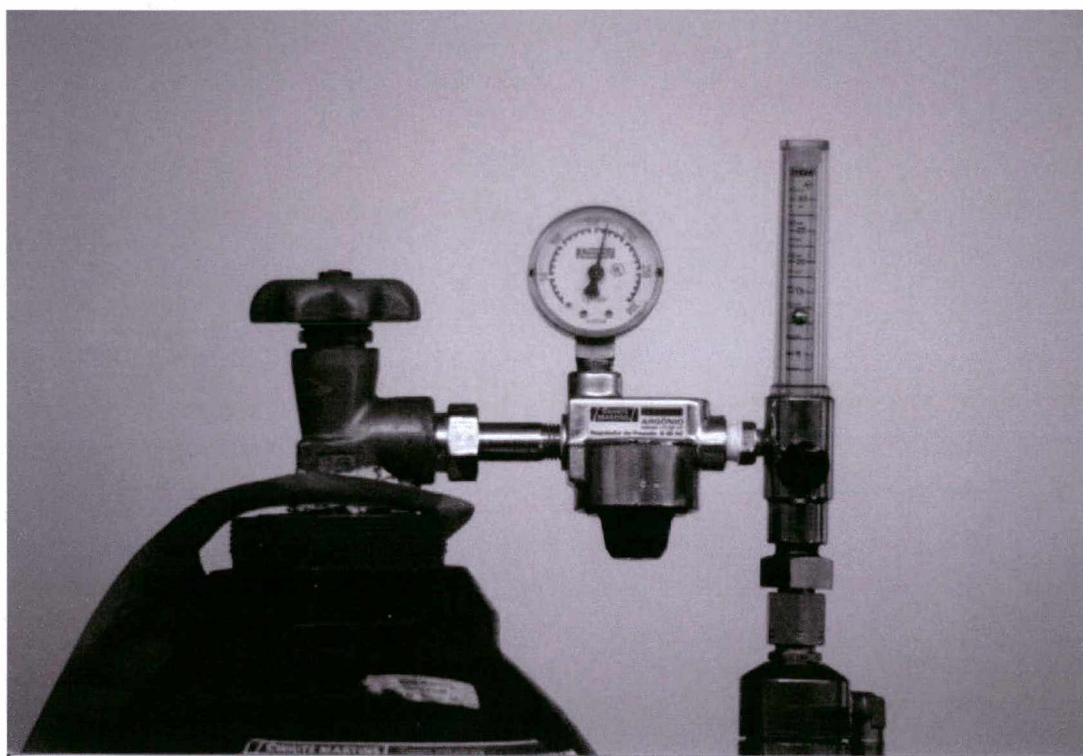


Figura 2.5 – Rotâmetro com Regulador de Pressão Acoplado

O regulador de pressão fornece uma pressão na saída, independente da pressão de fornecimento. A pressão de fornecimento é inicialmente reduzida numa câmara. O gás passa, então, para uma segunda câmara, na qual a pressão de trabalho é estabelecida para o valor desejado. Assim, a pressão de trabalho se mantém constante, apesar da variação da pressão de

fornecimento, até que a pressão de fornecimento seja igual a pressão reduzida na primeira câmara /6/. Este sistema permite visualização e atuação na vazão de gás durante a soldagem. Como desvantagem, não permite o monitoramento através de sistemas automatizados e a medição de vazão acumulada. O erro máximo é aproximadamente da ordem de 5 % do fundo de escala e a faixa de indicação pode variar de acordo com o rotâmetro escolhido, sendo que a relação entre o valor máximo e mínimo é de 10:1. Dentre as escalas normalmente utilizadas na soldagem tem-se: 0,2 à 2; 1 à 10 e 3 à 30 l/min.

#### **2.2.4 VÁLVULA PARA MONITORAÇÃO E CONTROLE DA VAZÃO**

Os medidores de fluxo de massa de gás utilizam os princípios de transferência de calor, para desenvolver um sinal de saída linear de 0 à 5 VDC sobre a escala de vazão do instrumento. Estes princípios dizem que o aumento de temperatura de um gás é função da quantidade de calor adicionada a este gás, do fluxo de massa e das propriedades do gás que está sendo utilizado. Os controladores incorporam ainda uma válvula eletrônica apropriada para regular automaticamente a vazão, em resposta à um comando externo /17/. A figura 2.6 mostra um detalhe interno do sistema de medição de vazão mássica utilizado para controle da vazão.

A incerteza de medição do instrumento varia de 1% à 2% do fundo de escala, dependendo do fabricante, e o tempo de resposta típico é da ordem de 6 segundos. A relação entre as vazões máxima e mínima é de 50:1. Uma desvantagem em relação aos outros sistemas de medição é o custo elevado, em torno de R\$ 3000,00.

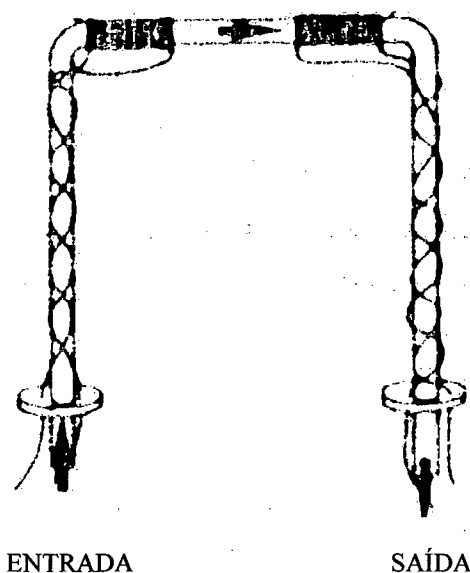


Figura 2.6 – Válvula de controle de vazão (detalhe interno)

### 2.2.5 MEDIDORES TIPO TURBINA

Os medidores tipo turbina, tiveram seu uso crescente durante a II guerra mundial, na utilização para medição de combustível em aeronaves /18/. Inicialmente, os sistemas de medição tipo turbina desenvolvidos eram pouco confiáveis, particularmente pelo comportamento dos mancais, com muito curto período de tempo em funcionamento. Com o desenvolvimento de mancais confiáveis, a reabilitação foi notável, de modo que este sistema de medição possui atualmente uma ampla faixa de aplicação /19/.

Os medidores em dutos fechados, chamados de turbinas, têm este nome derivado do elemento interno rotativo, que é a peça principal do instrumento. Existem vários tipos de medidores tipo turbina, variando, tanto a disposição do eixo do rotor em relação ao fluxo, como a maneira de se medir suas rotações /16/. Embora a teoria básica seja simples, o projeto e o controle de qualidade de pequenos detalhes é complexo e determina a confiabilidade deste instrumento. Dentre estes detalhes, pode-se citar: ângulo das pás, forma e rigidez dos mancais, número de pás, tolerância de fabricação e usinagem /20/. Este sistema, fornece a indicação da vazão por meio de um número precisamente conhecido de pulsos para um dado volume de fluido



deslocado /21/. O erro de medição é da ordem de 0,5 à 1% do fundo de escala e a relação entre a vazão máxima e mínima é de 10:1.

Como principais vantagens pode-se citar comunicação com microcomputador; monitoração a distância; monitoração e controle da vazão durante a soldagem, medição acumulada; permite gerar um arquivo ou gráfico com o comportamento da vazão durante um determinado período de soldagem; alarme indicativo de faixa de vazão; boa repetitividade; baixa incerteza de medição.

As principais desvantagens do medidor tipo turbina, são que o medidor pode ser danificado em caso de sobrevelocidade; componente móvel sujeito a desgaste; exige indicador em separado; muito afetado por condições de escoamento à montante.

### **2.3 PARÂMETROS À SE CONSIDERAR NA SELEÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS**

Quando se pretende escolher um sistema de medição, defronta-se com uma série de problemas, sendo que um dos maiores está na existência de vários modelos e princípios de funcionamento, representando uma enorme diversidade de soluções de instalação, condições de utilização, dimensões, tipos de fluidos que podem ser medidos, confiabilidade e custos. Portanto, deve-se fazer uma seleção de acordo com a utilização do instrumento.

Quando se inicia o processo de escolha de um medidor de vazão, deve-se levar em consideração as muitas variáveis que influenciam na escolha, observando e avaliando adequadamente os fatores a seguir /14, 22/:

- a) Desempenho: erro máximo, repetitividade, linearidade, faixa de medição, característica do sinal de saída, resposta dinâmica, necessidade da vazão instantânea ou totalização.

- b) Instalação: direção do escoamento, trecho reto necessário à montante e à jusante, efeito da vibração local, localização, conexões elétricas, necessidade de acessórios.
- c) Propriedade dos Fluidos: líquido ou gás, temperatura, pressão, densidade, viscosidade, lubrificação, propriedades químicas, compressibilidade, capacidade de abrasividade, presença de outros gases ou componentes.
- d) Efeitos Ambientais: temperatura ambiente, umidade, fator de segurança, efeito da pressão, interferência elétrica.
- e) Fatores Econômicos: preço na compra, custo da instalação, custo operacional, manutenção, custo da aferição ou calibração, vida útil, confiabilidade.

Uma vez delineada a maioria destes fatores, pode-se recorrer à catálogos de fabricantes e iniciar o processo de escolha de um medidor específico.

Através de pesquisas em normas, catálogos de fabricantes e artigos, constatou-se que os medidores tipo turbina, avaliando-se os fatores desempenho, instalação, propriedade dos fluidos, efeitos ambientais e econômicos, possuem boas características, podendo ser uma boa solução para a medição de vazão de gás. Os mesmos possuem boa repetitividade, características do sinal de resposta linear, faixa de medição podendo alcançar a relação de 20:1, possibilidade de utilização em baixas vazões, transmissão do sinal analógico ou digital, baixo custo de instalação e manutenção, longa vida útil e boa confiabilidade. O erro máximo na ordem de 0,5 à 1% do fundo de escala é baixo quando comparado com os outros sistemas de medição de vazão de gás.

Aliado aos fatores acima, o Labsolda adquiriu para manutenção um medidor de fluxo de gás tipo turbina, utilizado para medição de vazão de gás na soldagem. Este sistema de medição é importado e deverá servir como base para desenvolvimento do primeiro protótipo do sistema de medição tipo turbina descrito nesta dissertação.

## **CAPÍTULO 3**

### **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS TIPO TURBINA**

Este capítulo mostra as opções construtivas e diretrizes para projeto de sistemas de medição de fluxo de gás tipo turbina. Também dá ênfase ao projeto, desenvolvimento e testes, fazendo uma reavaliação das soluções construtivas e materiais utilizados no desenvolvimento do sistema de medição desenvolvido.

#### **3.1 – SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS TIPO TURBINA**

A utilização dos medidores tipo turbina, teve grande impulso durante a segunda guerra mundial. Posteriormente, com o desenvolvimento de novas tecnologias, foi possível seu uso em pequenos tamanhos, inferior a 50 milímetros, para medição de combustível em aeronaves. Seu formato inicial era severamente limitado, particularmente pelo comportamento dos mancais, com muito curto período de tempo em funcionamento, em alguns casos da ordem de minutos /23, 24/. Com o desenvolvimento de mancais confiáveis, a reabilitação deste sistema de medição foi notável, de modo que os medidores tipo turbina, atualmente, possuem uma ampla faixa de aplicações.

#### **3.2 - CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS**

Este item aborda as maneiras de medir as rotações de um sistema de medição tipo turbina, tipos de mancais utilizados e variações em relação à disposição do eixo do rotor em relação ao fluxo.

### 3.2.1 - VARIAÇÕES EM RELAÇÃO À MANEIRA DE MEDIR AS ROTAÇÕES DA TURBINA

As rotações do sistema de medição tipo turbina, podem ser determinadas mecânica ou eletricamente.

- a) Sistemas de medição tipo turbina, puramente mecânicos. Neste caso, geralmente a finalidade é a totalização de um volume. O sistema de totalização, pode ser realizado através de um redutor com engrenagens, conectado ao rotor para operar um totalizador mecânico /16/. Este modelo, cujo um exemplo é mostrado na figura 3.1, tem um efeito negativo sobre o desempenho do sistema de medição, devido as elevadas perdas de atrito.

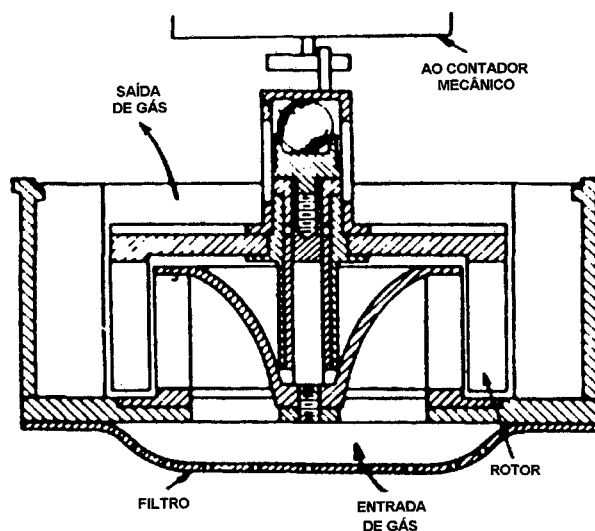


Figura 3.1 – Exemplo de um sistema de medição tipo turbina mecânico

- b) Sistemas de medição tipo turbina, eletrônico. Neste caso, a medição da rotação do rotor da turbina é feita eletronicamente. Entre os principais sistemas eletrônicos, encontra-se o sistema com sensores magnéticos, sensor de onda modulada ou por radio-frequência e o sistema com sensores ópticos.

Os sensores magnéticos podem ser utilizados na maioria das aplicações, exceto em vazões baixas, onde o arraste magnético sobre o rotor afeta consideravelmente o desempenho do medidor. Os outros dois sistemas de medição citados podem operar em vazões baixas, pois não apresentam este problema. Em todos os casos, é gerada uma sequência de pulsos, cujo frequência é diretamente proporcional à rotação da turbina, e conseqüentemente, à vazão volumétrica /16/.

Em relação as influências exercidas nos sistemas de medição tipo turbina, mecânicas ou eletrônicas, é fato que os sistemas com turbinas mecânicas exercem forte perda de carga devido ao redutor com engrenagens e ao totalizador mecânico.

### 3.2.2 - VARIAÇÕES EM RELAÇÃO AOS MANCAIS UTILIZADOS

O processo de seleção dos mancais para medidores tipo turbina, é normalmente ditado pelo fluido a ser utilizado e pela faixa de vazão do sistema de medição escolhido. A figura 3.2 mostra os tipos de configurações de mancais utilizados no sistema tipo turbina /24/. O mancal axial de fricção, frequentemente é feito de Carbureto de Tungstênio, tendo um acabamento polido, liso, quase da dureza do diamante, permitindo assim um desempenho longo e consistente. Os mancais tipo pivotado, que consistem numa superfície de apoio côncava, onde gira um eixo com ponta cônica, são de Carbureto de Tungstênio ou em safira e os mancais tipo rolamento de esferas, comumente são fabricados em aço inoxidável 440 C /22, 25/.

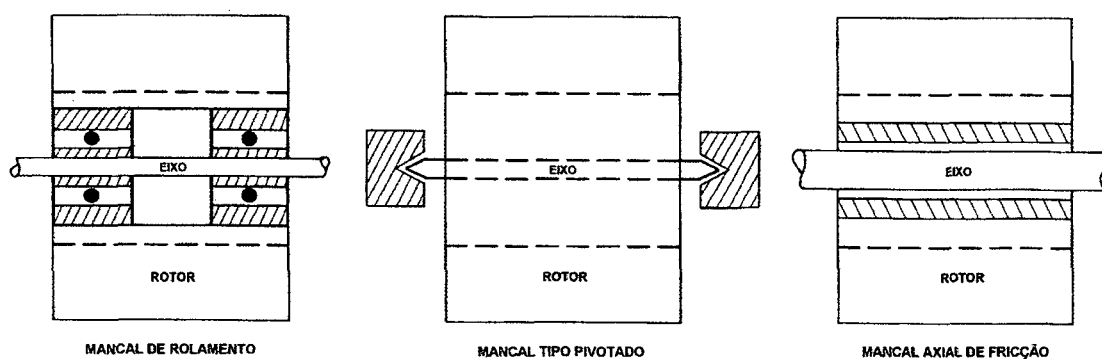


Figura 3.2 – Tipos de mancais utilizados no sistema de medição tipo turbina

### **3.2.3 - VARIAÇÕES EM RELAÇÃO À DISPOSIÇÃO DO EIXO DO ROTOR EM RELAÇÃO AO FLUXO**

Pode-se encontrar nos sistemas de medição tipo turbina, disposições de rotor axial, radial e tangencial, dependendo da utilização do fluido à ser medido.

Utilizando-se o sistema tipo turbina para medição de líquidos, a disposição do rotor pode ser axial ou radial. Já para medição com gases, a disposição da turbina deve ser axial, pois é feita de maneira a se aumentar o torque disponível, aumentando a velocidade do gás. Visto que o torque motor depende da densidade do gás e do quadrado de sua velocidade, o fluido, na disposição axial é obrigado a passar por espaço anular onde fica o rotor, aumentando a velocidade do gás. Uma outra disposição possível do rotor é a chamada tangencial, e é utilizada, tanto para medição de líquidos como para gases /16/. A figura 3.3 mostra os sistemas de medição tipo turbina, com as disposições de rotor axial, radial e tangencial.

### **3.3 – CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E ESPECIFICAÇÕES DE SISTEMA DE MEDIÇÃO DE FLUXO DE GÁS TIPO TURBINA**

O sistema de medição desenvolvido, deverá ser confiável, possibilitar a medição de vazão de gás nas faixas utilizadas nos processos de soldagem com proteção gasosa de fonte externa, comunicação com microcomputador, medição de volume acumulado de gás e alarme indicativo de faixa de vazão.

#### **3.3.1 – NORMALIZAÇÃO**

O projeto de norma ABNT/ISO 9951 /26/, trata dos medidores de vazão de gás em condutos fechados, medidores de turbina.

Dentre os objetivos, esta norma especifica dimensões, faixa de operação, construção, desempenho, calibração e características de saída do medidor tipo turbina para medição de

vazão de gás. A norma também trás dados referentes as condições de instalação, testes de vazamento e condições de pressão.

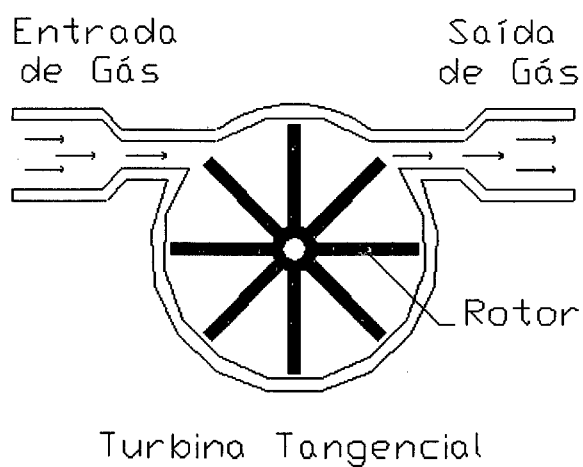
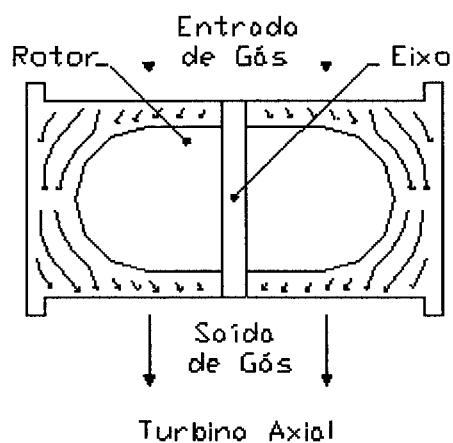
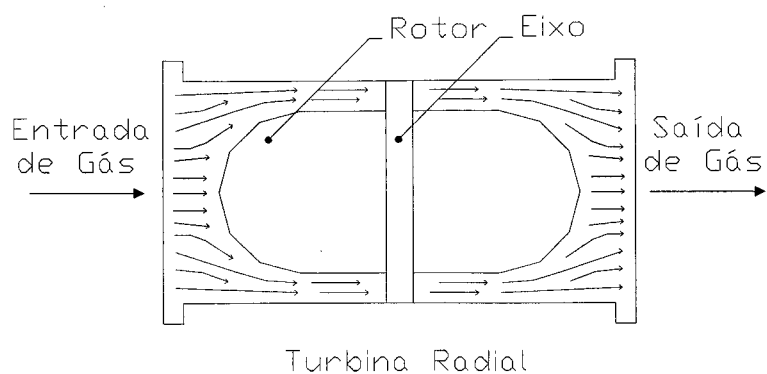


Figura 3.3 – Exemplos de turbinas tipo radial, axial e tangencial

O princípio do método de medição, segundo a norma, é que o medidor tipo turbina é um dispositivo de medição de fluidos no qual as forças dinâmicas do escoamento fazem o rotor da turbina girar com uma velocidade proporcional à vazão. O número de revoluções do rotor da turbina é a base para indicação do volume que passou pelo medidor /26/.

Em relação as características construtivas dos medidores, os mesmos devem ser projetados com tolerâncias de fabricação que permitam o intercâmbio de medidores do mesmo tamanho e tipo. O corpo e o mecanismo interno deverão ser construídos com materiais adequados para as condições de serviço e resistentes ao ataque pelo fluido com o qual o medidor irá operar. O medidor deve ser projetado de modo à poder operar ocasionalmente 20% acima da vazão máxima e a placa de identificação, deve estar marcada com pelo menos o nome ou marca do fabricante, número de série, vazão máxima ( $q_{max}$ ), vazão mínima ( $q_{min}$ ) e máxima pressão de operação.

Para determinar as características de desempenho, deve ser feita uma calibração individual para cada medidor, e os resultados de calibração à serem fornecidos devem conter:

- a) o erro em  $q_{min}$  e nas seguintes vazões acima de  $q_{min}$ , 0,1; 0,25; 0,4; 0,7 de  $q_{max}$  e  $q_{max}$
- b) nome e local da instalação na qual a calibração foi feita
- c) o método de calibração
- d) a incerteza estimada do método
- e) a natureza das condições do teste (pressão e temperatura)
- f) posição do medidor (horizontal, vertical)

A calibração deve ser conduzida em condições as mais próximas possíveis das condições de operação, sendo que o desempenho do medidor não pode ser influenciado pelas condições das instalações de realização da calibração /26/.

Esta norma é destinada à construção, testes e utilização de medidores de vazão de gás tipo turbina, que operam principalmente em vazões muito superiores as utilizadas na soldagem.



Entretanto, a maioria das citações desta norma, podem ser aceitas e utilizadas para o sistema de medição tipo turbina desenvolvido.

### **3.3.2 – CARACTERÍSTICAS DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO**

Antes de partir para o projeto de um sistema de medição, deve-se conhecer alguns termos utilizados, de acordo com o vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia /27/.

- a) Faixa nominal do instrumento, que é a faixa de medição que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição
- b) Faixa de medição, sendo o conjunto de valores de um mensurando para o qual admite-se que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados
- c) Condições de utilização, que são as condições de uso para as quais as características metrológicas especificadas de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados
- d) Condições limites, que são condições extremas nas quais um instrumento de medição resiste sem danos e degradação das características metrológicas especificadas
- e) Característica de resposta, sendo a relação entre um estímulo e a resposta correspondente, sob condições definidas
- f) Resolução é a menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador, que pode ser significativamente percebida
- g) Tempo de resposta, é o intervalo de tempo entre o instante em que um estímulo é submetido à uma variação brusca e o instante em que a resposta atinge e permanece dentro de limites especificados em torno do seu valor final estável
- h) Tendência, representa o erro sistemático da indicação de um instrumento de medição

- i) Repetitividade que é a aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas, em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição.

### **3.4 – DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS TIPO TURBINA**

Antes de começar a realizar o projeto, partindo para soluções construtivas, deve-se saber quais as características metrológicas e elétricas pretendidas.

#### **3.4.1 – CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS PRETENDIDAS**

Em relação a faixa de medição, pretende-se desenvolver um instrumento que possibilite operar em duas faixas básicas, que são: 0,3 à 4,0 l/min e 3,0 à 30,0 l/min. É desejado que a resolução do sistema de medição seja de 0,1 l/min, e o tempo de resposta esperado, para que o sistema de medição entre em regime, deve ser no máximo de 5 segundos, independente da faixa de vazão utilizada. O erro máximo esperado para o sistema de medição é  $\pm 5\%$  do fundo de escala do instrumento. Esta opção, se deve ao fato de experiências realizadas em laboratório, comprovarem que é possível obter-se repetitividade em uma solda MIG, dentro de certas condições, variando-se a vazão aproximadamente em 5% e mantendo-se os outros parâmetros de soldagem.

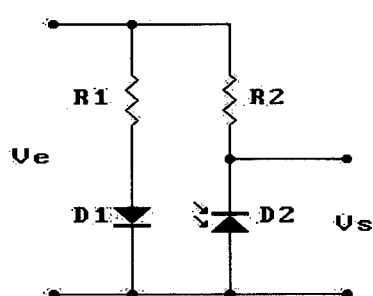
#### **3.4.2 - CARACTERÍSTICAS ELETRÔNICAS PRETENDIDAS**

O sistema de medição, além de indicar o resultado da medição em um display, deverá possuir como opcional sinal de saída em frequência e saída analógica de 0 à 10 VDC. Também deve possibilitar a medição de vazão acumulada e comunicação com microcomputador.

### 3.4.3 - SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

#### a) Aspectos eletrônicos

Dentre as possibilidades citadas no item 3.2.1, os sensores magnéticos devem ser excluídos, pois não podem ser utilizados em baixas vazões, onde o arraste magnético sobre o rotor afeta consideravelmente o desempenho do sistema. A solução adotada para detectar a frequência de rotação da turbina foi utilizar um led emissor de infravermelho e um foto diodo receptor, pois das opções restantes, esta foi a mais viável economicamente. A figura 3.4 mostra o diagrama do circuito eletrônico do sensor utilizado.



$U_e$  – Tensão de alimentação

$V_s$  – Tensão de saída

R1, R2 – Resistores de polarização

D1 – Diodo emissor ou LED de infravermelho

Figura 3.4 – Esquema do circuito utilizado para detectar a frequência de rotação da turbina

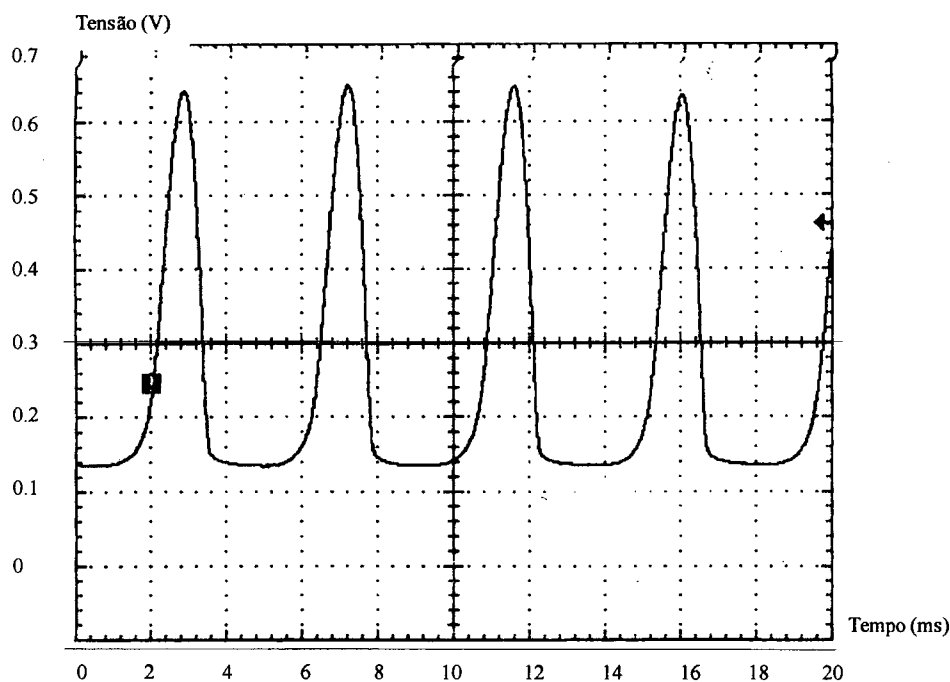


Figura 3.5 – Exemplo de um sinal de saída do circuito sensor

Dentre os sensores óticos encontrados, decidiu-se por utilizar sensores do tipo encapsulados, conforme figura 3.9. Um disco ranhurado é acoplado ao eixo do rotor e colocado de modo a passar pelo sensor, gerando um sinal de tensão senoidal, mostrado na figura 3.5, cuja frequência depende da velocidade do rotor.

Especificação técnica dos diodos:

Emissores –  $V_{m\acute{a}x} = 5V$

$I_{m\acute{a}x} = 100\text{ mA}$

$P_D = 200\text{ mW}$

Ângulo emissão =  $20^\circ$

Temp. Operacional =  $-55\text{ }^\circ\text{C}$  à  $100\text{ }^\circ\text{C}$  para ambos

Detectores –  $V_{m\acute{a}x} = 50V$

$I_{m\acute{a}x} = 50\text{ mA}$

$P_D = 200\text{ mW}$

Ângulo aceite =  $30^\circ$

Conforme mostrado na figura 3.4 o esquema para montagem do circuito é simples, apresentando como dificuldade apenas controlar o nível do sinal de saída, através do ajuste dos resistores R1 e R2 na figura 3.5 e R3 e R4 na figura 3.6.

Para que o instrumento de medição possa indicar a vazão em um dispositivo mostrador que utiliza sinais digitais, torna-se necessário utilizar um circuito para tratamento do sinal. A figura 3.6 mostra o circuito utilizado, que transforma a forma de onda senoidal do sinal numa onda pulsada, com valor mínimo próximo a zero e máximo de 5 VDC, conforme mostra a figura 3.7

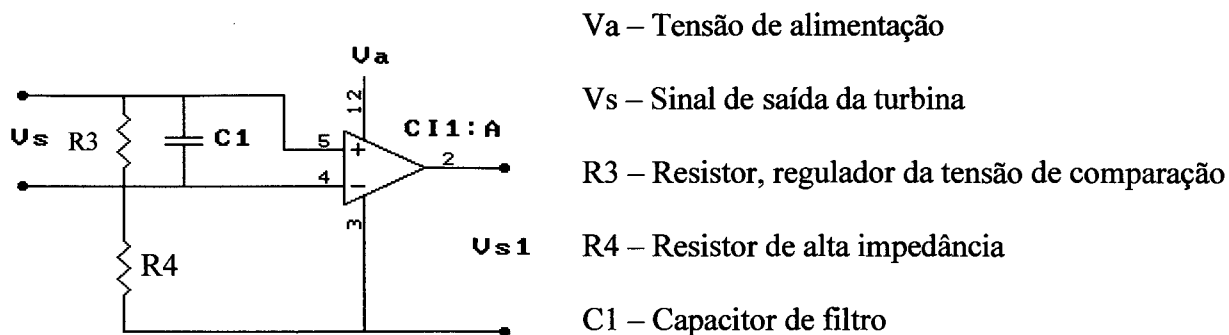


Figura 3.6 – Circuito para tratamento do sinal de saída da turbina

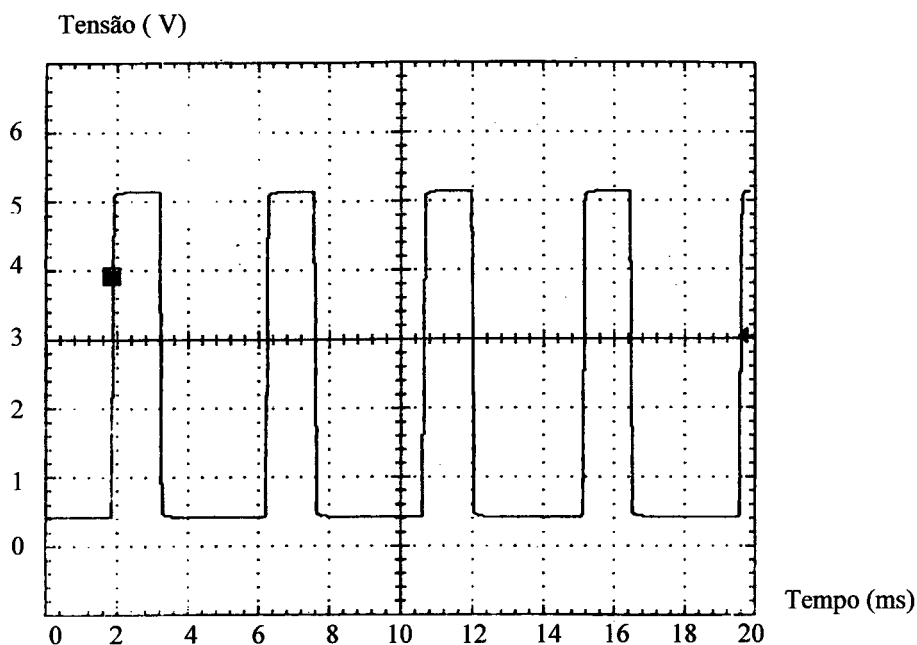


Figura 3.7 – Exemplo de uma forma de onda do sinal com tratamento de sinal

Para converter o sinal de onda pulsado em um número que indique a vazão, foi utilizado um circuito micro-controlado. Uma tabela com os resultados da calibração, vazão e frequência, é inserida no micro-controlador, que comparando o sinal de entrada com os valores da tabela, através de interpolação entre dois pontos, converte os pulsos de entrada num valor digital correspondente à vazão. Este sinal digital é enviado ao display e para um conversor digital analógico de 8 bits, obtendo-se uma saída analógica de 0 à 10 VDC sobre a escala de vazão do instrumento.

O instrumento possui opção para comunicação com microcomputador, visando possibilitar a leitura remota, monitoramento automático da vazão durante a soldagem e medição acumulada da vazão.

Com estas opções, foram desenvolvidos “softwares”, para indicar e monitorar a vazão de gás durante uma soldagem, que geram um arquivo onde após a realização da soldagem, é possível verificar o comportamento da vazão durante um certo período de tempo. A figura 3.8 mostra a tela principal de um “software” desenvolvido.

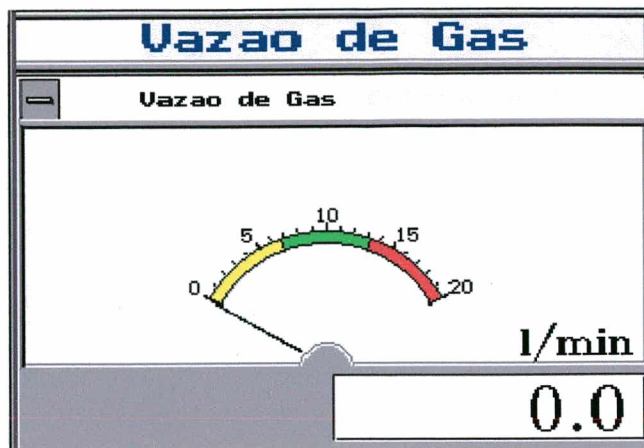


Figura 3.8 – Tela do programa para monitoração da vazão de gás através de computador

#### b) Aspectos mecânicos

Na execução do protótipo, levou-se em consideração alguns critérios para desenvolvimento do sensor tipo turbina. Para confecção da carcaça da turbina, as opções mais comumente encontradas são a partir de aços ou polímeros, porém decidiu-se por utilizar nylon, pois além de tornar a usinagem relativamente fácil, diminuiria os custos com a confecção do sistema. Visando sempre o menor custo para o desenvolvimento do sistema, unido as possibilidades do sistema ser completamente desenvolvido no Labsolda ou com a participação de outros laboratórios da UFSC, o rotor da turbina foi desenvolvido em alumínio, com 12 pás dispostas em um ângulo de  $0^\circ$  em relação ao eixo.

Dentre os mancais apresentados no item 3.2.2, optou-se por utilizar mancais do tipo pivotado, pois segundo literaturas disponíveis, este sistema tem baixo atrito e oferece excelente durabilidade quando o eixo é confeccionado em carbureto de Tungstênio com os suportes em Safira.

Quanto às disposições do rotor, foi adotado o tipo tangencial, pois dentre os sistemas possíveis de serem utilizados para medição com gases, axial e tangencial, o sistema escolhido destina-se à medição de baixas vazões, que é uma importante necessidade na soldagem.

O tamanho inicial da carcaça da turbina, foi determinado em função dos materiais disponíveis, neste caso, uma barra circular de nylon de aproximadamente 7cm de diâmetro. A espessura da parede na ordem de 1cm, foi de acordo com as necessidades para fixação dos espigões de entrada e saída do gás. Restaram internamente 5cm, sendo adotado um espaçamento de 1mm entre a carcaça e o rotor. A figura 3.9 mostra o protótipo desenvolvido.

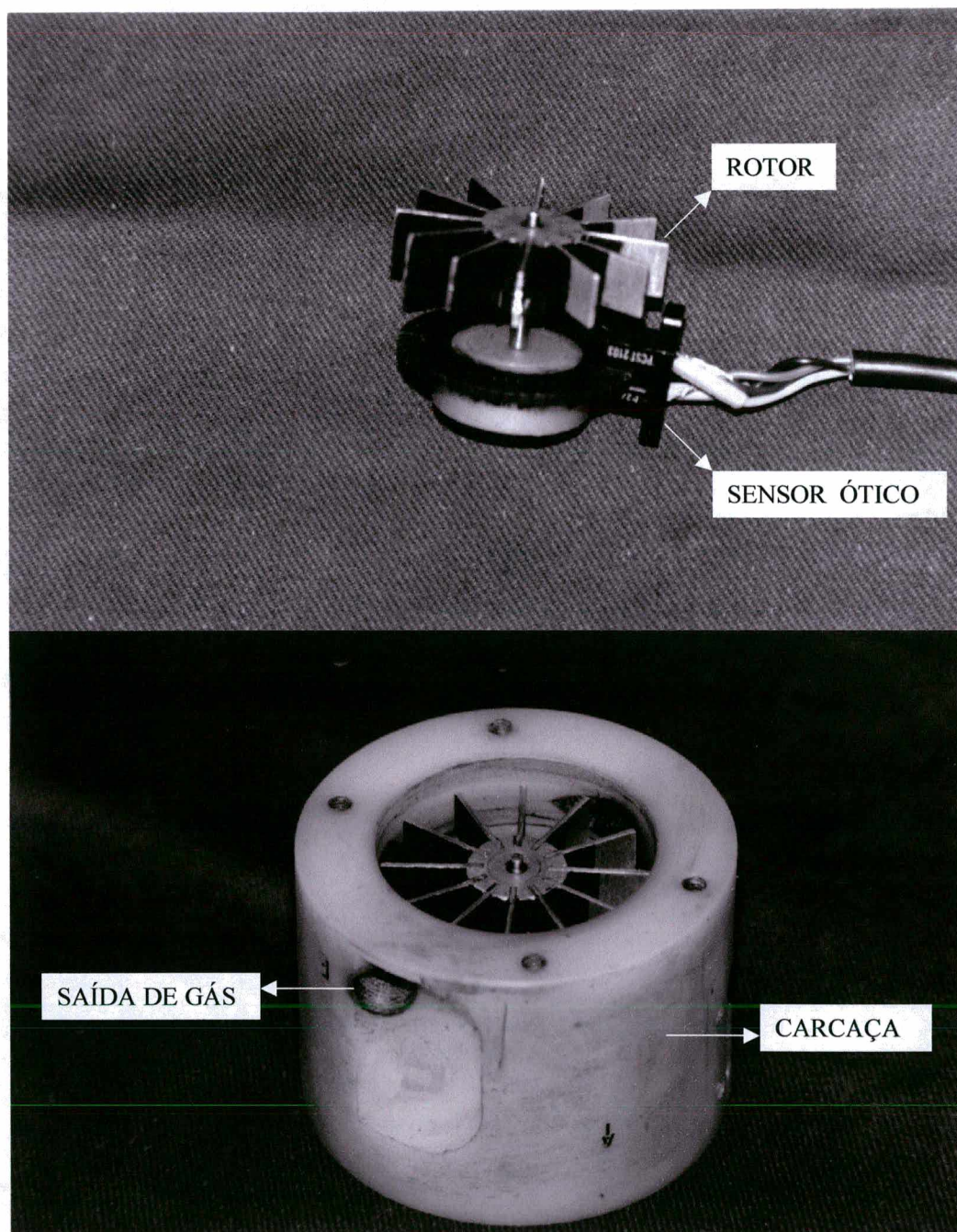


Figura 3.9 – Protótipo do transdutor tipo turbina desenvolvido

#### **3.4.4 – TESTES DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO**

O protótipo mostrado na figura 3.9, foi desenvolvido para operar na faixa de vazão de 3 à 30 l/min, permitindo sua utilização nas soldas MIG, TIG e plasma. Com o protótipo montado, foram realizados alguns testes, principalmente para verificar se o instrumento atenderia as especificações de projeto e a confiabilidade do mesmo. Em relação à faixa de medição do instrumento, o mesmo não conseguiu operar em todas as faixas desejadas, pois se notou dificuldades para o rotor da turbina começar a girar. O sistema desenvolvido só começou a indicar níveis de vazão para valores maiores que 5 l/min, sendo atribuída como causa deste problema, as opções construtivas do rotor. O instrumento apresentou também, pouca confiabilidade, sendo o funcionamento, em alguns casos, por apenas alguns minutos. Neste caso, o principal defeito detectado, que inviabiliza o projeto, foi o desgaste excessivo dos mancais.

#### **3.5 – REAVALIAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO ADOTADOS**

Para possibilitar o desenvolvimento de um instrumento confiável e com grandes possibilidades para comercialização, decidiu-se realizar algumas alterações nos princípios e materiais utilizados. Em relação à forma e rigidez dos mancais, inicialmente desenvolvidos com o eixo em aço inox e os mancais em latão, optou-se por utilizar mancais de bronze grafitado. Embora a opção indicada nas bibliografias é se utilizar o eixo em carbureto de Tungstênio com os mancais em safira, decidiu-se utilizar o bronze grafitado pois economicamente a outra opção torna o desenvolvimento inviável.

O número de pás do rotor foi reduzido para 10, formando um ângulo de aproximadamente 36° entre as pás. O material do rotor foi alterado para plástico e a carcaça da turbina usinada em alumínio, utilizando o sistema de vedação por o-rings. Estas opções, tornaram o rotor mais leve e diminuíram o tamanho inicial da turbina. Foi diminuída a quantidade de pás no rotor,



pois com para colocar as mesmas em ângulo com relação ao eixo, doze pás estariam muito próximas uma das outras. Como a solução adotada foi utilizar dez pás no rotor em ângulo com o eixo, o ângulo de  $36^\circ$  entre as pás foi consequência do projeto. A carcaça da turbina foi usinada em alumínio pois assim consegue-se uma usinagem mais precisa, com níveis de tolerância mais severos. Após estas alterações, foi montado então um segundo protótipo, e realizados os mesmos testes feitos com o primeiro. Em relação a faixa de medição do instrumento, os resultados foram bons, possibilitando operar nas faixas pretendidas pelo projeto inicial, ou seja, 3 à 30 l/min. Entretanto, o rotor aumentou consideravelmente a velocidade de rotação, aumentando muito a frequência e causando novamente desgaste excessivo dos mancais. Neste caso, a principal causa do problema foi a diminuição no peso do rotor, que antes era de alumínio e agora passou a ser de plástico. A figura 3.10 mostra o modelo do segundo protótipo.



Figura 3.10 – Segundo protótipo de transdutor tipo turbina desenvolvido

Como este segundo protótipo também não apresentou confiabilidade, novamente foi proposta alterações no projeto, sendo que a opção adotada nesta etapa foi trocar o tipo de mancal utilizado. Nesta etapa, a usinagem havia melhorado consideravelmente, restando apenas alterar os mancais que efetivamente estavam proporcionando a falta de confiabilidade do instrumento.

Dentre as possibilidades mostradas no item 3.2.2, optou-se por utilizar mancais de rolamento, conforme mostra a figura 3.11, que são mancais que suportam valores de frequência elevados, que foi o principal motivo pelo desgaste excessivo obtido nos mancais tipo pivotados.

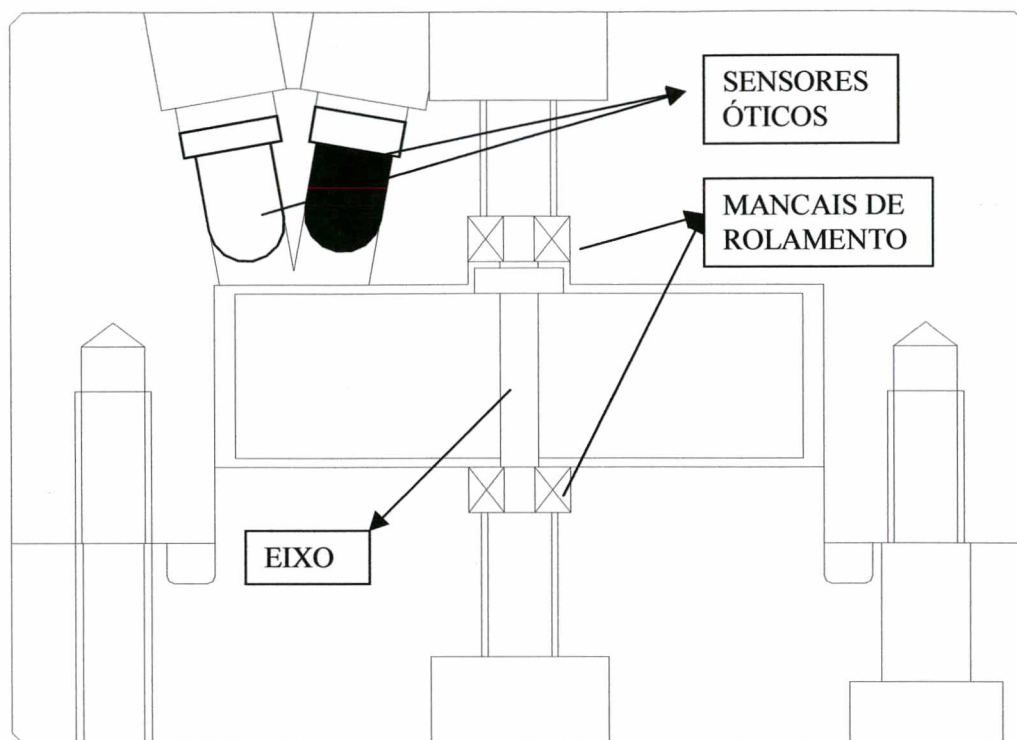


Figura 3.11 – Transdutor tipo turbina com mancais de rolamento

A figura 3.12 mostra o desenho do projeto com detalhe interno da turbina desenvolvida.

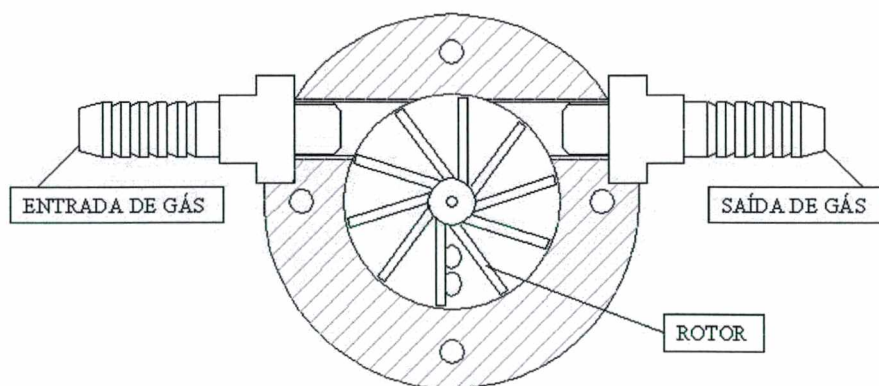


Figura 3.12 – Detalhe da turbina desenvolvida

Este último protótipo apresentou bons resultados, se mostrando um instrumento confiável, pois após ser submetido a um período de 600 horas de funcionamento, à uma vazão de 70% da vazão de fundo de escala do instrumento, os mancais não apresentaram desgaste e a indicação da vazão não sofreu alterações significativas durante este período. A figura 3.13 mostra o comportamento da variação da frequência de saída da turbina, para uma vazão de 15 l/min, durante 24 horas de operação.

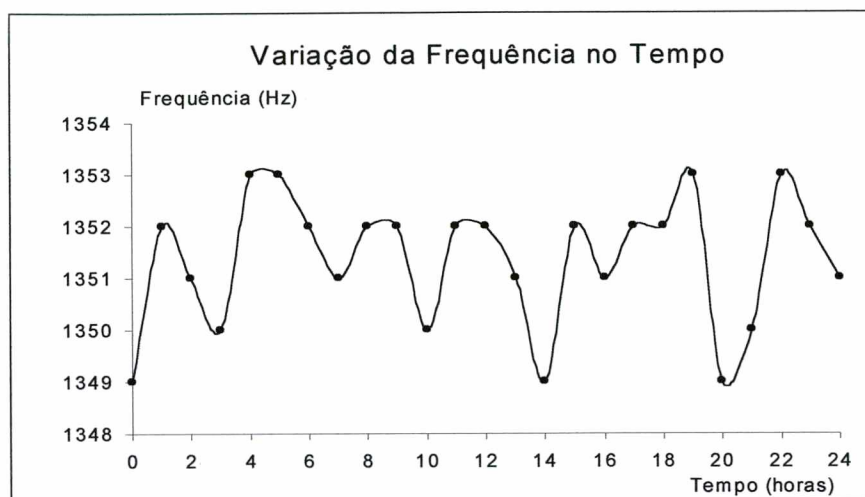


Figura 3.13 – Gráfico da variação da frequência no tempo

#### CARACTERÍSTICAS DO MEDIDOR DE VAZÃO DE GÁS DESENVOLVIDO

Faixas de Medição Padrão	0,3 à 5,0 l/min 3,0 à 30,0 l/min 10,0 à 80,0 l/min
Posição de Trabalho	Vertical
Alimentação	110 / 220 V monofásica
Sinal de Saída	0-10 Vdc ou Pulsos
Dimensões ( largura x altura x prof. )	130 x 60 x 210 mm
Dimensões do Transdutor Tipo Turbina	80 x 30 x 40 mm
Peso total do Instrumento	0,8 kg
Peso do Transdutor	0,1 kg

Portanto, por se mostrar confiável, decidiu-se desenvolver o sistema de medição tipo turbina com base neste último protótipo, sendo que a figura 3.14 mostra uma foto do instrumento desenvolvido.



Figura 3.14 – O instrumento desenvolvido

## **CAPÍTULO 4**

### **PROJETO E MONTAGEM DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS E CALIBRAÇÃO DE FLUXÍMETROS TIPO TURBINA**

Este capítulo trata do projeto de uma bancada de ensaios para calibração de fluxímetros, com sistema de medição padrão que corresponda as exigências do capítulo anterior e rastreado a um laboratório capacitado para calibração de medidores de vazão. Deve-se, portanto, selecionar dentre os sistemas de medição possíveis, o sistema de medição padrão a ser utilizado.

#### **4.1 – ESCOLHA DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO**

##### **4.1.1 – CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO**

Os sistemas de medição tipo turbina, que devem ser calibrados na bancada a ser desenvolvida, possuem as seguintes características:

- Faixa de medição do conjunto de 0,3 à 30,0 l/min
- Os sistemas de medição irão operar com os gases Argônio, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), ar comprimido, Hélio, Oxigênio e Hidrogênio
- A máxima pressão de trabalho do instrumento é de 3,5 bar
- Com referência à temperatura de trabalho, o instrumento deve ser utilizado em ambientes onde a temperatura ambiente não ultrapassa as temperaturas limite inferior e superior dos circuitos integrados utilizados no circuito eletrônico do sistema de medição, ou seja, a temperatura ambiente (Ta) deve estar situada entre  $0\text{ }^{\circ}\text{C} < Ta < 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- Com base na experiência em soldagem, tanto prática como literária, do pessoal técnico do Labsolda, atribuiu-se que um erro máximo de  $\pm 5\%$  no valor da vazão medida, não compromete a qualidade da maioria das soldas realizadas.

Portanto, a partir das características do sistema de medição a calibrar (SMC), que neste caso é o fluxímetro tipo turbina desenvolvido, determinou-se as seguintes características exigidas para o sistema de medição padrão (SMP):

- Com relação a faixa de medição do sistema de medição padrão, este deve operar no mínimo nas faixas de medição especificadas para o sistema de medição a calibrar, ou seja, de 0,3 à 30,0 l/min.

- Para que o valor indicado pelo sistema de medição padrão, possa ser adotado como valor verdadeiro convencional (VVC), é necessário que seus erros sejam sensivelmente menores que os erros esperados para o sistema de medição a calibrar. Embora metrológicamente o objetivo é que o sistema de medição a calibrar tenha a menor incerteza de medição possível, muitas vezes, economicamente pode ser inviável, pois quanto menor a incerteza de medição do sistema de medição padrão, mais oneroso será o mesmo. Portanto, procurando-se buscar o equilíbrio técnico econômico, adota-se como padrão um instrumento que apresenta incerteza máxima não superior a um décimo da incerteza máxima esperada para o SMP. Excepcionalmente, em casos onde é muito difícil ou caro se obter um padrão 10 vezes superior ao SMC, utiliza-se o limite de 1/5 ou até mesmo 1/3 para a razão entre as incertezas do SMP e o SMC /28/.

- O SMP a ser utilizado, deve operar com os fluidos utilizados nos SMC, ou seja, Argônio, Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), ar comprimido, Hélio e Hidrogênio.

- A pressão de operação na entrada do sistema de medição padrão, deve variar desde pressões baixas até a pressão máxima do sistema de medição a calibrar, que é 3,5 bar.

- O SMP fará parte da bancada de calibração a ser montada no Labsolda, e esta deve sempre estar localizada em um ambiente com controle de temperatura, adequando a mesma para as condições de calibração do padrão.

#### **4.1.2 – OPÇÕES DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO PADRÃO NO MERCADO**

Todos os sistemas de medição citados a seguir operam com os fluidos utilizados na soldagem e dentro da faixa de temperatura usual para soldagem. Utilizando-se diferentes fluidos, temperatura ou pressão em relação aos empregados na calibração, os sistemas de medição pistão com selo de mercúrio, rotor semi-submerso e controladores de vazão mássica, possuem mecanismos eletrônicos que corrigem automaticamente a indicação da vazão, enquanto o sistema tipo rotâmetro, necessita a utilização de equações de correção para densidade do fluido, temperatura e pressão. Em relação as faixas de medição, foram especificados mais de um SMP para cada opção, pois se utilizando um único SMP não se consegue cobrir todas as faixas de vazão utilizadas ou então será muito elevada a incerteza de medição do SMC.

##### **4.1.2.1 SISTEMA DE MEDIÇÃO PISTÃO COM SELO DE MERCÚRIO**

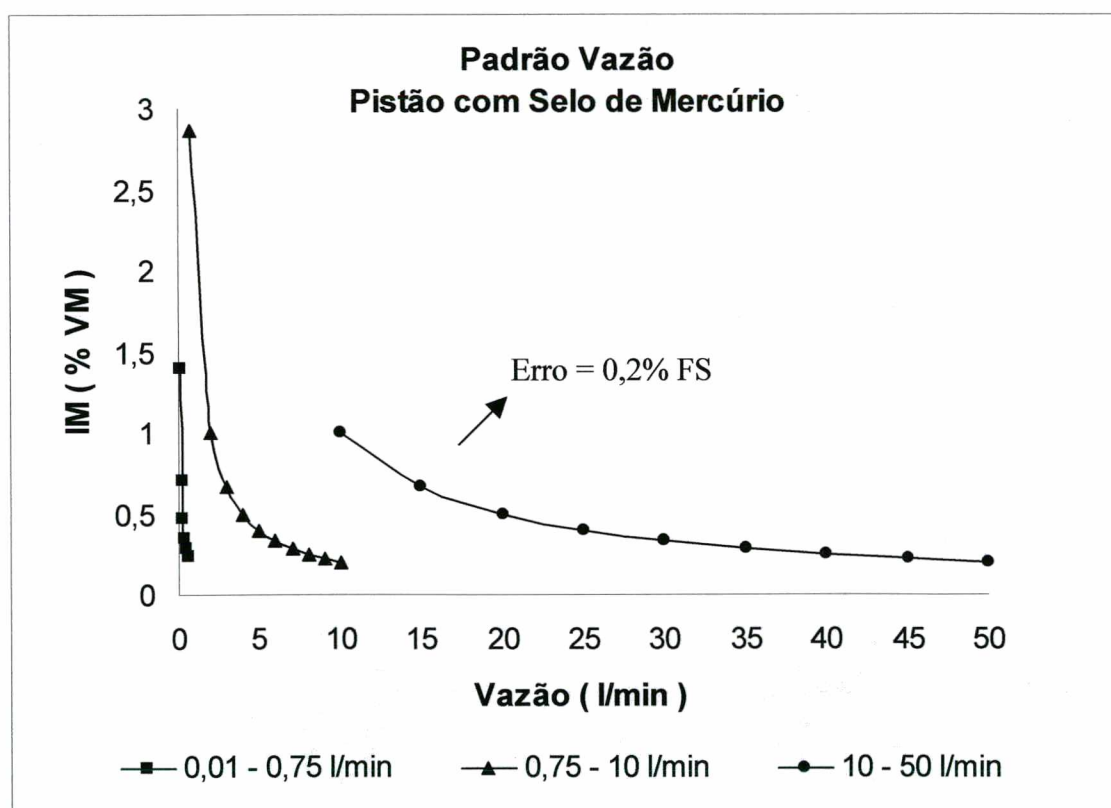
O fluxo de gás passa pelo sistema de medição a calibrar e entra num tubo de vidro de precisão, fechado hermeticamente, onde tem um pistão com selo de mercúrio com baixa fricção. Como o fluxo de gás passa pelo tubo, o pistão se move com uma velocidade que varia de acordo com a vazão do gás. Transdutores a laser medem continuamente a localização do pistão no tubo. O período de tempo de ascensão, é medido por meio de uma base de tempo de quartzo com resolução de 1 microssegundo. O diâmetro e, por conseguinte, a área do tubo, é precisa e conhecida. Isto significa que a distância vertical percorrida pelo pistão em um período de tempo é o deslocamento de volume naquele período de tempo. Um módulo que

acompanha o sistema de medição, calcula a taxa de vazão, dividindo o volume pela unidade de tempo.

A pressão e a temperatura do gás são medidas e com estes valores, o sistema calcula a densidade do gás para as condições de utilização. A vazão mássica, então, é obtida multiplicando-se a taxa de vazão volumétrica pela densidade /31/.

Um sistema de medição completo para calibração, inclui instrumentos com as faixas de medição de 0,01 à 0,75 l/min, 0,75 à 10,0 l/min e 10,0 à 50,0 l/min.

A incerteza de medição deste sistema de medição é baixa, comparada com outros sistemas de medição, conforme mostra a figura 4.1. O sistema de medição é importado e o custo total para compor a bancada de calibração é de aproximadamente R\$ 60.000,00.



FS – Fundo de escala

VM – Valor medido

Figura 4.1 – Incerteza de medição do pistão com selo de mercúrio

a partir de dados do fabricante



#### 4.1.2.2 SISTEMA DE MEDIÇÃO TIPO ROTOR SEMI-SUBMERSO

Este sistema de medição utiliza o princípio do deslocamento positivo, que consiste em passar o fluido a ser medido por uma ou várias câmaras com volume conhecido, dentro de um reservatório com fluido. Ao sistema de medição são acoplados medidores de pressão e temperatura, para que o sistema calcule a densidade do gás nas condições de utilização. Junto a um tambor giratório, um mecanismo com agulha e mostrador de relógio registram o volume de fluxo de gás e o instrumento pode indicar a vazão eletronicamente, através de um módulo opcional /32/. As faixas de medição fornecidas por um fabricante são de 0,3 à 20 l/min e 1,5 à 45 l/min. O erro do instrumento é de 0,2% do valor de referência (VR), que para o sistema de medição até 20 l/min é de 16 l/min e para o instrumento até 45 l/min o valor de referência é 33 l/min, sendo a IM para estes casos mostrada na figura 4.3. O sistema de medição é importado e o custo médio sem o módulo eletrônico é de R\$ 3.600,00.

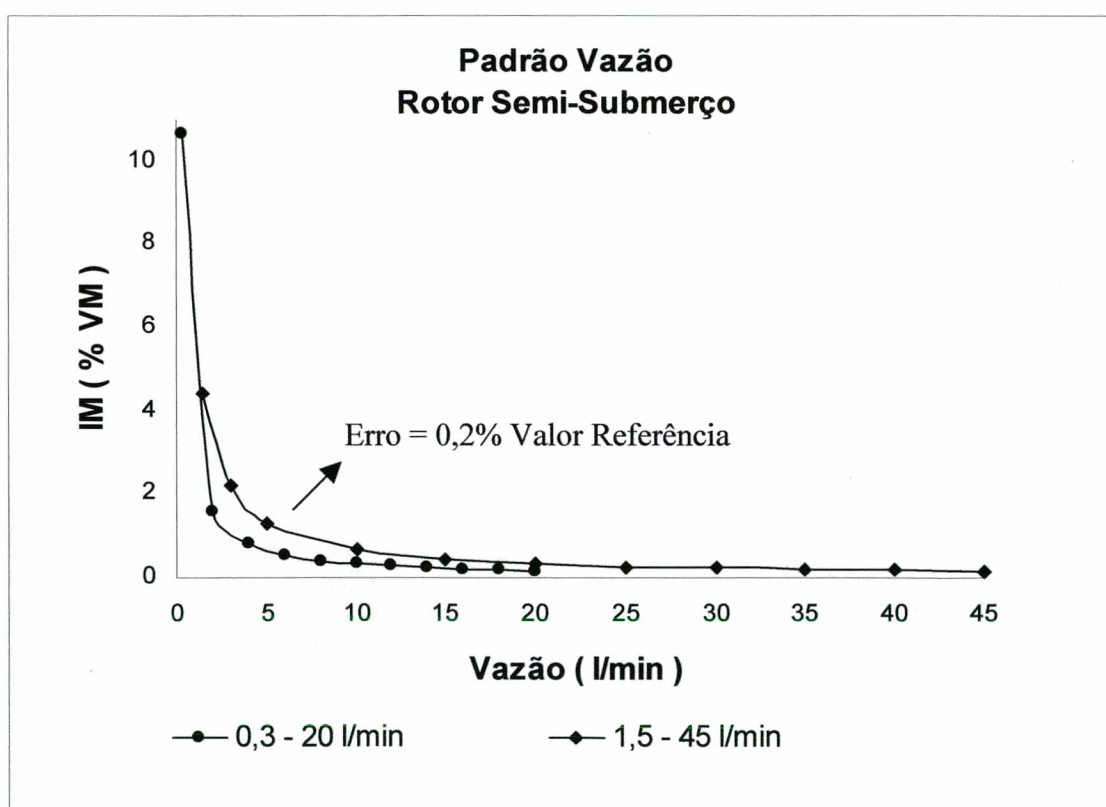


Figura 4.2 – Incerteza de medição do rotor semi-submerço  
a partir de dados do fabricante

#### 4.1.2.3 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO MÁSSICA

Os medidores e controladores de vazão mássica (mass flow meters and controllers), caracterizam-se por fornecer indicação direta da vazão, em massa passante pelo instrumento, o que elimina a necessidade de medições de temperatura e pressão. No caso da indicação do instrumento ser em l/min, a densidade do fluido pode influir na indicação do instrumento. As faixas de medição, encontradas em catálogos e que mais se adaptam as necessidades da soldagem, são de 0,1 à 5,0 l/min e 0,6 à 30,0 l/min, sendo que o Labsolda possui um sistema de medição de 0,1 à 5,0 l/min. A figura 4.4, mostra a incerteza de medição do conjunto, sendo que os instrumentos apresentam erro na medição de 1% do fundo de escala + 2% do valor medido e o custo médio sem o mostrador digital é de R\$ 2400,00.

No caso de se utilizar um gás diferente do especificado pelo instrumento, pode-se utilizar equações de correção, adequando o instrumento para outro gás ou combinação de gases.

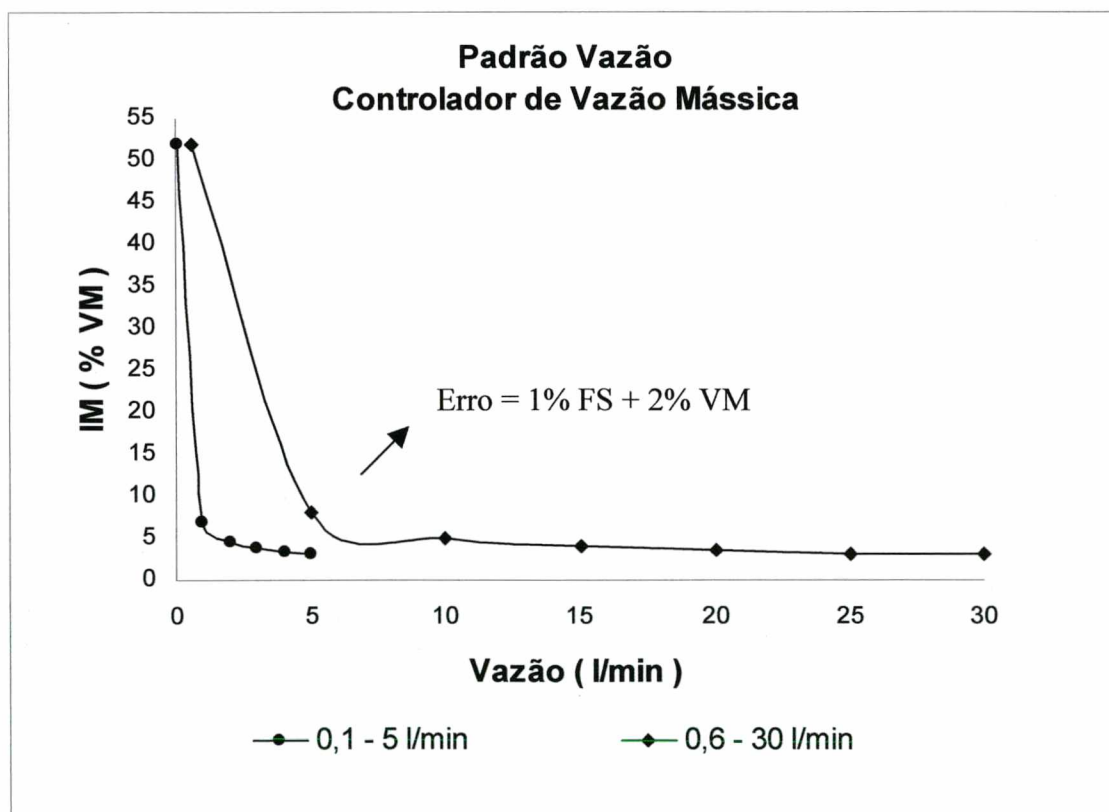


Figura 4.3 – Incerteza de medição dos controladores de vazão mássica a partir de dados do fabricante

#### 4.1.2.4 SISTEMA DE MEDIÇÃO TIPO ROTÂMETRO

Por ser uma solução economicamente viável, embora o erro de medição seja elevado quando comparado com outros sistemas de medição e o mesmo não seja utilizado como padrão em laboratórios e Institutos de pesquisa, resolveu-se considerar também o sistema de medição tipo rotâmetro. Nestes medidores, o fluido escoar em um tubo cônico, vertical, de baixo para cima, na qual há um flutuador. Como o peso do flutuador é constante, o aumento da vazão requer um aumento da área livre de escoamento, uma vez que a perda de carga no flutuador permanece constante. Desta forma, a posição do flutuador é uma indicação da vazão /14/. No caso de alterações na viscosidade do fluido, variações na temperatura ou pressão em relação aos valores de calibração, pode-se utilizar o sistema de medição, porém deverão ser procedidas as correções para ajustar a vazão indicada /16, 29/.

Se a opção escolhida for pelo sistema de medição tipo rotâmetro, pode-se utilizar instrumentos com as faixas de medição 0,2 à 1,2 l/min, 1,0 à 6,0 l/min, 1,4 à 14,0 l/min e 3,0 à 30,0 l/min. Pode-se obter rotâmetros com as mais diferentes faixas de medição, com uma relação entre a vazão máxima e mínima de até 10, porém, foram escolhidas estas faixas de medição, pois o Labsolda, onde será montada a bancada, já possui rotâmetros com faixa de medição de 0,2 à 1,2 l/min, 1 à 6 l/min e 1,4 à 14 l/min. Portanto, sendo esta a opção escolhida, basta adquirir um sistema de medição tipo rotâmetro com a faixa de medição de 3,0 à 30,0 l/min para cobrir toda a faixa requisitada pelo sistema de medição à calibrar (SMC).

O erro de medição destes instrumentos, segundo catálogos de fabricantes, pode ser de 0,5 a 1% fundo de escala (FS) em aplicações especiais, mas normalmente fica situada entre 2 a 10% FS, podendo, no início da escala para os rotâmetros citados chegar a 14% do valor medido, conforme mostra a figura 4.1.

Os rotâmetros são encontrados disponíveis no mercado nacional e o custo médio, que varia de acordo com a incerteza de medição desejada, é de R\$ 350,00 em diante.

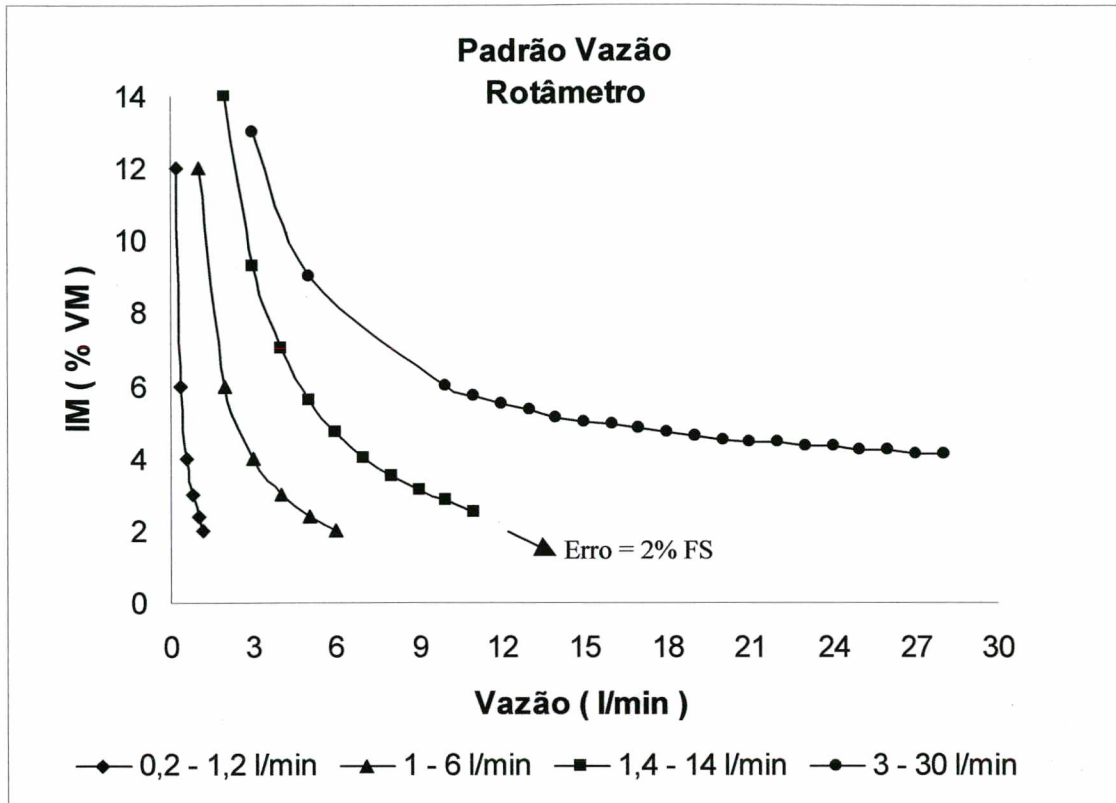


Figura 4.4 – Incerteza de medição dos rotômetros a partir de dados dos fabricantes

#### 4.1.3 – SISTEMA DE MEDIÇÃO PADRÃO ESCOLHIDO

Para escolha do sistema de medição padrão, foram observados os fatores relacionados no capítulo 2, item 2.3. Dentre os fatores de desempenho do sistema de medição, condições de instalação, propriedades dos fluidos utilizados, efeitos ambientais e fator econômico, os que mais influenciaram na escolha do SMP foram o desempenho e o fator econômico. Esta escolha se deve ao fato da necessidade do sistema de medição desenvolvido ser confiável e com baixo custo, possibilitando a comercialização do instrumento.

A figura 4.5 mostra as principais características dos sistemas de medição que podem ser utilizados como padrão, de acordo com as análises apresentadas no item 4.1.2.

SISTEMA DE MEDIÇÃO	Faixa de Medição do conjunto(l/min)	Facilidade de operação	Custo operação / manutenção	Custo inicial R\$	Disponibilidade no mercado	Erro máximo de acordo com dados dos fabricantes	Tendência de implantação como padrão
Rotor Semi-submerso	0,3 à 45	Sem dificuldade Método Rápido	Baixo	3.600	Importado	$\pm ( 0,2\% \text{ do valor referência } )$	Estável Utilizado em todos os laboratórios
Pistão com Selo de Mercúrio	0,01 à 50	Sem dificuldade Método Rápido	Médio	60.000	Importado	$\pm ( 0,2\% \text{ do fundo escala } )$	Estável Utilizado em alguns laboratórios
Controladores de Vazão Mássica	0,1 à 30	Sem dificuldade Método Rápido	Baixo	2.400	Importado	$\pm ( 1\% \text{ fundo escala } + 2\% \text{ valor medido } )$	Pouco utilizado
Rotâmetro	1 à 30	Sem dificuldade Método Lento	Baixo	350	Nacional	$\pm ( 2\% \text{ fundo escala } )$	Não é utilizado

Fig. 4.5 – Considerações sobre os sistemas de medição que podem ser utilizados como padrão na bancada projetada.

A classificação dos sistemas de medição encontrados no mercado, para serem utilizados como padrão, de acordo com os fatores de desempenho e econômicos é mostrada abaixo:

Desempenho	Econômico
1 – Pistão com Selo de Mercúrio	1 – Rotâmetros
2 – Rotor Semi-Submerso	2 – Controladores de Vazão Mássica
3 – Controladores de Vazão Mássica	3 – Rotor Semi-Submerso
4 – Rotâmetros	4 – Pistão com Selo de Mercúrio

Unindo os fatores de desempenho e econômicos, a classificação do sistema de medição para desenvolvimento da bancada de calibração pode ser ordenada da seguinte maneira:

- 1 – Rotor Semi-Submerso
- 2 – Controladores de Vazão Mássica
- 3 – Pistão com Selo de Mercúrio
- 4 – Rotâmetros

Embora de acordo com a classificação citada, o rotâmetro seja o pior sistema de medição para compor a bancada de calibração, sendo utilizado como padrão, este foi o sistema escolhido.

A escolha por este sistema de medição, embora ele não satisfaça completamente os requisitos exigidos para o sistema de medição padrão, e outros sistemas possuem características metrológicas muito melhores, se dá pelo fato deste sistema de medição ser o único acessível de acordo com as possibilidades do curso de Pós-MCI e do Labsolda.

Se fosse optado pelo rotor semi-submerso, que foi o sistema de medição que uniu as melhores características econômicas e de desempenho para ser utilizado na bancada proposta, resultaria num investimento de R\$ 7.200,00, sem levar em conta os gastos com a calibração do padrão.

Na opção por controladores de vazão mássica, embora o Labsolda já possui um instrumento, necessitaria R\$ 3.600,00 mais o custo de calibração. Em relação ao medidor tipo pistão com selo de

mercúrio, além do custo inicial ser muito alto, em torno de R\$ 60.000 não é possível calibrar sistemas de medição tipo turbina somente com os mesmos, sem utilizar um outro sistema auxiliar.

Utilizando o sistema de medição tipo rotâmetro como padrão, o custo para montagem da bancada será muito baixo, possibilitando o desenvolvimento da bancada de calibração. Aliado ao baixo custo do sistema de medição, o Labsolda já possui três rotômetros importados, com incerteza de medição de 2% do fundo de escala, de acordo com dados do fabricante. Deste modo, basta apenas comprar um sistema de medição tipo rotâmetro com faixa de medição até 30 l/min e rastrear os padrões a um laboratório credenciado para completar a bancada.

#### **4.1.4 – PROCEDIMENTO PARA ESCOLHA DO MODELO DO ROTÂMETRO**

Com os três rotômetros que o Labsolda possui, pode-se calibrar instrumentos de medição com vazões até 14,0 l/min e como os sistemas de medição tipo turbina a calibrar podem ser utilizados em vazões até 30,0 l/min, torna-se necessário adquirir um instrumento padrão capaz de fornecer indicações de vazão de 14,0 à 30,0 l/min. Para escolher o fabricante fornecedor do SMP, foram observadas as características incerteza de medição, custo, prazo de entrega e faixa de medição dos instrumentos apresentados. A figura 4.6 mostra estas qualidades dos rotômetros cotados por alguns fornecedores.

A figura 4.7 mostra a classificação dos rotômetros cotados para escolha do fornecedor do sistema de medição padrão, sendo que a ordem de escolha dos instrumentos, segue do melhor para o pior, de cima para baixo. O fabricante A, é o que ofereceu o sistema de medição com melhor incerteza de medição, porém o custo e o prazo de entrega elevado, caso que também ocorre com os fabricantes E, C e D, inviabilizaram a compra com estes fabricantes. Restaram portanto, como opção para fornecer o sistema de medição padrão, os fabricantes B e F. Dentre estes dois, o fabricante B é o que oferece menor incerteza de medição, custo e prazo de entrega, sendo portanto o escolhido para fornecer o SMP.

<b>EMPRESA FORNECEDORA</b>	<b>FAIXA DE MEDIÇÃO (l/min)</b>	<b>ERRO</b>	<b>PREÇO FINAL R\$</b>	<b>PRAZO DE ENTREGA Dias</b>
A	3,0 à 30,0	1% fundo escala	1079	60
B	3,0 à 30,0	1% fundo escala + 3% valor indicado	310	10
C	3,0 à 30,0	2% fundo escala	355	90
D	3,0 à 30,0	2% fundo escala	566	90
E	3,0 à 30,0	2% fundo escala	644	60
F	5,0 à 45,0	5% fundo escala	468	16

Fig. 4.6 – Preços e qualidades metroológicas dos fluxímetros tipo rotâmetros cotados.



INCERTEZA DE MEDIÇÃO	CUSTO	PRAZO DE ENTREGA
A	B	B
C	C	F
D	F	E
E	D	A
B	E	C
F	A	D

Figura 4.7 – Classificação dos rotômetros cotados

## 4.2 – PROJETO E MONTAGEM DA BANCADA PARA ENSAIOS E CALIBRAÇÃO DE FLUXÍMETROS

### 4.2.1 – BANCADA DE CALIBRAÇÃO PARA FLUXÍMETROS TIPO TURBINA

A bancada proposta nesta etapa da dissertação é destinada a calibração de medidores com faixa de indicação não superior à 50,0 l/min. Os instrumentos utilizados possibilitam uma calibração automatizada com baixa incerteza de medição.

O desenho esquemático da figura 4.8 mostra uma bancada desenvolvida para calibração de fluxímetros destinados à medição de vazão de gás e consiste de 3 pistões com selo de mercúrio formando o SMP, 3 controladores de vazão mássica, para gerar uma taxa de vazão constante e o medidor sobre teste /30/.

Esta bancada, mostrada na figura 4.8 é baseada na bancada utilizada por institutos internacionais que são referência como padrão de vazão. No entanto, a montagem de uma bancada deste porte, torna-se inviável, pois depende de um investimento elevado, orçado em torno de R\$ 80.000,00.

Deste modo, partiu-se para o desenvolvimento do projeto e montagem de uma bancada, com os padrões selecionados no item 4.1.3, que foram rastreados ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT).

MFC - Válvulas Controladoras de Vazão

SMC - Sistema de Medição à Calibrar

P - Padrão de Vazão ( Pistão com Selo de Mercúrio )

V - Válvulas de Vazão Direcionais

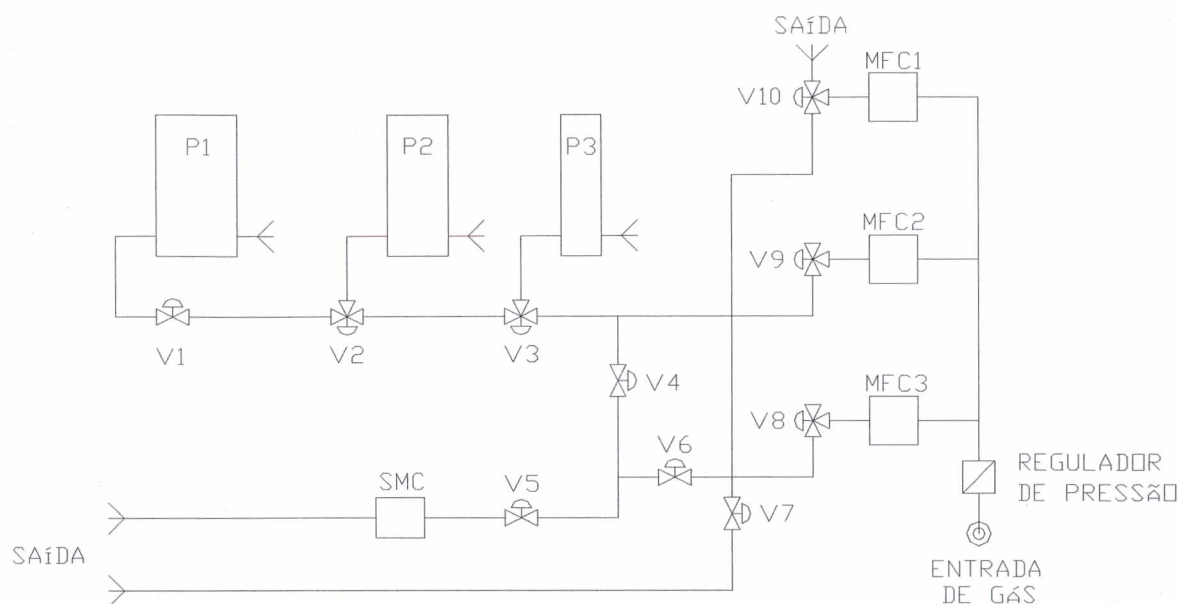


Figura 4.8 - Bancada para calibração de fluxímetros

#### 4.2.2 – DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE CALIBRAÇÃO

Nesta etapa deve-se determinar as diretrizes para projeto e montagem de uma bancada de calibração. Na entrada do alimentador de fluido da bancada de calibração, deve ser instalado um regulador de pressão para que se possa ajustar a pressão de entrada do SMP de acordo com a pressão de trabalho do mesmo. Os padrões utilizados na bancada devem ser rastreados a padrões nacionais, inclusive com certificado de calibração. O sistema operacional para calibração, não pode ser complicado, de modo que possibilite qualquer usuário com o procedimento de calibração em mãos, realizar calibrações na bancada. Os valores das medições efetuadas na calibração devem ser automaticamente inseridos num programa computacional que gere a característica de resposta do instrumento.

A figura 4.9 mostra o diagrama ilustrativo da bancada desenvolvida para realização desta dissertação, e a figura 4.10 mostra uma foto desta bancada.

VG - Válvula de Vazão Direcionais  
 M1 e M2 - Manômetros  
 SMC - Sistema de Medição à Calibrar  
 P - Padrão de Vazão ( Rotâmetro )

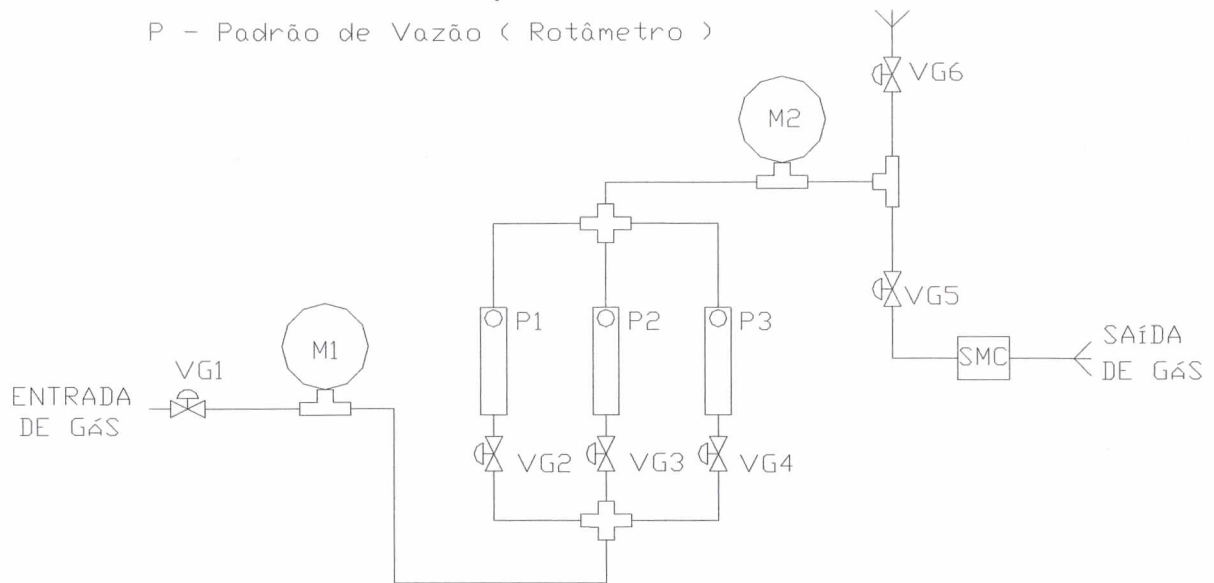


Figura 4.9 - A bancada de calibração desenvolvida

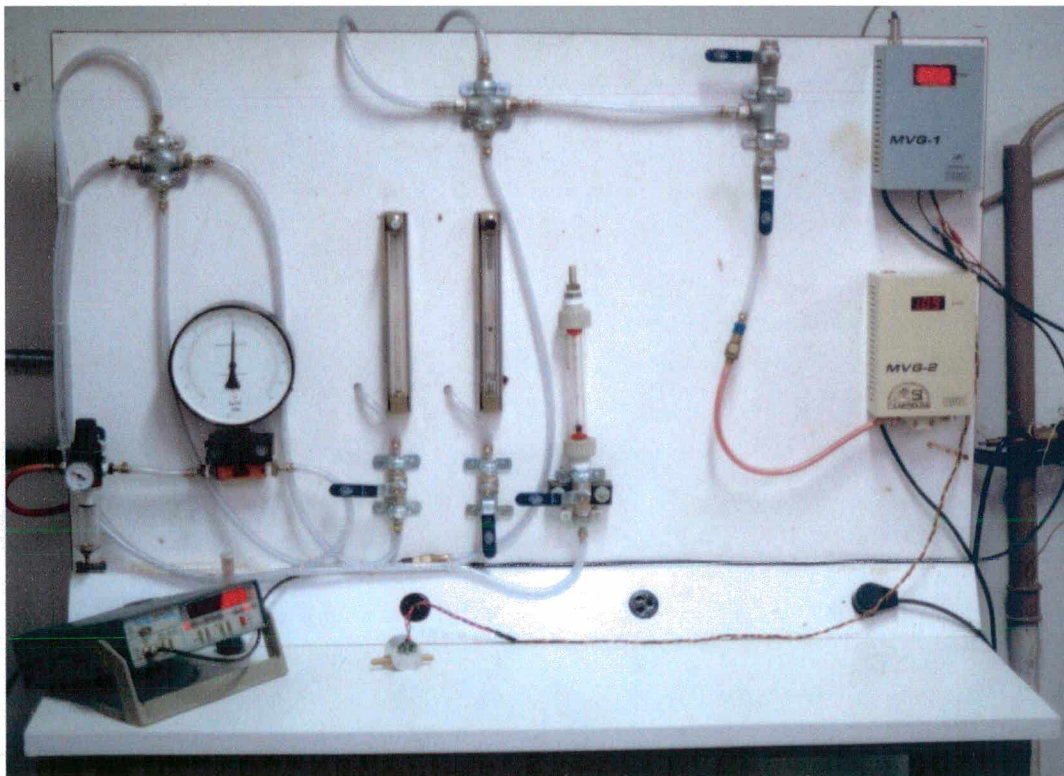


Figura 4.10 - Foto da bancada de calibração desenvolvida

### 4.2.3 – CARACTERÍSTICA METROLÓGICA DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS

O manômetro utilizado para medição da pressão na entrada do SMP foi calibrado na fundação CERTI, sendo que a figura 4.11 mostra o resultado da calibração do mesmo, enquanto a figura 4.12 mostra o resultado da calibração dos rotâmetros utilizados como sistema de medição padrão, realizada no IPT.

SISTEMA DE MEDIÇÃO MANÔMETRO	VALOR INDICADO PELO SMC (bar)	VALOR VERDADEIRO CONVENCIONAL (bar)	CORREÇÃO (bar)	INCERTEZA U <sub>95</sub>
Marca: WIKA	2,00	1,97	-0,03	± 0,02
Número de série: 1014571	2,50	2,48	-0,02	± 0,02
Classe: KI 0,6	3,00	2,98	-0,02	± 0,02
Faixa de operação nominal: 0 à 6,0 kgf/cm <sup>2</sup>	3,50	3,48	-0,02	± 0,02
Resolução: 0,05 kgf/cm <sup>2</sup>	4,00	3,99	-0,01	± 0,02

SMC – Sistema de medição à calibrar  
Padrão Utilizado – Medidor

Figura 4.11 – Calibração do Manômetro

SISTEMA DE MEDIÇÃO ROTÂMETRO	VALOR INDICADO PELO SMC ( l/min )	VALOR VERDADEIRO CONVENCIONAL ( l/min )	CORREÇÃO (Es) (l/min)	INCERTEZA U <sub>95</sub> (%VM)
Fabricante: A	1,0	1,06	0,06	± 0,5
Modelo: D10A6142M	2,0	2,04	0,04	± 0,5
Número de série: 9304N2095/4	3,0	3,02	0,02	± 0,5
Faixa de operação nominal: 1,0 à 6,0 l/min	4,0	4,10	0,10	± 0,5
Resolução: 0,2 l/min	5,0	5,15	0,15	± 0,5
	6,0	6,20	0,20	± 0,5
Fabricante: B	2,0	2,27	0,27	± 0,5
Modelo: D10A6142M	4,0	4,29	0,29	± 0,5
Número de série: 9304N2095/3	6,0	6,29	0,29	± 0,5
Faixa de operação nominal: 2,0 À 14,0 l/min	8,0	8,36	0,36	± 0,5
Resolução: 0,5 l/min	10,0	10,5	0,50	± 0,5
	12,0	12,6	0,60	± 0,5
	14,0	14,5	0,50	± 0,5
Fabricante: C	3,0	5,14	2,14	± 0,5
Modelo: 855/21/22	5,0	7,18	2,18	± 0,5
Número de série: 503369	10,0	12,1	2,10	± 0,5
Faixa de operação nominal: 3,0 À 30,0 l/min	15,0	17,1	2,10	± 0,5
Resolução: 1,0 l/min	20,0	22,3	2,30	± 0,5
	25,0	27,3	2,30	± 0,5
	30,0	32,3	2,30	± 0,5

Padrão Utilizado – Medidor tipo rotor semi-submerso rastreado ao PTB – Physikalisch Technische Bundesanstalt

Figura 4.12 – Calibração dos Rotâmetros Utilizados na Bancada de calibração

### **4.3 – CONSIDERAÇÕES REFERENTES À CALIBRAÇÃO SOBRE O PROJETO DE NORMA ABNT/ISO 9951**

O projeto de norma ABNT/ ISO 9951 /26/, “Medidores de Vazão de Gás em Conduitos Fechados - Medidores tipo Turbina”, no capítulo 8, item 8.2 trata da calibração de medidores de vazão tipo turbina. Segundo o mesmo, deve ser feita uma calibração individual para cada medidor, e o resultado de calibração deve ser avaliado juntamente com um relato das condições sob as quais a calibração aconteceu. Dentre os principais itens citados na norma, cabe destacar:

#### **A) Dados de calibração**

- o erro na vazão mínima ( $q_{min}$ ) e nas seguintes vazões acima de  $q_{min}$ : 0,1; 0,25; 0,4; 0,7 da vazão máxima ( $q_{max}$ ) e em  $q_{max}$ .
- local onde foi realizada a calibração.
- método de calibração.
- a incerteza estimada do método.
- natureza das condições do gás.
- posição do medidor.

B) Condições de calibração, a qual deve ser conduzida em condições as mais próximas possíveis das condições de operação.

C) Condições das instalações de calibração, pois o desempenho do medidor não pode ser afetado pelas condições das instalações de realização do teste.

D) Posição do medidor, que deve ser a posição na qual o medidor é montado para obter o desempenho especificado deve ser escrita de forma explícita.

E) Faixa de temperatura: a faixa de temperatura do fluido para a qual o medidor foi designado a operar dentro do desempenho especificado, deve ser escrita de forma explícita.

Através de várias experiências realizadas com sistemas de medição tipo turbina destinados a medição de vazão de gás na soldagem, utilizados antes da tocha de soldagem, pode-se constatar algumas contrariedades à norma. Quando este tipo de sistema de medição é utilizado na saída da tocha de soldagem, o comportamento do sistema de medição é de acordo com as características citadas na norma, conforme mostra a figura 4.13.

Para realizar os ensaios mostrados na fig. 4.13 e 4.14, foi utilizado um sistema de medição tipo turbina desenvolvido, sendo a frequência indicada obtida diretamente na saída do instrumento. Os valores de vazão referenciados, foram definidos pelo projeto de norma ABNT/ISO 9951, citado no item 4.3.

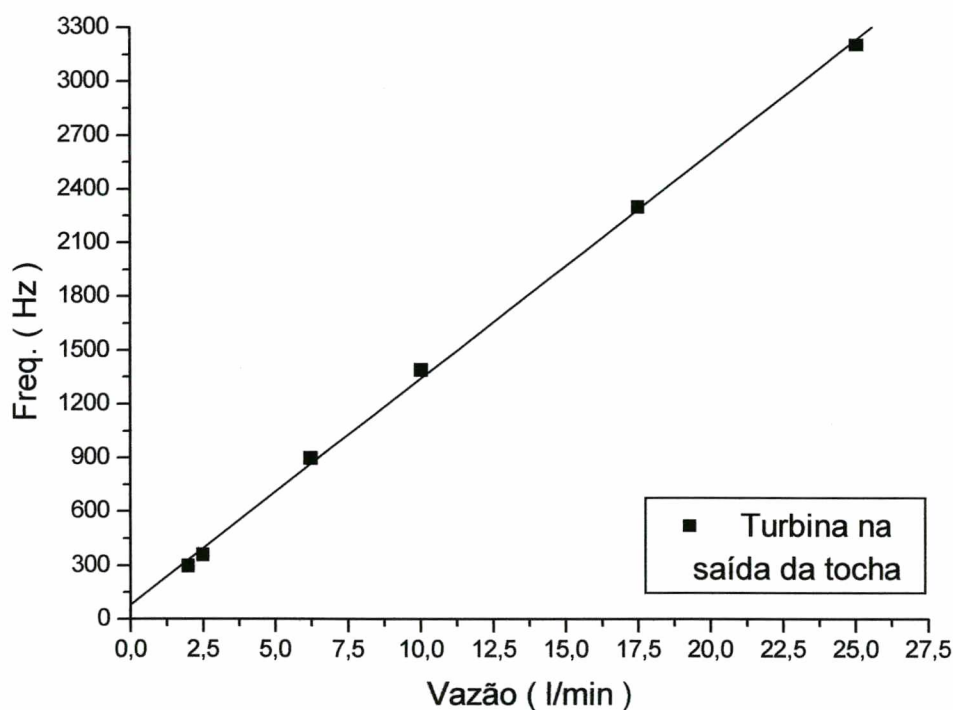


Fig. 4.13 – Comportamento do sistema de medição desenvolvido utilizado na saída da tocha de soldagem

Utilizando-se este sistema de medição antes da tocha de soldagem, permitindo assim monitoração durante a soldagem, observa-se uma forte dependência com a pressão à jusante do medidor, conforme mostra a figura 4.14.

Portanto, deve-se ter um cuidado especial ao se realizar calibrações deste sistema de medição quando instalado antes da tocha de soldagem, evitando assim que a característica de resposta obtida na calibração tenha elevada incerteza de medição em alguns pontos da calibração.

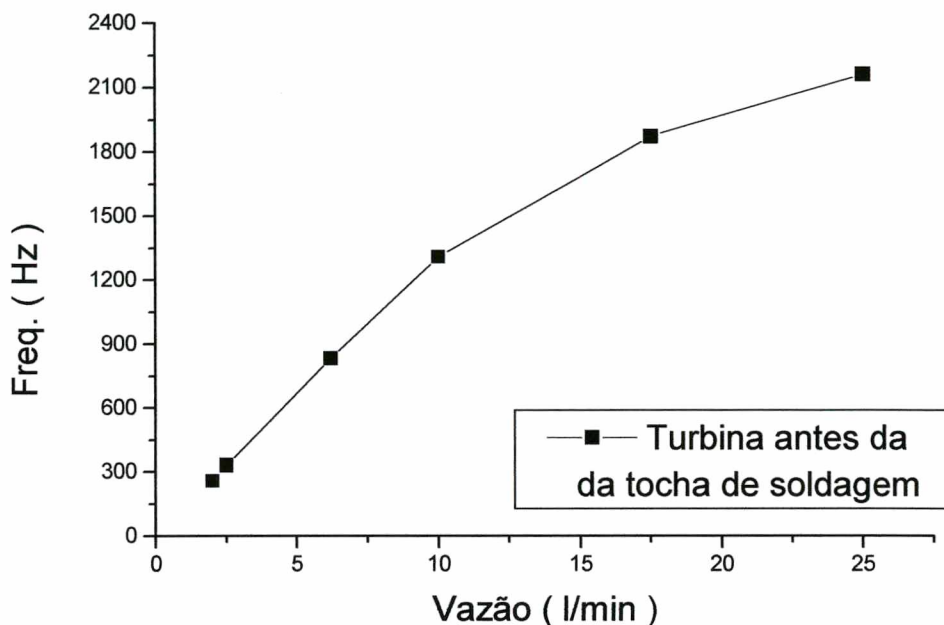


Fig. 4.14 – Comportamento do sistema de medição desenvolvido utilizado antes da tocha de soldagem.

Como soluções para este problema, pode-se utilizar um número maior de medições ou um programa que reconheça qual o processo de soldagem utilizado, e portanto qual a queda de pressão no sistema de medição desenvolvido. A solução adotada e utilizada nesta dissertação, foi utilizar-se um número maior de pontos de medição.

## **CAPÍTULO 5**

### **QUALIFICAÇÃO METROLÓGICA DO FLUXÍMETRO DESENVOLVIDO**

Este capítulo trata da calibração de fluxímetros tipo turbina com a bancada de ensaios desenvolvida, determinando também o procedimento de calibração à ser utilizado para fluxímetros tipo turbina. O capítulo mostra também os parâmetros característicos de um fluxímetro MVG-2, desenvolvido e calibrado com a bancada.

#### **5.1 – CALIBRAÇÃO DE FLUXÍMETROS TIPO TURBINA COM A BANCADA DE ENSAIOS RASTREADA**

Nesta etapa, apresenta-se uma proposta de roteiro global, a ser seguido para a calibração de um sistema de medição tipo turbina MVG-2. Esta proposta deve ser apenas orientativa, devendo ser analisado caso a caso a conveniência de adotar, modificar ou acrescentar as recomendações sugeridas /33/.

##### **5.1.1 – PROCEDIMENTO GERAL DE CALIBRAÇÃO PARA FLUXÍMETROS TIPO TURBINA COM A BANCADA DESENVOLVIDA**

Um procedimento de calibração, deve conter detalhes suficientes para capacitar o operador a executar uma medição sem informações adicionais /34/. O procedimento de calibração adotado para o fluxímetros tipo turbina MVG-2, foi realizado com base no procedimento geral de calibração, adotado pela Fundação CERTI /35/, e os passos adotados para o procedimento de calibração são mostrados a seguir.



Esta proposta deve ser entendida apenas como orientativa, devendo ser analisado caso a caso a conveniência de adotar, modificar ou acrescentar às recomendações sugeridas.

1 – Título: Procedimento de Calibração de Medidores de Vazão Tipo Turbina.

2 – Objetivo: Definir e orientar a execução da calibração de medidores de vazão tipo turbina.

3 – Campo de aplicação: Os medidores de vazão tipo turbina desenvolvidos, serão utilizados principalmente na medição de fluxo de gás na soldagem e os valores de vazão utilizados, compreendem uma faixa de 0,3 l/min à 30,0 l/min.

4 – Documentos de referência e normas utilizadas:

- Projeto de norma ABNT/ISO 9951, “Medição de Vazão de Gás em Conduitos Fechados, Medidores de Turbina”.
- Apostila do curso Qualificação e Certificação de Instrumentos de Medição – CERTI

5 – Terminologia, definições, siglas e abreviações.

- Definições: portaria nº 29, de 10 de março de 1995

- Siglas ou Abreviações

SMC - Sistema de medição à calibrar

SMP - Sistema de medição padrão

MVT - Medidor de vazão tipo turbina

SMP1 - Sistema de medição padrão 1

SMP2 - Sistema de medição padrão 2

SMP3 - Sistema de medição padrão 3

MVG - Medidor de vazão de gás desenvolvido

#### 6 – Equipamentos utilizados na calibração.

Caneta azul ou preta, certificado de calibração do Sistema de medição padrão, manômetros, regulador de pressão, termômetro digital, gás (Argônio, CO<sub>2</sub> ou ar comprimido), tabelas de conversão de escala quando da utilização de gases diferentes do qual o SMP foi calibrado, frequencímetro, programa Excel 5.0 ou superior, microcomputador 386 ou superior, placa de aquisição de dados interdata II e planilha para calibração de MVG com os pontos de calibração previamente preenchidos.

#### 7 – Condições ambientais com influência significativa no resultado de medição:

Para realização da calibração de medidores de vazão de gás tipo MVG com a bancada de calibração desenvolvida, devem ser observadas as condições ambientais abaixo.

A temperatura do gás deve ser de 20°C +/- 1°C

A pressão na entrada do SMP deve ser 3 bar +/- 0,05 bar

Caso as condições ambientais não estejam dentro dos limites acima especificados, a calibração deve ser interrompida, e providências devem ser tomadas para adequar os valores. Não sendo possível, obter valores nos limites citados, excepcionalmente a calibração poderá ser realizada, desde que o desvio seja levado em conta no balanço de incerteza de medição, e desde que este desvio não se torne a fonte de incerteza predominante.

8 – O método utilizado: Para calibração de medidores de vazão tipo turbina até 30,0 l/min, utiliza-se a bancada de calibração, procedendo-se da seguinte maneira:

- a) para calibrar vazões de 1,0 l/min à 6,0 l/min, utilizar SMP1 da bancada, acionando as válvulas de passagem VG1, VG2 e VG5.
- b) para calibrar vazões de 6,0 l/min à 14,0 l/min, utilizar SMP2 da bancada, acionando as válvula de passagem VG1, VG3 e VG5.

- c) para calibrar vazões de 14,0 l/min à 30,0 l/min, utilizar SMP3 da bancada, acionando as válvulas de passagem VG1, VG4 e VG5.

As válvulas globo (VG1, VG2, VG3, VG4 e VG5) e os sistemas de medição padrão (SMP1, SMP2 e SMP3) mostrados na figura 4.9, podem ser facilmente visualizados na bancada, pois estão identificados.

No caso de se utilizar ar comprimido para calibrar os fluxímetros, deve-se utilizar, além dos certificados e curvas de calibração, equações de correção da densidade do gás para o SMP1 e SMP2.

Para cada valor medido, efetuar no mínimo três leituras, sendo os resultados anotados na planilha de calibração.

9 – Análise dos resultados, incerteza de medição e documentação: descrever os critérios para análise e aceitação dos resultados. Descrever as fontes de incerteza e procedimento geral para determinação das incertezas de medição, bem como as planilhas de cálculo.

A análise da calibração deve seguir algumas recomendações, considerando-se bons os resultados, quando a diferença entre a maior e a menor indicação para um mesmo ponto de medição for menor ou igual a 3 vezes a resolução adotada para a calibração. Caso isto não se verifique, deve-se fazer uma análise crítica dos resultados e analisar o estado do fluxímetro tipo turbina.

Os resultados das medições, devem ser apresentados da seguinte forma,

- a) para cada ponto de medição apresentar a média aritmética das indicações do sistema de medição a calibrar (SMC).
- b) para cada ponto de medição, deve ser calculada a incerteza ( $U_{95}$ ).

Após preenchida a planilha de calibração, imprimir duas cópias, guardando uma em arquivo e enviando a outra ao cliente.

### 5.1.2 – VALIDAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

Para validação do procedimento de calibração adotado, foi realizada a calibração de um fluxímetro MVG-2 desenvolvido e após esta etapa, foi repassado o procedimento de calibração para outra pessoa realizar a operação de calibração. Com o procedimento em mãos, o operador que nunca tinha utilizado a bancada, conseguiu realizar a calibração com sucesso.

A figura 5.1 mostra uma das planilhas de leituras resultante da calibração do fluxímetro MVG-2 desenvolvido. Nesta planilha, a leitura do sistema de medição padrão, já esta com o valor corrigido de acordo com as condições ambientais do ensaio e as curvas de calibração. Realizaram-se 4 ciclos de medição, para calcular então a média das indicações, tendência, desvio padrão, incerteza padrão, incerteza combinada e expandida.

LABSOLDA													
PLANILHA DE LEITURAS						Calibração para MVG-2						Folha: 1 de: 5	
SMC:	MVG-2	No. de série A001				Data: 16/08/98			Temp. Ambiente				
SMP:	Rotâmetro F&P - 1,0 à 6,0 l/min (CO <sub>2</sub> )					Hora: 08:30			22 ± 1 °C				
"t" Student:	3,182												
Executor: Adriano Maurici													
Pontos de Medição	Leitura do SMP (l/min)	Sistema de Medição à Calibrar						MI média (l/min)	Tendência (-correção) (l/min)	Desvio Padrão s	Incerteza Padrão (Tipo A) u	Incerteza Combinada Uc	Incerteza Expandida U <sub>95%</sub>
		1o. ciclo (l/min)	2o. ciclo (l/min)	3o. ciclo (l/min)	4o. ciclo (l/min)	MI média (l/min)	Tendência (-correção) (l/min)						
1,0	2,8	2,9	2,8	2,9	2,9	2,875	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
2,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,0	3,075	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
3,0	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,375	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
4,0	3,5	3,6	3,6	3,6	3,5	3,575	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
5,0	3,8	3,8	3,9	3,9	3,8	3,850	0,050	0,058	0,029	0,1471	0,297		
6,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,175	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
7,0	4,3	4,4	4,4	4,3	4,4	4,375	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
8,0	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,675	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
9,0	4,8	4,9	4,8	4,9	4,9	4,875	0,075	0,050	0,025	0,1464	0,296		
10,0	5,1	5,1	5,2	5,1	5,1	5,125	0,025	0,050	0,025	0,1464	0,296		
11,0	5,3	5,3	5,4	5,4	5,3	5,350	0,050	0,058	0,029	0,1471	0,297		
12,0	5,6	5,6	5,6	5,6	5,5	5,575	-0,025	0,050	0,025	0,1464	0,296		
13,0	5,8	5,9	5,8	5,9	5,7	5,825	0,025	0,096	0,048	0,1520	0,307		
14,0	6,1	6,1	6,1	6,2	6,1	6,125	0,025	0,050	0,025	0,1464	0,296		

Fig. 5.1 - Exemplo de uma das Planilhas de Leitura Utilizadas

A figura 5.2, mostra uma das tabelas com os resultados do procedimento de calibração, indicando valor convencional, valor nominal, correção, resultado corrigido e incerteza de medição  $U_{95}$ .

## TABELA DE RESULTADOS DO PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO

No do Ponto	SMP - Valor Convencional	Valor Nominal	Correção	Resultado Corrigido	$U_{95}$ ± [ l/min ]
1	2,8	2,9	-0,075	2,8	+ 0,3
2	3,0	3,1	-0,075	3,0	+ 0,3
3	3,3	3,4	-0,075	3,3	+ 0,3
4	3,5	3,6	-0,075	3,5	+ 0,3
5	3,8	3,9	-0,050	3,8	+ 0,3
6	4,1	4,2	-0,075	4,1	+ 0,3
7	4,3	4,4	-0,075	4,3	+ 0,3
8	4,6	4,7	-0,075	4,6	+ 0,3
9	4,8	4,9	-0,075	4,8	+ 0,3
10	5,1	5,1	-0,025	5,1	+ 0,3
11	5,3	5,4	-0,050	5,3	+ 0,3
12	5,6	5,6	0,025	5,6	+ 0,3
13	5,8	5,8	-0,025	5,8	+ 0,3
14	6,1	6,1	-0,025	6,1	+ 0,3

$U_{95}$  = Incerteza de medição, correspondente a um nível de confiança de aproximadamente 95%.

Fig. 5.2 - Exemplo de uma das Tabelas com Resultados do Procedimento de Calibração

A figura 5.3 mostra o gráfico da tendência e das incertezas positiva e negativa em relação à vazão. Após calculada a média das indicações, o resultado corrigido, desvio padrão, Incerteza padrão tipo A, deve-se determinar todas as fontes de incerteza que afetam o sistema de medição MVG-2 e a partir destes dados calcula-se a incerteza combinada, incerteza expandida para cada ponto de medição do sistema MVG-2. O maior valor de incerteza padrão tipo A encontrado é utilizado para juntamente com a incerteza padrão para cada fonte de incerteza determinada, calcular a incerteza combinada e a expandida máxima do sistema desenvolvido. A média das indicações (MI) é obtida somando-se o valor medido em cada ciclo, dividido pelo número de ciclos de leitura para um determinado ponto de medição.

Como na prática não se dispõe de infinitas medições para calcular os erros sistemáticos ( $E_s$ ) de um sistema de medição, o  $E_s$  calculado com um número restrito de medições é apenas uma estimativa do  $E_s$  e se chama de Tendência ( $T_d$ ) do instrumento de medição.

$$T_d = MI - VVC$$

A incerteza padrão tipo A ( $u$ ) calculada pela análise estatística de uma série observações é dada como sendo o desvio padrão dos valores medidos dividido pela raiz quadrada do número de observações efetuadas.

$$u = s / \sqrt{n}$$

“s” - desvio padrão.

“n” - número de observações.

A incerteza padronizada combinada ( $U_c$ ) é o parâmetro para expressar quantitativamente a incerteza do resultado de uma medição, sendo obtida por meio dos valores de várias outras grandezas e igual a raiz quadrada da soma de termos ponderados de acordo com quanto o resultado da medição varia com mudanças nestas grandezas.

Embora  $U_c$  possa ser universalmente usada para expressar a incerteza de um resultado de medição, é necessário dar uma medida de incerteza que define um intervalo em torno do resultado da medição com o qual se espera abranger uma extensa fração da distribuição de valores que poderiam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. Esta medida adicional de incerteza é denominada incerteza expandida ( $U$ ) e é obtida multiplicando-se  $U_c$  por um fator de abrangência  $k$  /28, 33, 34/.

$$U = U_c * k$$

A figura 5.4 mostra as fontes de incerteza envolvidas na calibração do sistema de medição tipo turbina, com a bancada de calibração desenvolvida. Também mostra o resultado da incerteza total combinada e da incerteza de medição total expandida para o sistema de medição padrão de 1 à 6 l/min.

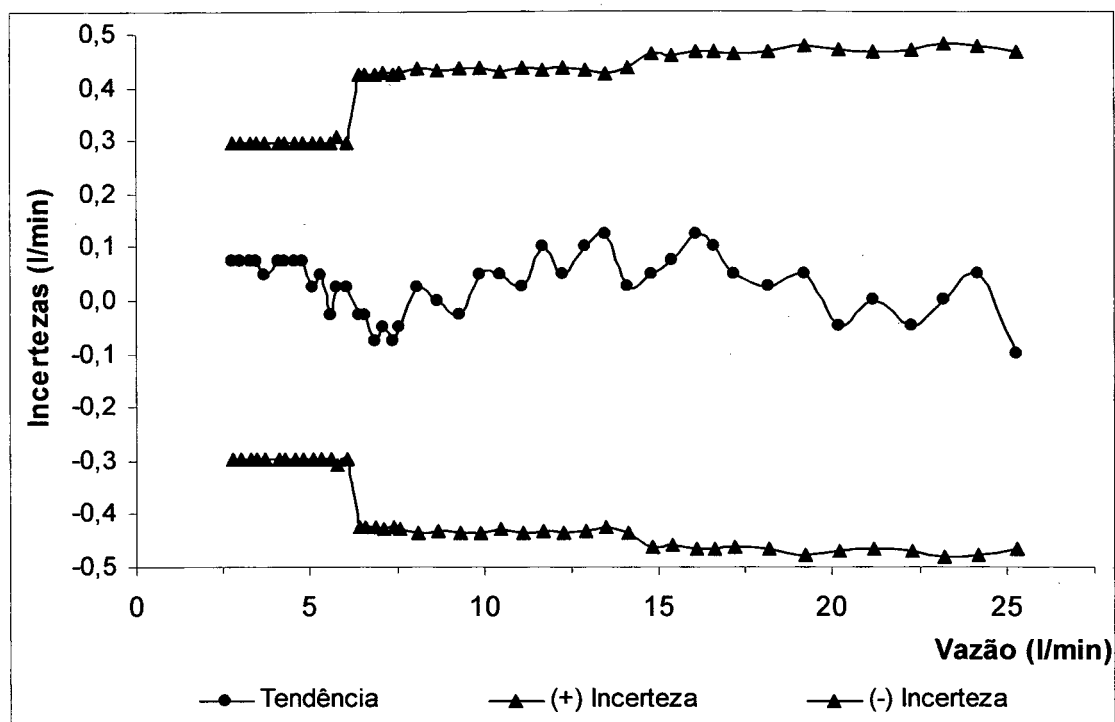


Fig. 5.3 – Gráfico das Incertezas Expandida (+) e (-) e da Tendência

Fontes de incerteza para o MVG-2 (medidor de fluxo de gás)  
SMP - Rotâmetro F&P 1 à 6 l/min

Item	Componentes de Incerteza		Distribuição de Probabilidade		Incerteza Padrão $U_i$ (l/min)	Grau de liberdade
	Fontes de Erro	Unidade (l/min)	Tipo de Distribuição	Divisor		
1	Incerteza Tipo A (ensaio)	0,048	normal	1,000	0,048	3
2	Incerteza do SMP - U95%	0,0305	normal	2,000	0,015	2
3	Resolução do SMP (rotâmetro)	0,1	retangular	1,732	0,058	infinito
4	Resolução do SMC (MVG-2)	0,1	retangular	1,732	0,058	infinito
5	Incerteza no cálculo va vazão p/ display	0,0547	retangular	1,732	0,032	infinito
7	Erro na medição da frequência	0,012	retangular	1,732	0,007	infinito
8	Incerteza do manômetro - U95%	0,0153	retangular	1,732	0,009	infinito
9	Resolução do manômetro	0,019	retangular	1,732	0,011	infinito
10	Incerteza na medição da temperatura	0,039	retangular	1,732	0,023	infinito
11	Erro de linearidade da Saida Analógica	0,19	retangular	1,732	0,110	infinito
12	Drift de temperatura do conjunto	0,02	retangular	1,732	0,012	infinito

Incerteza Combinada	normal	$U_c = 0,152$	297,556
Incerteza Expandida	( $k=2,02$ )	$U_{95\%} = 0,307$	

$$U_c \text{ em [ l/min ]} = 0,2$$

$U_{95}$  em [%] = 10,7 Início da faixa  
 $U_{95}$  em [%] = 4,9 Fim da faixa

Figura 5.4 - Determinação da Incerteza de Medição

Como se pode ver na fig. 5.4, a incerteza de medição expandida do MVG-2 calibrado, utilizando-se o SMP com faixa de medição de 1 à 6 l/min e fator de abrangência  $k=2,02$  é de 10,7% do VM (valor medido) no início da faixa de medição e de 4,9% do VM no fundo de escala. Para o SMP com faixa de medição de 1,4 à 14 l/min, os valores da incerteza correspondem à 6,7% do VM no início da faixa utilizada e 3% do VM no final da faixa de medição do instrumento. Em relação ao SMP com faixa de medição de 3 à 30 l/min, a incerteza de medição é de 3,3% do VM no início da faixa de medição utilizada e de 1,9% do VM no fundo de escala.

A incerteza de medição expandida máxima prevista no projeto é de 5%, e conforme os resultados obtidos na calibração, a incerteza total máxima é aproximadamente 100% maior do que a prevista.

Para solucionar este problema, deve-se procurar reduzir as maiores fontes de incerteza que atuam no sistema de medição em questão. Conforme pode ser visto na fig. 5.4, a maior fonte de incerteza envolvida no sistema de calibração é devido ao sistema de medição padrão utilizado. Portanto, para diminuir consideravelmente a incerteza do sistema de medição calibrado, deve-se optar por outro sistema de medição padrão.

## **5.2 – PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DO SISTEMA DE MEDIÇÃO TIPO TURBINA DESENVOLVIDO**

Dentre as principais características dos instrumentos de medição, citadas no capítulo 3, algumas foram determinadas e calculadas para o sistema MVG-2 calibrado.

A faixa de indicação é de 0 à 99 l/min e a faixa de medição de 2 à 30,0 l/min.

A resolução do instrumento é de 0,1 l/min e quanto a resposta dinâmica, o instrumento atinge o regime em aproximadamente 5 segundos, para uma vazão de 15 l/min.



### 5.2.1 – LINEARIDADE

A linearidade de um instrumento indica o quanto o seu desempenho, quando trabalhando em sua faixa efetiva de medição, difere do ideal. Com relação à linearidade do sistema de medição MVG-2, realizada pelo método dos mínimos quadrados, tem-se que o maior erro entre a reta de referência e a reta linearizada é de 0,2 l/min. Portanto, a incerteza máxima observada para linearidade foi de +/- 3,2 % do fundo de escala, conforme mostra a figura 5.5.

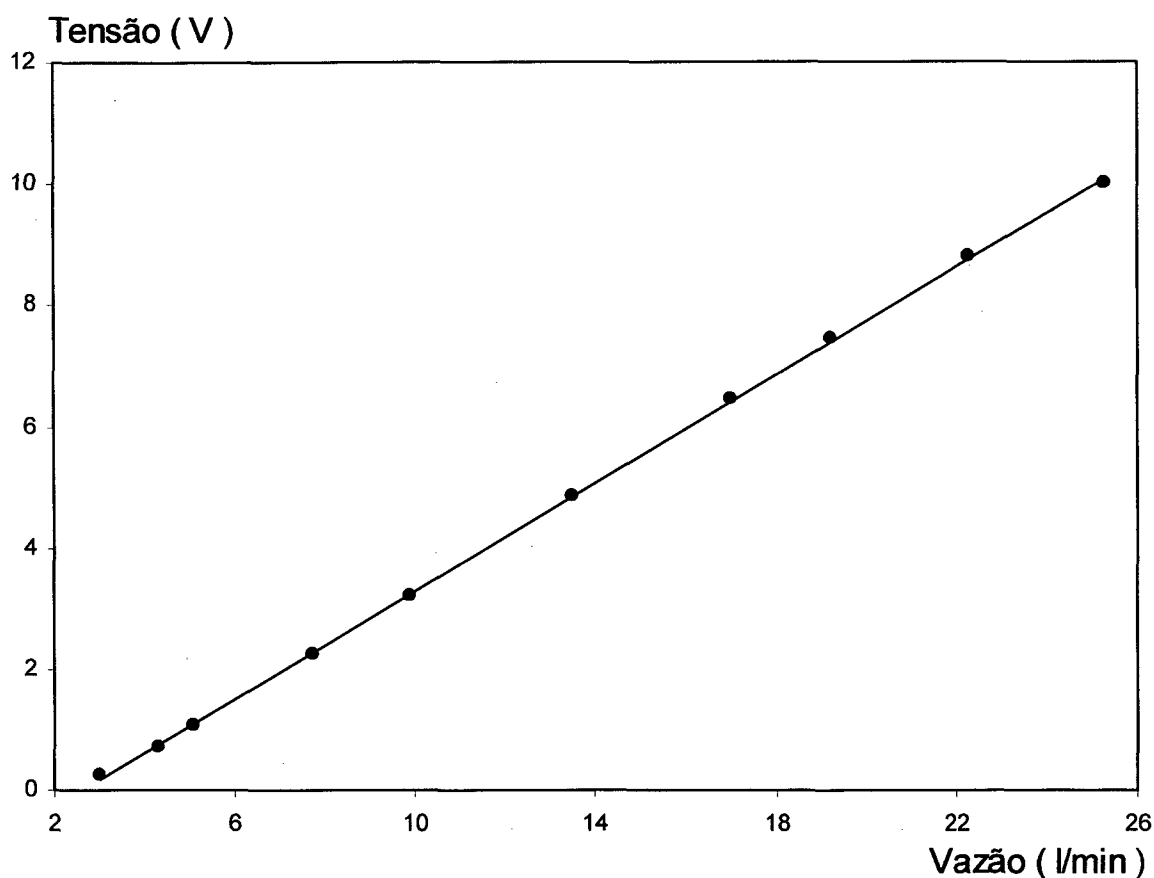


Fig. 5.5 – Gráfico de Linearidade do Sistema de Medição à Calibrar

### 5.2.2 – INDICE DE DESEMPENHO DO MEDIDOR, FATOR K

Um outro fator importante a ser determinado, é o fator K ou sensibilidade do sistema de medição. Como visto anteriormente, a frequência de saída do sensor é proporcional à vazão, de forma que é possível, para cada turbina fazer o levantamento do coeficiente de vazão K,

que é o parâmetro que expressa a calibração da turbina, expresso em ciclos por unidade de volume /16/. O fator K, portanto, é um termo utilizado para se avaliar o desempenho de medidores como turbinas, por exemplo, cujo sinal de saída é disponível na forma de uma série de pulsos elétricos. Quanto mais o gráfico resultante se aproximar de uma linha horizontal reta, mais perto de um desempenho ideal estará o medidor /36/.

A figura 5.6 mostra o comportamento do fator K em relação ao aumento da vazão para o sistema de medição MVG-2 calibrado.

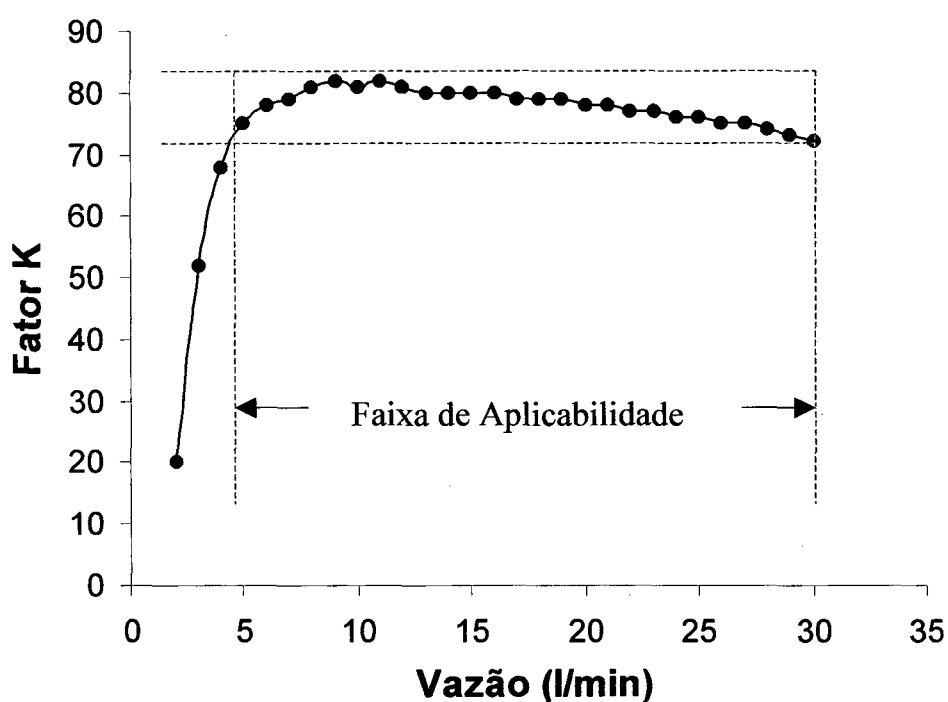


Fig. 5.6 – Curva de Sensibilidade do Sistema de Medição

Portanto, como pode ser visto na figura 5.6, a curva de sensibilidade do fluxímetro desenvolvido, compreende uma faixa de valores de vazão, na qual o fator K torna-se estável dentro de certos limites. Esta é a faixa de aplicabilidade do instrumento, quando a calibração do sistema de medição é determinada em função do fator K. A não linearidade em relação ao fator K na faixa inicial da vazão, se deve devido ao comportamento dos sistemas de medição tipo turbina na partida do rotor.

## **CAPÍTULO 6**

### **DESEMPENHO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DESENVOLVIDO**

Neste capítulo, é feita uma análise do desempenho do fluxímetro desenvolvido, com relação a influência de grandezas externas e comparando-o com características de catálogos de fabricantes de fluxímetros. Através dos resultados de desempenho do sistema de medição, conclui-se sobre a validade do projeto, citando possíveis desenvolvimentos de melhoria, para tornar o instrumento ainda mais competitivo no mercado.

#### **6.1 – GRANDEZAS EXTERNAS QUE INFLUENCIAM NO DESEMPENHO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DESENVOLVIDO**

##### **6.1.1 – VARIAÇÕES DE TEMPERATURA**

As mudanças de temperatura podem causar mudanças na sensibilidade do instrumento, devido a expansão ou contração térmica dos componentes do medidor /37/. Foi portanto, realizada uma análise do comportamento do sistema de medição variando-se a temperatura ambiente. A figura 6.1 mostra o ensaio, realizado com três ciclos de medições, na vazão de 12 l/min, para temperaturas variando de 23 à 50 °C.

Para esta variação de temperatura, constatou-se uma variação percentual máxima no valor indicado pelo sistema de medição de 2,3%.

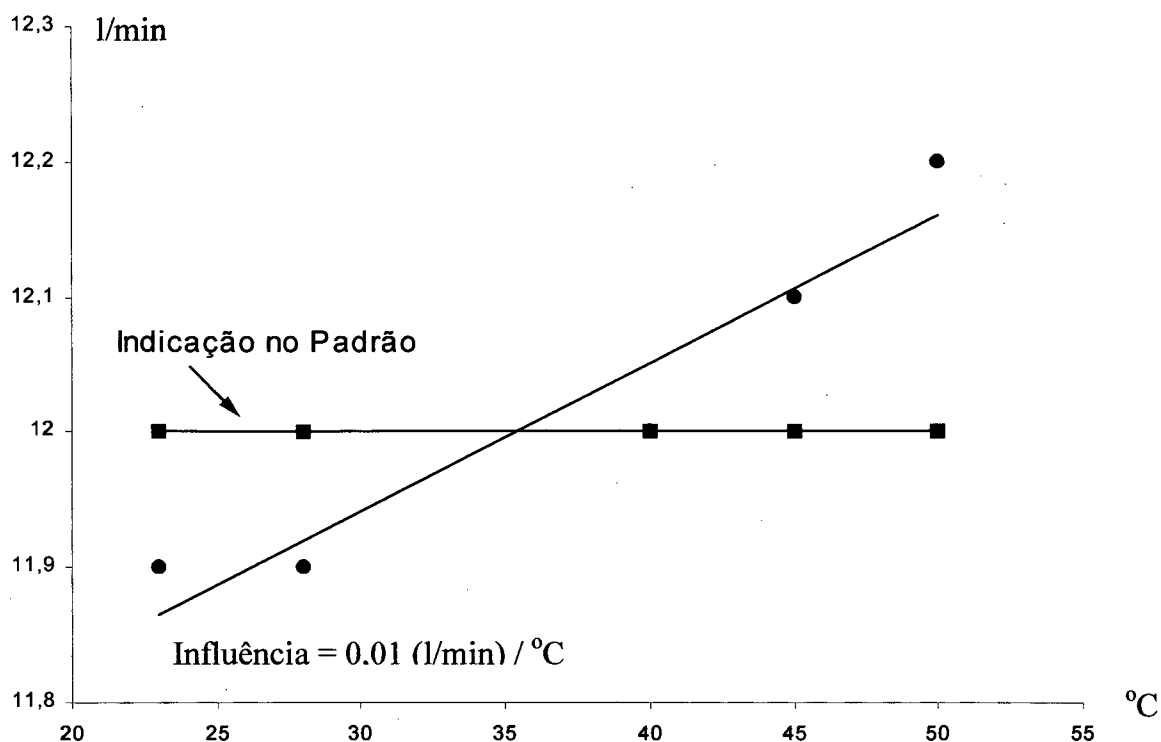


Figura 6.1 – Gráfico da vazão em relação a variação da temperatura

### 6.1.2 – VARIAÇÕES NA PRESSÃO À JUSANTE

Como o sistema de medição desenvolvido foi projetado para ser utilizado em vários processos de soldagem, que utilizam tochas de soldagem diferentes, torna-se importante conhecer o comportamento do sistema de medição para cada processo de soldagem. Um fator importante a ser observado, é que cada tocha de soldagem causa uma diferente perda de carga a jusante do sistema de medição. A figura 6.2 mostra o comportamento da indicação da vazão pelo sistema de medição desenvolvido, em relação aos processos de soldagem MIG, TIG e plasma. Assim, como cada processo proporciona diferentes valores de perda de carga, ou seja, diferentes valores de pressão a jusante do sistema de medição, pode-se verificar o comportamento do sistema de medição para variações na pressão a jusante. Pelos resultados, mostrados na figura 6.2, nota-se que a perda de carga a jusante do sistema de medição afeta muito o comportamento da frequência do rotor, ou seja, afeta a vazão volumétrica, que está sendo medida pelo transdutor. Em relação a pressão a montante do sistema de medição, ficou

constatado através de experiências, que a mesma também afeta as indicações de vazão. Entretanto, não foi realizado nenhum ensaio mais específico, pois o instrumento foi projetado para operar com pressão de entrada regulada. Esta regulagem, para a soldagem é normal, pois na saída do cilindro alimentador de gás, encontra-se um regulador de pressão. Estas citações, comprovadas na figura 6.2, vem de encontro a equação de estado dos gases ideais ( $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$ ), que relaciona o volume de um fluido com a temperatura e a pressão atuante sobre o fluido.

$$(P \cdot V) / T = m \cdot R = \text{Cte.}$$

$$\rho = (m / V) = P / (R \cdot T)$$

$$q_m = \rho \cdot q_v \quad q_m - \text{vazão mássica}$$

$$q_v - \text{vazão volumétrica}$$

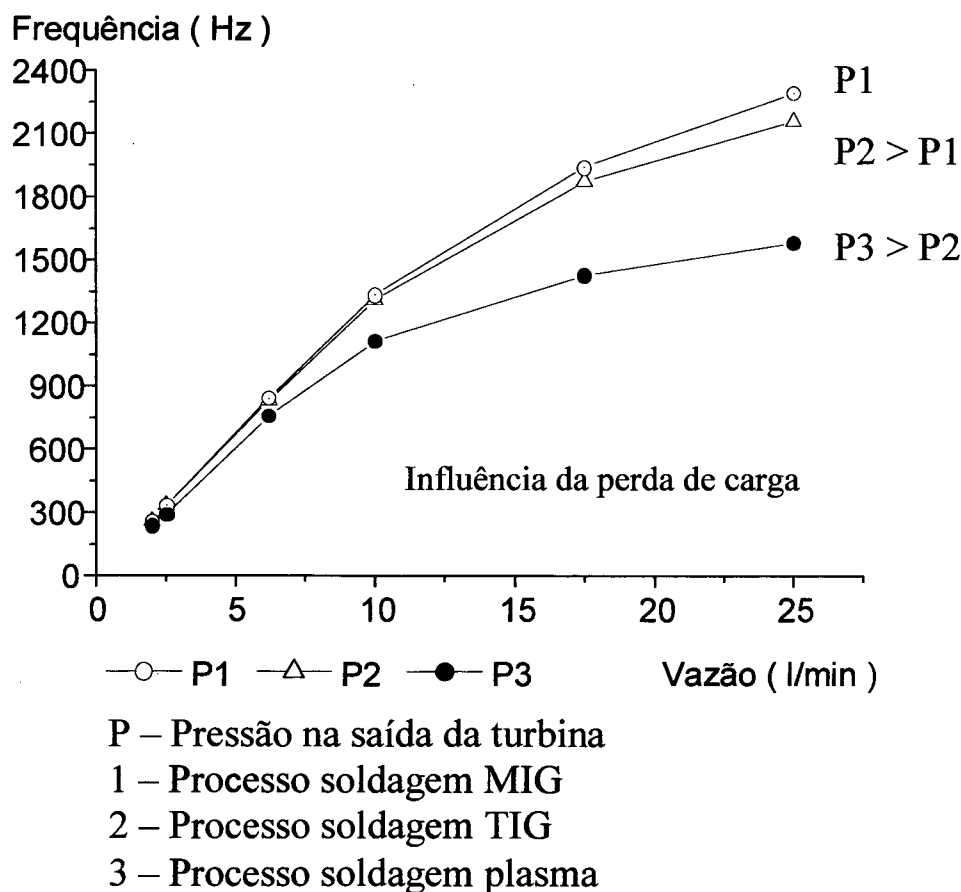


Figura 6.2 – Comportamento do sistema de medição para diferentes processos de soldagem

Tendo-se a temperatura constante, pode-se verificar que o aumento da pressão proporciona diminuição na vazão de saída, ou seja, diminui a frequência do sinal de saída.

### **6.1.3 – EFEITOS DA DENSIDADE**

Conforme experimentos realizados no Labsolda, a massa específica exerce influencia sobre o funcionamento do medidor tipo turbina desenvolvido somente para baixas vazões. Este fato se deve, porque enquanto a energia disponível for grande em relação a força de retardamento causada por atrito nos mancais, as mudanças na densidade do fluido tem uma influência limitada sobre o sinal de saída do medidor /37/. Portanto, o ideal é utilizar o sistema de medição com o mesmo fluido para qual o medidor foi calibrado, evitando assim, possíveis erros na medição quando o sistema de medição for utilizado em baixas vazões.

## **6.2 – ANÁLISE COMPARATIVA**

É importante fazer uma análise comparando o desempenho do sistema de medição desenvolvido com o desempenho esperado no projeto e também com outros fluxímetros semelhantes. Como principais critérios de projeto, já citados anteriormente, tem-se faixa de medição esperada de 0,3 à 30,0 l/min, incerteza de medição em torno de 5%, operação em temperaturas até 70 °C e possibilidades de operar com os fluidos Argônio, CO<sub>2</sub>, ar comprimido, Hélio e Hidrogênio. Dentre as principais características de desempenho do sistema de medição desenvolvido, os resultados obtidos, não condisseram com o esperado, na característica referente a incerteza de medição. Neste caso, o desempenho obtido com o sistema de medição desenvolvido, embora não esteja de acordo com o esperado em projeto, não compromete a qualificação do sistema de medição quando utilizando-se as soldagens MIG, TIG ou plasma. Porém, ao se utilizar o sistema de medição com o processo de soldagem microplasma, onde pequenas variações na vazão de gás tendem a afetar consideravelmente o

resultado da solda, podem ocorrer alterações na qualidade da solda resultante. O sistema de medição pode operar normalmente com os fluidos utilizados na soldagem e em temperaturas dentro dos limites dos circuitos integrados utilizados, operando normalmente de acordo com o projeto. Em relação a faixa de medição do sistema de medição, o instrumento pode operar desde vazões de 0,3 l/min até 40,0 l/min.

Comparação entre as qualidades metrológicas apresentadas por um fabricante de sistemas de medição tipo turbina, e o desempenho obtido com o sistema de medição desenvolvido.

Especificação técnica do fabricante A /38/:

- erro de 1% do fundo de escala;
- sinal de saída em pulsos quadrados, com frequência de 0 à 2500 Hz;
- indicador totalizador;
- saída analógica opcional;
- alimentação através de baterias;

Comparando com o desempenho do sistema desenvolvido, pode-se dizer que o sistema de medição desenvolvido, medidor de vazão de gás MVG-2, tem bom desempenho, sendo que a única característica que o sistema deixa a desejar, inviabilizando sua utilização onde se requer precisão na medida, é referente a incerteza de medição.

### **6.3 – PONTOS DE MELHORIA**

Embora o sistema de medição desenvolvido apresentou confiabilidade e boa aceitação, sendo utilizado em indústrias e universidades, deve-se salientar que o mesmo pode e deve ser melhorado, obtendo assim maior confiabilidade e melhores qualidades metrológicas. De acordo com os resultados obtidos e a experiência adquirida no desenvolvimento do sistema de medição tipo turbina MVG-2, pode-se citar alguns pontos de melhoria que podem vir a contribuir com o sucesso cada vez maior deste instrumento.

a) Em relação ao projeto mecânico

- 1) alterações no material do rotor. Em alguns instrumentos desenvolvidos, o rotor do sistema de medição tipo turbina, apresentou dificuldades para partir com vazões inferiores a 0,4 l/min. Portanto uma solução para este problema é tornar o rotor mais leve.
- 2) alterar o sistema de entrada e saída do fluxo de gás na turbina. Como o sistema de medição, anteriormente projetado para operar até 30,0 l/min, foi solicitado para ser utilizado em vazões até 50,0 l/min, ocorreu que o tamanho dos espigões neste caso teve que ser consideravelmente aumentado. Portanto uma opção interessante, seria utilizar um único espigão de entrada que atendesse estas necessidades complementares.
- 3) reprojeter a carcaça da turbina. Ao montar a turbina, é necessário realizar um ajuste dos mancais para cada turbina montada, operação que em alguns casos pode levar algumas horas. Portanto, diminuir os níveis de tolerância de fabricação pode eliminar este trabalho, facilitando a montagem de cada turbina, e fazendo com que as mesmas tenham comportamento semelhantes umas das outras.

b) Em relação ao projeto eletrônico

- 1) alterações no software. Para que o instrumento possa ser utilizado em todos os processos de soldagem, sem que o operador tenha que utilizar uma equação para corrigir o valor indicado, o instrumento pode ter gravado a característica de resposta para cada processo de soldagem em vez de um único processo de soldagem. Deste modo o operador pode escolher qual o processo de soldagem a ser utilizado e o software corrige os valores para o processo de soldagem escolhido.



- 2) utilização com baterias. Outra opção importante que pode ser incorporada ao sistema de medição é o funcionamento através de baterias.
- 3) valor acumulado. Atualmente o sistema de medição apresenta valores acumulados somente através da indicação por computador, necessitando portanto um computador 286 ou superior para tal finalidade. Pode-se desenvolver alterações para que o valor acumulado em um determinado período de soldagem seja mostrado no display do próprio sistema de medição MVG-2.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÃO

O desenvolvimento da pesquisa, realizado no contexto do curso de Pós-MCI (Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial) no Labsolda (Laboratório de Soldagem do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina), partiu da necessidade de indústrias e pesquisadores terem sistemas de medição, metrologicamente qualificados, para monitoração do fluxo de gás na soldagem.

Dos sistemas de medição atualmente empregados, muitos não possuem possibilidades de comunicação com sistemas de aquisição de dados computadorizados, não permitem medição de vazão acumulada e não tem qualificação metrológica. O sistema de medição de vazão de gás tipo turbina MVG-2, permite monitoramento e controle do parâmetro de soldagem vazão de gás, proporcionando diminuir os custos de um processo, reduzir a poluição do local de trabalho com emissão excessiva de gases na atmosfera, tornar o processo mais produtivo e de melhor qualidade, facilitando a reprodução de uma solda. Portanto, este desenvolvimento foi de grande importância tecnológica, permitindo o desenvolvimento de novas pesquisas na soldagem, viabilizando um instrumento que permite o monitoramento da vazão de gás, determinando os valores mais adequados de vazão para cada procedimento. O sistema de medição desenvolvido apresentou boa confiabilidade, sendo compatível e com custo muito inferior a outros similares.

Com destaque aos novos conhecimentos adquiridos, pode-se citar os processos de soldagem de um modo geral, sistemas de medição de fluxo de gás, desenvolvimento de instrumentos aplicados a medição de fluxo de gás na soldagem, e principalmente na área de metrologia,

com destaque as características dos instrumentos de medição, padrões e calibração de sistemas de medição.

Este desenvolvimento, portanto, vem contribuir principalmente para o estudo de técnicas e procedimentos de soldagem. Além de grande importância para a soldagem, necessidade para qual foi desenvolvido, o sistema de medição também pode ser utilizado em outras áreas onde necessita-se utilizar medidores de fluxo.

Os resultados obtidos, com erro de medição na faixa de 2,5% do fundo de escala, foram de acordo com as expectativas, pois na pesquisa, conseguiu-se desenvolver um sistema de medição com confiabilidade e que atende na maioria dos casos os requisitos metrológicos exigidos nos processos de soldagem.

O custo do instrumento desenvolvido, é muito inferior, se comparado aos similares importados, e as qualidades, embora em alguns casos inferiores aos importados, não comprometem o desempenho do sistema de medição desenvolvido. Comprovando a validade do sistema de medição desenvolvido, com sua contribuição para a soldagem, pode-se citar a utilização do mesmo, para fins de pesquisa e medição aplicada na soldagem, em várias universidades e empresas do Brasil e também no exterior.

A partir do sistema de medição desenvolvido, que tem custo na faixa de R\$ 1000, institutos de pesquisa que utilizam métodos precários de medição de vazão, podem passar a utilizar este sistema, desenvolvendo com maior confiabilidade os procedimentos de soldagem, ao menos no que se refere a variável vazão de gás.

Com relação ao objeto da pesquisa, pode-se promover um aprimoramento do fluxímetro desenvolvido, melhorando ainda mais as características de confiabilidade e qualidade, tornando o sistema bastante competitivo no mercado.

Uma ação importante é melhorar as características metrológicas do sistema de medição desenvolvido, diminuindo os erros envolvidos na medição da vazão. Neste caso, os resultados

obtidos para o erro de medição do fluxímetro, são em grande parte afetados pelo sistema de medição padrão utilizado, portanto, é importante o desenvolvimento de uma bancada de calibração com padrões mais adequados, diminuindo assim o erro de medição do instrumento e melhorando suas qualidades metrológicas, tornando-se cada vez mais competitivo no mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /01/ DUTRA, J. C. **Tecnologia da Soldagem a Arco Voltáico**  
QUITES, A. M. Florianópolis – SC, Edeme, (1979)
- /02/ CUNHA, J. A. **A Influência dos Gases de Proteção no Regime de**  
GRUNDMANN, J. **Transferência Metálica em Soldagem**  
XXI ENTS – Caxias do Sul - RS, pg. 513 à 524,  
Associação Brasileira de Soldagem – ABS, (1995)
- /03/ HOULDCROFT, P. T. **Welding Process Technology**  
Cambridge University Press,  
London, pg. 1 à 15, (1979)
- /04/ WAINER, E. **Soldagem Processos e Metalurgia**  
BRANDI, S. D. Editora Edgard Blucher Ltda. (1995)  
DE MELLO, F. D. H.
- /05/ APPS, R. L. **Welding Process and Applications**  
Inst. Mech. Eng. And Welding institute,  
London, Março, (1970)
- /06/ MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**  
(1996)

- /7/ BENNET, B. **Gases for TIG and Plasma arc Welding**  
Welding & Metal Fabrication, pg. 335 à 336, July, (1990)
- /8/ DE PAULA Jr. O. S. “Desenvolvimento e aplicação da soldagem plasma pela técnica keyhole”, Dissertação de mestrado, UFSC, Brasil, (1997)
- /9/ AWS **Welding Process**  
Welding Handbook, eighth edition, (1991)
- /10/ ARTIGO **Plasma-Arc Cutting and Welding**  
Revista Welding & Fabrication, pg. 23 à 55, (1992)
- /11/ PEREIRA M. T. **O Estado da Arte na Metrologia de Vazão de Gás**  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. , Instec, Agosto 1992
- /12/ SIGHIERI, L.  
NISHINARI, A. **Controle Automático de Processos Industriais**  
Instrumentação. Editora Edgard Blücher Ltda.  
São Paulo – SP, segunda edição, (1980)
- /13/ PEREIRA M. T. **Laboratórios para Avaliação de Medidores de Vazão**  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

- /14/ PEREIRA M. T. **Uso Racional de Energia na Indústria Nº 3**  
Procedimentos de Medição. IPT – Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
- /15/ ABNT **Medidor de Vazão de Fluidos - Classificação**  
CE – 4:05.10. Rio de Janeiro, ( 1987 )
- /16/ DELMEE, G. J. **Manual de Medição de Vazão**  
Edgard Blucher, São Paulo, ( 1983 )
- /17/ TYLAN **Instruction Manual**, Tylan Corporation, ( 1983 )
- /18/ CONTROLE &  
INSTRUMENTAÇÃO **Os Principais Medidores de Vazão**  
Controle & Instrumentação, Janeiro, ( 1980 )
- /19/ MEASUREMENTS &  
CONTROL **Turbine Flowmeters**  
Measurements & Control, February, ( 1990 )
- /20/ CONTROLE &  
INSTRUMENTAÇÃO **Tipos e Aplicações dos Medidores de Vazão**  
Controle & Instrumentação, Agosto, ( 1983 )
- /21/ BS 7405 **BS 7405 : Guide to Selection and Application of**  
**Flowmeters for the Measurement of Fluid Flow in**  
**Closed Conduits**  
Norma British Standard, ( 1991 )

- /22/ CONTROLE &  
INSTRUMENTAÇÃO
- Sete Razões para Especificar-se um Medidor Tipo Turbina**, Revista Controlê & Instrumentação, Departamento de Engenharia da FT Automação, Publicações Valete, nº 22, Maio, ( 1998 )
- /23/ PURSLEY, W. C.
- Turbine Meters**  
Three day Course on Flow Measurement  
National Engineering Laboratory Executive Agency, East Kilbride, Gasgow
- /24/ MEASUREMENTS &  
CONTROL
- Turbine Flowmeters**,  
Measurements & Control, Febreary, pg 233, ( 1990 )
- /25/ FLOWMETRICS, Inc.
- Turbine Meters Bearings**  
Catálogo Flowmetrics Inc. ( 1997 )
- /26/ ABNT/ISSO 9951
- Medição de Vazão de Gás em Conduitos Fechados**  
Medidores de Turbina, Projeto de Norma, ( 1999 )
- /27/ Instituto Nacional de  
Metrologia, Normalização  
e Qualidade Industrial
- Vocabulário Internacional de Termos  
Fundamentais e Gerais de Metrologia**  
( 1995 )



- /28/ CERTI / LABMETRO      **Apostila “ Incerteza de Medição ”**  
( 1999 )
- /29/ DOS SANTOS, C.      **Rotômetros para gás – Equações de correção**  
TAIRA, N. M.      Laboratório de Vazão – IPT
- /30/ SIERRA INSTRUMENTS      **Catálogo Sierra Instruments**  
Automated Primary Gas Flow Calibration System, ( 1995 )
- /31/ RITTER INSTRUMENTS      **Catálogo Ritter Instruments**  
Accessories for RITTER TG Gas Meters, ( 1998 )
- /32/ PETER F. M. J.      **Flow Measurements Instruments**  
MIJNDERT, P.      Calibration facilities for industrial gas flow meters in  
VAN DER BEEK and      the Netherlands, 1993, Vol. 4, nº 2  
VAN DER GRINTEN, G. M.
- /33/ CERTI / LABMETRO      **“ Apostila de Metrologia ”**  
LAB/METRO, Laboratorio de Metrologia e Automatização,  
UFSC, ( 1996 )
- /34/ INMETRO; ABNT      **Guia para Expressão da Incerteza de Medição**  
Programa RH - Metrologia      Edição Brasileira do Guia para Expressão da Incerteza  
SBM – Sociedade Brasileira      de Medição.  
de Metrologia      Agosto, ( 1997 )

/35/ CERTI

**Procedimento de Calibração – Uso Geral**

/36/ IPT, Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado  
De São Paulo S. A.

**2º Workshop - Medição de Vazão**  
Ação & Automação  
Curitiba / PR, 26 e 27 de Novembro, ( 1997 )

/37/ CONTROLE &  
INSTRUMENTAÇÃO

**Desempenho de Medidores de Vazão de Turbina**  
Controle & Instrumentação, Março, ( 1981 )

/38/ DAILER

**Catálogo “ Soluções em Medição de Vazão e Nível ”**  
Nykon Dwyler Instrumentação Industrial Ltda.  
Junho, ( 1999 )