

Monografia de Graduação

Otimização dos Processos de Calibração na Grandeza Temperatura

Dabney Sérgio Guedes de Morais

Natal, fevereiro de 2009

GUEDES DE MORAIS, Dabney Sérgio – Otimização dos Processos de Calibração na Grandeza Temperatura. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia Mecânica, Natal/RN, Brasil.

Orientador: Prof. Luiz Pedro de Araújo

RESUMO: Este trabalho visa melhorar o procedimento das calibrações de medidores de temperatura realizadas no Laboratório de Metrologia da UFRN – LabMetrol, tais como termopar, termoresistência e termômetros de vidro, com o auxílio de um banho térmico tipo bloco seco, garantindo ao procedimento uma maior confiabilidade nos resultados. Os experimentos foram feitos no Laboratório de Metrologia, utilizando inicialmente uma termoresistência do tipo Pt-100 e o banho térmico tipo bloco seco T-350P da Presys, juntamente com o jogo de blocos de prova (inserto) de diâmetros que vão de 6mm à 19 mm. O procedimento de calibração para a realização dos experimentos consistiu em se tomar quatro temperaturas na faixa de 30°C, 40°C, 50°C e 60°C e variando a altura do Pt-100 entre 10 mm, 30 mm e 50 mm , que proporcionou a simulação dos mais diversos casos que podem ocorrer numa calibração de sensores de temperatura, sendo feito posteriormente o calculo dos desvios padrão, dos erros e da incerteza da medição, com tais informações foi possível avaliar a melhor maneira de se calibrar os sensores. No caso em que não tivermos o sensor de temperatura totalmente envolvido pelo inserto observou-se um aumento do erro de medição e do desvio padrão, sendo este problema sanado de forma prática e econômica com a utilização do inserto tipo caneca preenchido com um fluido, tornando o banho térmico tipo bloco seco versátil.

Palavras Chaves:

- Metrologia, Temperatura, Incerteza, Calibração.

ABSTRACT

Optimization in the Processes of Temperature Calibration

This work aims to improve the procedure of the calibrations of measuring instrument of temperature in the Laboratory of Metrology of the UFRN - LabMetrol, such as thermocouple, thermometers, Resistance Thermometer Detector with the aid of a Presys thermal bath type dry block, guaranteeing to the procedure a bigger trustworthiness in the results. The experiments had been made in the Laboratory of Metrology, using initially a Resistance Thermometer Detector (Pt-100) and the Presys thermal bath type dry block T-350P, together with a variety of blocks (inserto) with diameter that goes of 6mm to 19 mm. The procedure of calibration for the accomplishment of the experiments consisted in take four temperatures in the band of 30°C, 40°C, 50°C and 60°C and varying the height of the Pt-100 between 10 mm, 30 mm and 50 mm, that it provided the simulation of the most diverse cases that can occur in a calibration of temperature sensors, being made the calculate of standard deviation, the errors and the uncertainty of measurement, with such information was possible evaluate the better way of calibrating such sensors. In the case where we did not have the sensor of temperature completely involved by the insert, was observed an increase of the error of measurement and the standard deviation, being this problem solved practically and economically form with the use of blocks (inserto) type mug filled with a fluid, becoming the thermal bath type dry block more versatile.

Esta monografia é dedicada:

A Deus, por ter me proporcionado a oportunidade de realizar e concluir este trabalho.

Aos meus Pais, Manoel Sérgio de Azevedo de Morais e Marlene Guedes da Silva Morais e aos meus avôs José Guedes da Silva (in memoriam) e Eugênia Guedes da Silva (in memoriam), que tem e tiveram participação importantíssima na formação do meu caráter.

E a minha querida Rafaela Torres de Araújo pela compreensão, companheirismo e apoio.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Luiz Pedro de Araújo e Walter Link, o meu agradecimento pela amizade, orientação e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos e a todos os bolsistas do Laboratório de metrologia da UFRN – LabMetrol, pelo apoio e companheirismo durante todos os anos de trabalho .

Aos coordenadores do PRH-ANP 14: Afonso Avelino Dantas Neto, Osvaldo Chiavone Filho, pela oportunidade concedida no programa e ao professor Romualdo Dantas Vidal, que dedicaram seu tempo compartilhando suas experiências, contribuindo para minha formação acadêmica.

À Agência Nacional de Petróleo – ANP, por incentivar os estudos na área de Petróleo e Gás Natural.

Aos amigos de graduação, que durante quatro anos e meio anos se fizeram presentes nos estudos.

Sumário

Capítulo I.....	8
1 - Introdução.....	9
Capítulo II.....	10
2.1 – Aspectos gerais.....	11
2.2 – Classes de sensores de temperatura.....	11
2.3 – Sensores de temperatura utilizados.....	12
2.4 – Calibradores de temperatura tipo bloco seco.....	12
2.4.1 – Aspectos gerais.....	12
2.4.2 – Características do banho utilizado.....	13
2.5 – Cálculos de incerteza na medição.....	14
2.5.1 – Aspectos gerais.....	14
2.5.2 – Incerteza de medição.....	14
2.5.3 – Avaliação da incerteza-padrão.....	15
2.5.4 – Incerteza-padrão combinada (u_c).....	16
2.5.5 – Incerteza expandida (U).....	17
Capítulo III.....	18
3.1 – Aspectos gerais.....	19
3.2 – Procedimento de calibração.....	20
Capítulo IV.....	22
4.1 Tabelas dos dados medidos.....	23
4.2 Gráficos.....	25
Capítulo V.....	28
5 - Conclusões.....	29
Capítulo VI.....	30
6 - Bibliografia.....	31
Anexo I.....	32
RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO.....	32

Lista de Figuras

Figura 1 - Padrões da grandeza temperatura	20
Figura 2 - Calibrador de temperatura	20
Figura 3 - Calibração	21

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resultado do experimento com furo de 6 mm	23
Tabela 2 - Resultado do experimento com furo de 8 mm	23
Tabela 3 - Resultado do experimento com furo de 9,5 mm	24
Tabela 4 - Resultado do experimento com furo de 19 mm vazia	24
Tabela 5 - Resultado do experimento com furo de 3/4" com água.....	25

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Inseto de 6 mm	25
Gráfico 2 - Inseto de 8 mm	26
Gráfico 3 - Inseto de 9,5 mm	26
Gráfico 4 - Inseto de 19 mm sem enchimento	26
Gráfico 5 - Inseto de 19 mm com enchimento	27

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1 - Introdução

É necessário um bom processo de calibração de instrumentos de medição de temperatura devido à importância que a temperatura tem no monitoramento e controle de medições em processos e operações industriais.

Na indústria do petróleo não poderia ser diferente. A temperatura representa uma grande fonte de incerteza no processo de medição como exemplo pode-se citar as dificuldades para a determinação da temperatura média de produtos armazenados. O volume determinado para o petróleo e seus derivados no interior dos tanques sofre influência da temperatura e devido à incerteza do coeficiente de expansão térmica, esta variabilidade vai de 0,06% a 0,30% por grau Celsius. Isto significa que uma variação de 10°C na temperatura pode causar variações de até 3% no volume ocupado no interior do tanque.

Um erro no controle da temperatura pode superaquecer ou não aquecer o suficiente um material, causando entupimentos, aumento de pressão e até explosões em dutos. Uma temperatura incorreta pode significar má esterilização ou produção indevida de um alimento, podendo acarretar danos aos consumidores. Estes são exemplos práticos da importância do controle correto da temperatura, o que implica na importância de se ter instrumentos sempre em bom estado de conservação e calibrados.

O presente trabalho visa melhorar os resultados da calibração dos sensores de temperatura utilizados ou calibrados no LabMetrol – Laboratório de Metrologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, tais como termopares, termoresistências e termômetros de vidro, utilizando um sistema térmico tipo bloco seco.

Capítulo II

ASPECTOS TEÓRICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Aspectos gerais

Temperatura: segunda grandeza mais medida no mundo, perdendo apenas para o tempo. Só por isso, já se tem uma idéia da sua importância diária para as pessoas e da produção industrial. Monitoramento ambiental; meteorologia; investigação de novos combustíveis; aproveitamento da energia solar; desenvolvimento de motores para automóveis; cuidados médicos; qualidade final de um produto e conservação de alimentos nas gôndolas dos supermercados são alguns exemplos da influência da temperatura no dia-a-dia das pessoas. Praticamente todo processo industrial é influenciado por essa grandeza. Portanto, controlá-la corretamente chega a ser uma questão de sobrevivência. O controle e monitoramento são realizados por meio das informações fornecidas pelos sensores de temperatura, como termopares, termoresistências, termômetros de vidro, etc.

2.2 – Classes de sensores de temperatura

Os instrumentos de medição de temperatura podem ser divididos em duas classes:

1ª Classe: Instrumentos em que os sensores estão em contato com o meio ou corpo que se quer medir.

1. Termômetro com bi metal;
2. Termômetro com par termoelétrico;
3. Termômetro com resistência elétrica;
4. Termômetro com dilatação de líquido/gás.

2ª Classe: Instrumentos em que o elemento sensível não está em contato com o meio ou o corpo que se quer medir.

- A) Pirômetro de radiação total;
- B) Pirômetro de radiação parcial.

2.3 – Sensores de temperatura utilizados

As termoresistências ou bulbos de resistência ou termômetros de resistência ou RTD, são sensores que se baseiam no princípio da variação da resistência ôhmica em função da temperatura. A resistência aumenta com a temperatura. O elemento sensor consiste de uma resistência em forma de fio encapsulado em um bulbo de cerâmica ou vidro.

Os metais mais comumente usados para fabricação de termoresistências são:

- Platina
- Cobre
- Níquel

As termoresistências apresentam excelente desempenho em termos de exatidão, sendo elementos mais sensíveis que os termopares. Podem ser utilizadas de -200 a 800 °C. O sensor de temperatura mais utilizado na indústria é o Pt-100.

Pt = Platina:

Pt - 100 → 100 Ohms a 0°C

2.4 – Calibradores de temperatura tipo bloco seco

2.4.1 – Aspectos gerais

O calibrador de temperatura, existente no LabMetrol é uma banho térmico tipo bloco seco, que permite aquecimento e resfriamento gerando os valores de temperatura no bloco de prova (“inserto”) adequados à calibração de termopares, termoresistências, termômetros de vidro e termostatos. Este equipamento também oferece a possibilidade de medir os sinais elétricos gerados pelos termopares, termoresistências e termostatos que estão sendo calibrados. O equipamento pode ser utilizado como banho térmico (bloco seco), termômetro padrão, e calibrador de funções elétricas, essas aplicáveis a sensores RTDs (detectores de variação da resistência com a temperatura) e termopares.

2.4.2 – Características do banho utilizado

O calibrador T-350P realiza funções onde seriam necessários três instrumentos distintos: banho térmico tipo bloco seco, termômetro padrão e calibrador para TCs, RTDs, mA, mV, ohms e termostatos.

- Gera da temperatura ambiente a 350°C.
- Exatidão de até $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ com a referência interna ou $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ usando termômetro externo.
- Resolução de $0,01^{\circ}\text{C}$.
- Estabilidade de $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$.
- Possui entrada para medição com termopares, termoresistências e termostatos. Assim, além de gerar a temperatura, mede o sinal do sensor a ser calibrado. Possui também compensação de junta fria interna de alta exatidão para medição com termopares.
- Possui fonte interna regulada de 24Vdc e entrada de mA para transmissores a dois fios.
- Não necessita o uso de termômetro padrão externo.
- Realizam calibrações totalmente automáticas com ou sem o uso do computador.
- Capacidade de documentação: comunicação com computador e Software ISOPLAN.
- Portáteis, compactos, dispõem de inserts intercambiáveis e bolsa para transporte.

Gera valores de temperatura no bloco de prova, ou insert, de forma a possibilitar a calibração de termopares, termoresistências, termômetros de vidro, termostatos, etc. Além de gerar os valores de temperatura com elevada exatidão, oferece a possibilidade de medir os sinais gerados por termopares, termoresistências e termostatos, que estão sendo calibrados. Isto é possível porque possui, de forma incorporada, um calibrador específico para estes sinais, incluindo 4mA - 20mA. Assim, realiza as funções de banho térmico, de termômetro padrão e de calibrador para sensores tipo RTDs e TCs, além de medir mA.

2.5 – Cálculos de incerteza na medição

2.5.1 – Aspectos gerais

Ao se relatar o resultado de medição de uma grandeza física, é necessário fornecer uma indicação quantitativa da qualidade do resultado, de forma que aqueles que o utilizam possam para avaliação de acordo com critérios de aceitação. Sem essa indicação, os resultados das medições não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência dados em uma especificação ou norma. É, portanto, necessário que haja um procedimento prontamente implementado, facilmente compreendido e de aceitação geral, para caracterizar a qualidade do resultado de uma medição, isto é, para avaliar e expressar a incerteza.

2.5.2 – Incerteza de medição

A incerteza do resultado de uma medição reflete a falta do exato conhecimento do mensurando. O resultado de uma medição, após a correção dos efeitos sistemáticos reconhecidos, é ainda tão somente uma estimativa do valor do mensurando, por causa da incerteza proveniente dos efeitos aleatórios e da correção imperfeita do resultado, no que diz respeito aos efeitos sistemáticos.

Há muitas grandezas de influência que ocorrem em uma medição, por exemplo:

- Definição incompleta do mensurando;
- Valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
- Erro de tendência pessoal na leitura de instrumentos analógicos;
- Resolução finita do instrumento ou limiar de mobilidade;
- Aproximação e suposições incorporadas ao método do procedimento de calibração.

2.5.3 – Avaliação da incerteza-padrão

A incerteza-padrão ou padronizada de uma fonte de erro é a faixa de dispersão em torno do valor central equivalente a um desvio-padrão. As incertezas padrão podem ser classificadas como tipo **A** e tipo **B**.

- Avaliação do tipo A:

A determinação da incerteza do tipo A envolve a análise estatística de observações repetitivas, ou seja, é obtida experimentalmente. A repetitividade é uma forma de se avaliar a incerteza do tipo A.

A partir de **n** medidas obtidas sob condições de repetitividade, calculam-se o **desvio padrão experimental**, dividindo pela raiz quadrada do número **n** de medições. Assim:

$$u(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

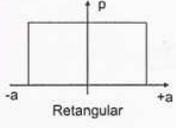
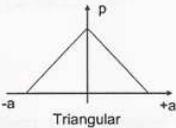
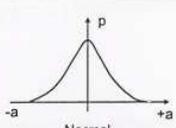
- Avaliação do tipo B:

Envolve métodos de avaliação que não a análise estatística de uma série de observações. A incerteza padronizada $u(x_i)$ é avaliada por julgamento científico baseando-se em todas as informações disponíveis sobre possível variedade de x_i . O conjunto de informações pode incluir:

1. Dados de medições prévias;
2. experiência ou conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos;
3. especificações do fabricante;
4. dados fornecidos em certificados de calibração;
5. incertezas relacionadas a dados de referência extraídos de manuais.

Devem ser coletadas informações que permitam estimar as incerteza associada a cada fonte de erro. Recomenda-se apresentar o valor associado aos limites de variação da fonte de

incertezas em sua respectiva unidade e indentificar o tipo de distribuição de probabilidade envolvida (normal, retangular, triangular) .

Distribuição de probabilidade	Incerteza padrão
 <p>Retangular</p>	$u = \frac{a}{\sqrt{3}}$
 <p>Triangular</p>	$u = \frac{a}{\sqrt{6}}$
 <p>Distribuição em "U"</p>	$u = \frac{a}{\sqrt{2}}$
 <p>Normal</p>	$u = \frac{a}{2} = \sigma$

2.5.4 – Incerteza-padrão combinada (u_c)

As diversas incertezas padrão obtidas nas avaliações dos tipos A e B precisam ser combinadas matematicamente, resultando na incerteza padrão combinada (u_c). Para estimar a incerteza combinada de fontes de incertezas, estatisticamente independentes, se calcula a raiz quadrada da soma quadrática das diversas incertezas padrão envolvidas no processo de medição.

$$u_c = \left[(u_1)^2 + (u_2)^2 + (u_3)^2 + \dots + (u_n)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Cada incerteza padrão combinada possui um número de graus de liberdade. Quando a incerteza combinada é calculada, o número de graus de liberdade equivalente da combinação

deve ser calculado, e chama-se de número de graus de liberdade efetivo. Isso é feito usando a equação de WELCH SATTETHRWAITE:

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4}{v_i}}$$

2.5.5 – Incerteza expandida (U)

Calcula a incerteza expandida (U) para obter a faixa de valores onde, com 95,45% de probabilidade, espera-se encontrar o resultado do processo de medição. Para isso é necessário multiplicar a incerteza combinada pelo respectivo coeficiente de abrangência (k):

$$U = k \cdot u_c$$

Capítulo III

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.1 – Aspectos gerais

Uma vez que existe uma grande variedade de dimensões (diâmetros do invólucro) para os sensores de temperatura, ocorre muitas vezes que o inserto ideal não comporta o sensor quando é feita sua imersão (é necessária uma folga mínima para que o mesmo possa ser inserido livremente). Neste caso utiliza-se um inserto com dimensão maior o que provoca um vão entre o sensor e as paredes do bloco térmico. O presente trabalho tem como finalidade em primeiro lugar verificar a influência dessa folga entre o sensor e o furo do bloco seco (inserto) e em segundo o efeito da profundidade em que o mensurando está inserido no bloco em uma calibração, pois nem sempre a haste do instrumento chega ao fundo do bloco. Para esse fim foram fixadas quatro temperaturas 30 °C, 40 °C, 50 °C e 60 °C, medir três séries e quatro alturas 0, 10, 30 e 50 mm, em relação ao fundo do “inserto”. Para cada série e cada altura foram calculados o erro e a incerteza para cada ponto medido.

Para eliminar o efeito da folga, foi fabricado um bloco especial com furo cego com diâmetro de 19 mm, que foi utilizado para a calibração da termoresistência uma vez na condição de bloco seco e em seguida preenchendo o volume com óleo de silicone, na mesma seqüência utilizada nos blocos padronizados.

Para a realização dos experimentos foi utilizada parte da bancada de calibração de temperatura existente no Laboratório de Metrologia da UFRN – LabMetrol:

- Termoresistência tipo Pt-100;
- Calibrador de temperatura tipo bloco seco T- 350P;
- Jogo de blocos de prova (banhos secos) ou “insertos”.

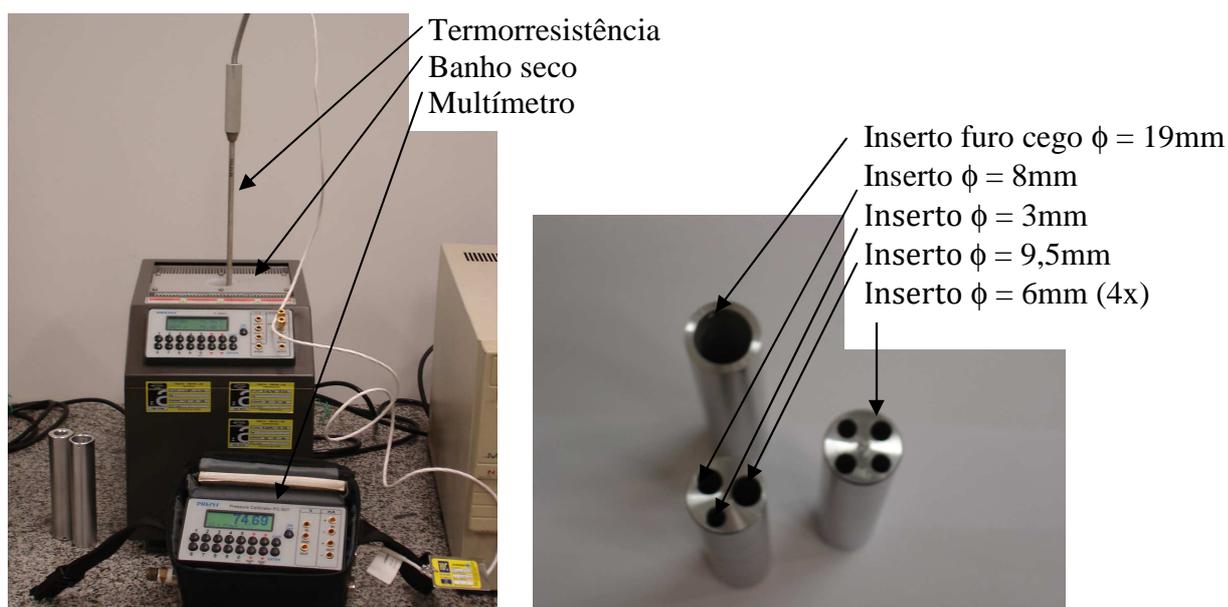


Figura 1 - Padrões da grandeza temperatura

3.2 – Procedimento de calibração

- 1- Ligar o cabo do aparelho na rede em 220V;
- 2- Inserir os terminais da termoresistência (lembrar-se de consultar o manual para determinar a posição exata de cada fio do Pt-100).



Figura 2 - Calibrador de temperatura

- 3- Colocar o Pt-100 no “*inserto*” do banho térmico (*PROBE*)
- 4- Pressionar o botão **ON/OFF** do banho
- 5- Pressionar o botão **ON/OFF** do display



Figura 3 - Calibração

- 6- Selecionar a opção **IN** apertando o botão **ENTER**
- 7- Com os cursores **▼ ▲ ◀ ▶** selecionar **RTD, Pt-100, 4 wires**.
- 8- Após visualizar no display as temperaturas dos termopares “PROBE” e “IN”, digitar a temperatura inicial usando o teclado numérico, depois pressionar **ENTER** (o valor digitado será o valor da temperatura do padrão (PROBE));
- 9- Após escutar o sinal sonoro, esperar entre 7min e 10 min para que o sistema se estabilize; em seguida, digitar a próxima temperatura para o padrão.
- 10- A calibração deve ser feita tanto no sentido de aquecimento como de resfriamento da resistência interna do equipamento; repetindo-se este procedimento no mínimo 3 (três) vezes.
- 11- Colocam-se os valores obtidos na calibração em uma planilha de cálculo para preparação do certificado e estimar a incerteza do instrumento que foi calibrado (mensurando).

Capítulo IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Tabelas dos dados medidos

INSERTO COM FURO DE 6mm:									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,98	29,96	29,98	30,00	30,00	30,00	29,97	-0,03	± 0,08
40	40,01	39,99	40,01	40,00	40,00	40,00	40,00	0,00	± 0,08
50	50,03	50,03	50,04	50,00	50,00	50,00	50,03	0,03	± 0,08
60	60,07	60,06	60,05	60,00	60,00	60,00	60,06	0,06	± 0,08
Elevação de 10mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,96	29,96	29,97	30,00	30,00	30,00	29,96	-0,04	± 0,08
40	39,99	39,98	40,00	40,00	40,00	40,00	39,99	-0,01	± 0,08
50	50,02	50,03	50,03	50,00	50,00	50,00	50,03	0,03	± 0,08
60	60,06	60,06	60,04	60,00	60,00	60,00	60,05	0,05	± 0,08
Elevação de 30mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,98	29,97	29,97	30,00	30,00	30,00	29,97	-0,03	± 0,08
40	40,00	39,98	39,97	40,00	40,00	40,00	39,98	-0,02	± 0,08
50	50,04	50,02	50,03	50,00	50,00	50,00	50,03	0,03	± 0,08
60	60,05	60,08	60,05	60,00	60,00	60,00	60,06	0,06	± 0,08
Elevação de 50mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,96	29,97	29,97	30,00	30,00	30,00	29,97	-0,03	± 0,08
40	39,98	40,00	39,99	40,00	40,00	40,00	39,99	-0,01	± 0,08
50	49,99	50,01	50,03	50,00	50,00	50,00	50,01	0,01	± 0,08
60	60,02	60,07	60,05	60,00	60,00	60,00	60,05	0,05	± 0,08

Tabela 1 - Resultado do experimento com furo de 6 mm

INSERTO COM FURO DE 8mm:									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,93	29,91	29,93	30,00	30,00	30,00	29,92	-0,08	± 0,08
40	39,93	39,89	39,91	40,00	40,00	40,00	39,91	-0,09	± 0,08
50	49,95	49,88	49,9	50,00	50,00	50,00	49,91	-0,09	± 0,08
60	59,94	59,9	59,89	60,00	60,00	60,00	59,91	-0,09	± 0,08
elevação de 10mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,92	29,93	29,95	30,00	30,00	30,00	29,93	-0,07	± 0,08
40	39,87	39,93	39,94	40,00	40,00	40,00	39,91	-0,09	± 0,08
50	49,89	49,92	49,94	50,00	50,00	50,00	49,92	-0,08	± 0,08
60	59,87	59,95	59,95	60,00	60,00	60,00	59,92	-0,08	± 0,08
Elevação de 30mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,79	29,87	29,88	30,00	30,00	30,00	29,85	-0,15	± 0,08
40	39,73	39,79	39,85	40,00	40,00	40,00	39,79	-0,21	± 0,08
50	49,68	49,74	49,78	50,00	50,00	50,00	49,73	-0,27	± 0,08
60	59,62	59,76	59,77	60,00	60,00	60,00	59,72	-0,28	± 0,08
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
40	39,41	39,64	39,65	40,00	40,00	40,00	39,57	-0,43	± 0,08
50	49,37	49,5	49,5	50,00	50,00	50,00	49,46	-0,54	± 0,08
60	59,1	59,41	59,45	60,00	60,00	60,00	59,32	-0,68	± 0,09

Tabela 2 - Resultado do experimento com furo de 8 mm

INSERTO COM FURO DE 9,5mm:									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,95	29,87	29,9	30,00	30,00	30,00	29,91	-0,09	± 0,08
40	39,9	39,74	39,81	40,00	40,00	40,00	39,82	-0,18	± 0,08
50	49,92	49,76	49,83	50,00	50,00	50,00	49,84	-0,16	± 0,08
60	59,92	59,89	59,93	60,00	60,00	60,00	59,91	-0,09	± 0,08
Elevação de 10mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,89	29,84	29,92	30,00	30,00	30,00	29,88	-0,12	± 0,08
40	39,86	39,82	39,87	40,00	40,00	40,00	39,85	-0,15	± 0,08
50	49,8	49,79	49,82	50,00	50,00	50,00	49,80	-0,20	± 0,08
60	59,75	59,79	59,83	60,00	60,00	60,00	59,79	-0,21	± 0,08
Elevação de 30mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,73	29,7	29,63	30,00	30,00	30,00	29,67	-0,34	± 0,08
40	39,59	39,52	39,37	40,00	40,00	40,00	39,49	-0,51	± 0,08
50	49,63	49,37	49,26	50,00	50,00	50,00	49,42	-0,58	± 0,09
60	59,5	59,26	59,19	60,00	60,00	60,00	59,32	-0,68	± 0,09
elevação de 50mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,53	29,37	29,4	30,00	30,00	30,00	29,43	-0,57	± 0,08
40	39,19	38,96	39,04	40,00	40,00	40,00	39,06	-0,94	± 0,08
50	48,89	48,43	48,79	50,00	50,00	50,00	48,70	-1,30	± 0,09
60	58,5	58,19	58,3	60,00	60,00	60,00	58,33	-1,67	± 0,08

Tabela 3 - Resultado do experimento com furo de 9,5 mm

INSERTO COM FURO CEGO - SEM ÁGUA:									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,43	29,35	29,71	30,00	30,00	30,00	29,50	-0,50	± 0,09
40	39,09	38,91	39,32	40,00	40,00	40,00	39,11	-0,89	± 0,09
50	48,89	48,55	48,97	50,00	50,00	50,00	48,80	-1,20	± 0,09
60	58,64	58,2	58,46	60,00	60,00	60,00	58,43	-1,57	± 0,09
Elevação de 10mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,13	29,57	29,48	30,00	30,00	30,00	29,39	-0,61	± 0,09
40	38,5	38,63	38,83	40,00	40,00	40,00	38,65	-1,35	± 0,09
50	48,04	48,24	48,42	50,00	50,00	50,00	48,23	-1,77	± 0,09
60	57,36	57,84	57,96	60,00	60,00	60,00	57,72	-2,28	± 0,10
Elevação de 30mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	28,57	28,89	28,67	30,00	30,00	30,00	28,71	-1,29	± 0,09
40	37,54	37,66	37,69	40,00	40,00	40,00	37,63	-2,37	± 0,08
50	46,63	46,52	46,71	50,00	50,00	50,00	46,62	-3,38	± 0,08
60	55,89	55,75	55,9	60,00	60,00	60,00	55,85	-4,15	± 0,08
Elevação de 50mm									
VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	28,05	27,92	28,00	30,00	30,00	30,00	27,99	-2,01	± 0,08
40	36,51	36,31	36,29	40,00	40,00	40,00	36,37	-3,63	± 0,08
50	44,84	44,76	44,96	50,00	50,00	50,00	44,85	-5,15	± 0,08
60	53,99	53,57	53,61	60,00	60,00	60,00	53,72	-6,28	± 0,09

Tabela 4 - Resultado do experimento com furo de 19 mm vazia

INSERT TIPO CANECA COM ÁGUA:

VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,97	29,97	29,98	30,00	30,00	30,00	29,97	-0,03	± 0,08
40	39,97	39,98	40,00	40,00	40,00	40,00	39,98	-0,02	± 0,08
50	49,95	49,97	49,98	50,00	50,00	50,00	49,97	-0,03	± 0,08
60	59,92	59,95	59,94	60,00	60,00	60,00	59,94	-0,06	± 0,08

Elevação de 10mm

VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,97	29,97	29,96	30,00	30,00	30,00	29,97	-0,03	± 0,08
40	39,97	39,96	39,95	40,00	40,00	40,00	39,96	-0,04	± 0,08
50	49,95	49,94	49,97	50,00	50,00	50,00	49,95	-0,05	± 0,08
60	59,92	59,92	59,94	60,00	60,00	60,00	59,93	-0,07	± 0,08

Elevação de 30mm

VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,98	29,97	29,96	30,00	30,00	30,00	29,97	-0,03	± 0,08
40	39,97	39,98	39,99	40,00	40,00	40,00	39,98	-0,02	± 0,08
50	49,99	49,98	49,97	50,00	50,00	50,00	49,98	-0,02	± 0,08
60	59,99	59,98	59,97	60,00	60,00	60,00	59,98	-0,02	± 0,08

Elevação de 50mm

VVC	MENSURANDO			PADRÃO			MEDIA	DESVIO	INCERTEZA
30	29,98	29,97	29,98	30,00	30,00	30,00	29,98	-0,02	± 0,08
40	39,92	39,91	39,93	40,00	40,00	40,00	39,92	-0,08	± 0,08
50	49,87	49,87	49,88	50,00	50,00	50,00	49,87	-0,13	± 0,08
60	59,87	59,83	59,83	60,00	60,00	60,00	59,84	-0,16	± 0,08

Tabela 5 - Resultado do experimento com furo de 3/4" com água

4.2 Gráficos

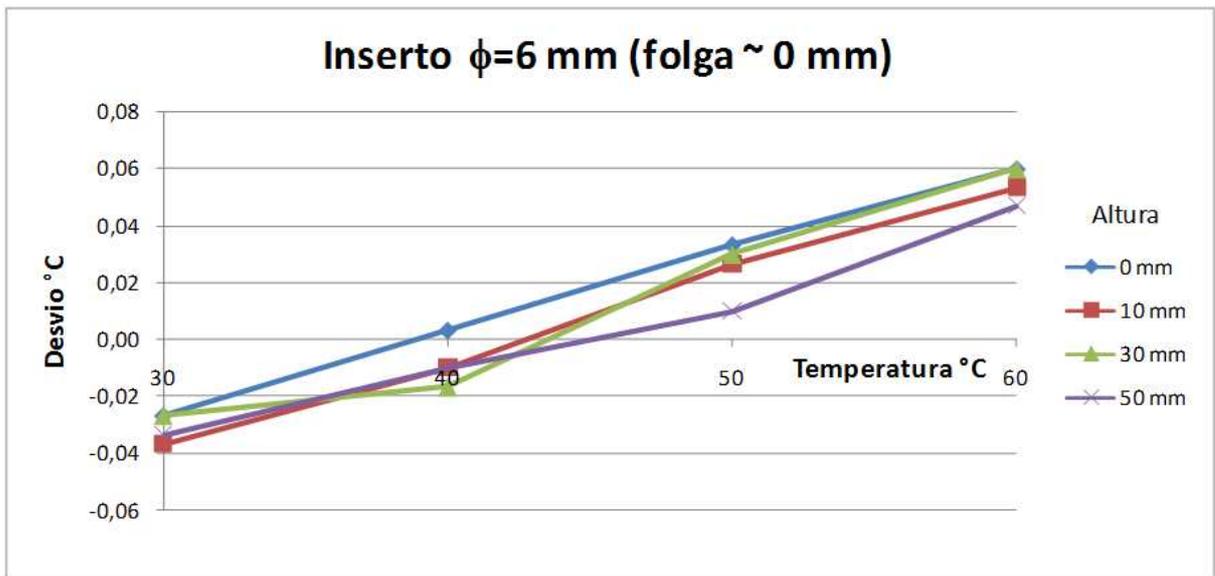


Gráfico 1 - Inserto de 6 mm

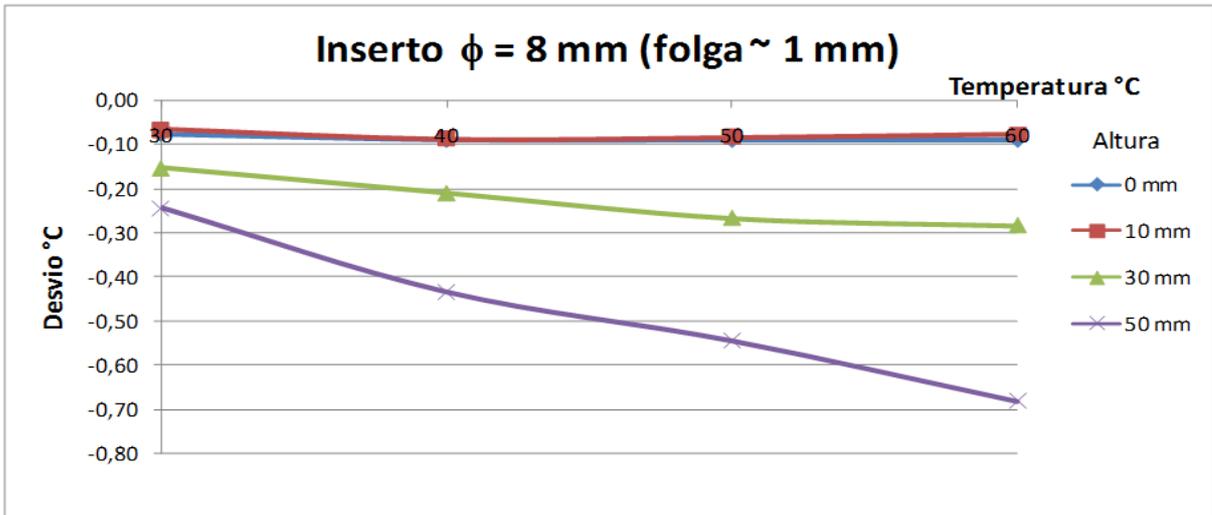


Gráfico 2 - Inseto de 8 mm

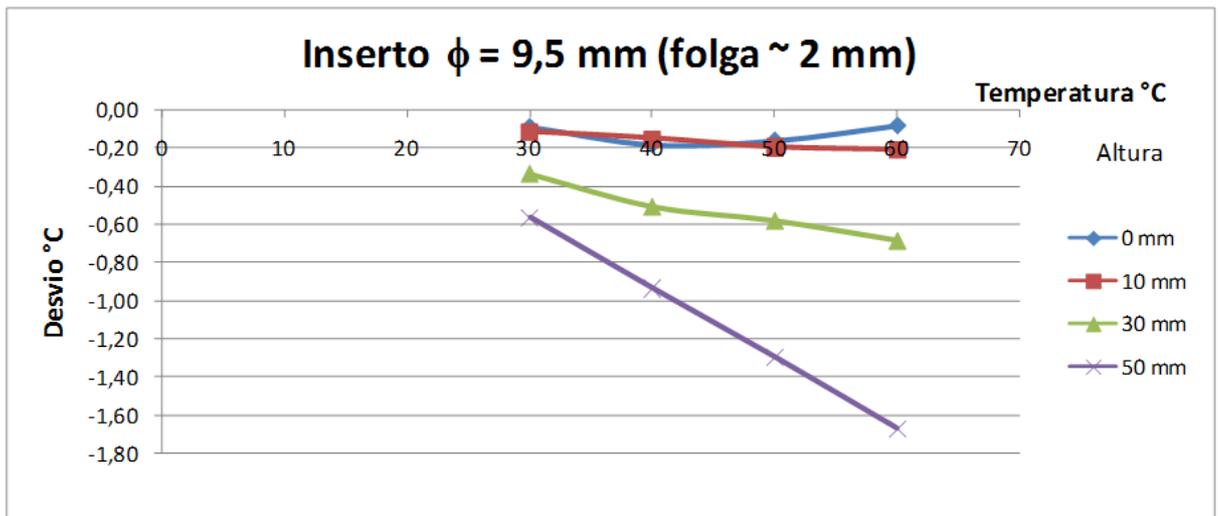


Gráfico 3 - Inseto de 9,5 mm

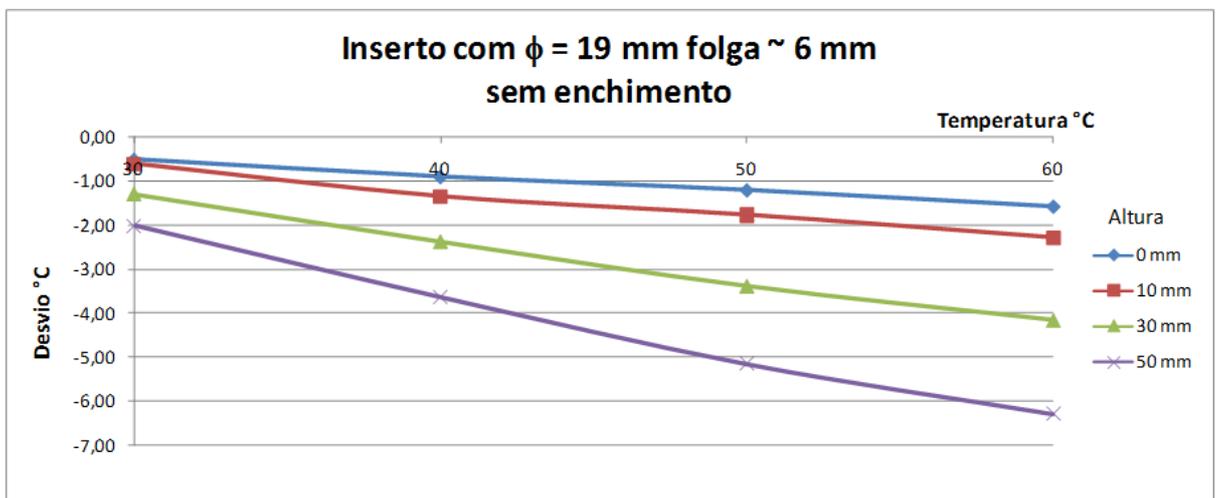


Gráfico 4 - Inseto de 19 mm s/ enchimento

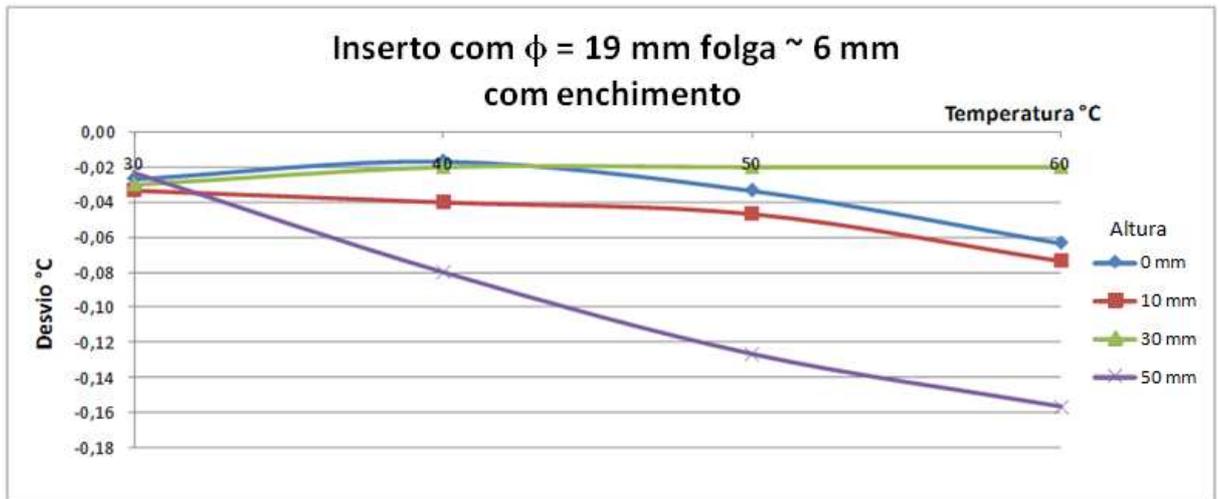


Gráfico 5 - Inseto de 19 mm c/ enchimento

Fica explicita a influência do diâmetro do bloco de prova na temperatura registrada, ou seja, para este tipo de calibrador se faz necessário que o sensor de temperatura, seja ele termômetro bimetálico, de bulbo, termopar ou termoresistência esteja bem ajustado ao inserto para não haver um aumento na incerteza e no erro do resultado, causados por correntes de convecção.

Para estudar uma solução para os casos em que não se dispõe de um inserto adequado para os diâmetros dos sensores de temperatura, foi utilizado um inserto com diâmetro de $\varnothing 19$ mm (tipo furo cego). Foram feitos dois ensaios, um com a termoresistência simplesmente colocada no furo do inserto e o segundo utilizando água para preencher os vazios em torno do sensor e garantir contato uniforme em o meio térmico e o sensor, além de minimizar o efeito da corrente de convecção. Os resultados foram bastante satisfatórios o que pode ser verificado, comparando os dois últimos gráfico.

Capítulo V

CONCLUSÕES

Conclusões

5 - Conclusões

Os dados acima mostram que é possível obter bons resultados com uma pequena modificação nos insertos, visto que na situação ideal com o sensor de temperatura totalmente envolvido, o desvio padrão variou de $-0,03^{\circ}\text{C}$ a $0,06^{\circ}\text{C}$, à medida que o sensor foi posto em outros insertos que possuíam dimensões gradativamente maiores isto fez com que fosse gerada uma folga cada vez maior entre eles, sendo observado com isto, um aumento no desvio padrão que variou originalmente de $-0,03^{\circ}\text{C}$ no inserto de 6 mm chegando a $-6,28^{\circ}\text{C}$ no de 19 mm. Com o objetivo de diminuir esta variação no desvio padrão gerada por folgas entre o sensor de temperatura e o inserto, pois devido à grande variedade de dimensões dos sensores de temperatura ficaria economicamente inviável confeccionar para cada um destes um inserto apropriado, utilizou-se o inserto com furo cego e um fluido de enchimento, como resultado houve uma redução do desvio padrão de $-6,28^{\circ}\text{C}$ para $-0,16^{\circ}\text{C}$, no inserto de 19 mm quando este inicialmente estava vazio e posteriormente enchido com água. Sendo este líquido de enchimento a água, como utilizado nos experimentos, ou outros líquidos como silicone e óleos próprios para tais tipos de ensaios, fazendo com que a tais sensores possam ser calibrados em temperaturas maiores que 60°C . Dessa maneira pode-se com uma alteração de baixo custo e um baixo consumo de fluido de enchimento transformar o banho térmico de bloco seco em um banho líquido mais versátil, pois não limita uso do sensor com dimensões padronizadas. Outro ponto importante a ser observado é a profundidade de imersão, como se pôde notar pelos gráficos, teve uma forte influência nos resultados fazendo com que o desvio padrão fosse alterado a cada elevação, principalmente no caso de se ter uma folga considerável entre o inserto e o sensor.

Capítulo VI

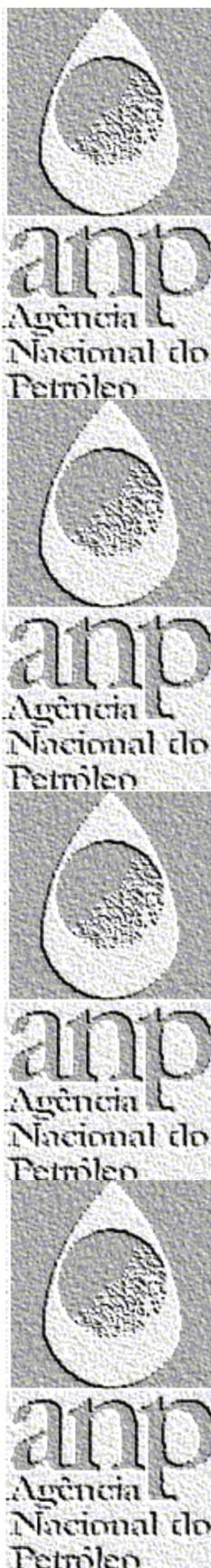
BIBLIOGRAFIA

6 - Bibliografia

1. European Co-operation for Accreditation, EA- 10/13, “Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators”, pp 05 – 10, February 2000.
2. Procedimento CTGÁS - IT-LTG-038, “Levantamento da uniformidade e estabilidade dos banhos de calibração”, rev. 01, pp 2 – 6, Fevereiro 2003.
3. Versão Brasileira do Documento de Referência EA - 4/02, “Expressão da Incerteza de Medição na calibração”, pp 10 – 20, Janeiro 1999.
4. Improving the accuracy of temperature measurement, A Tong, Sensor Review, vol 21, nº3 2001.
5. Principles and Methods of temperature measurement, Thomas D McGee, Ed John Wiley & Sons, ISBN 0 471-62767-4.
6. Thermal sensors, J Scholz and T Ricoffi (eds), VCH vol 4 – ISBN 3-527-26770-0
7. Link W. – Tópicos Avançados da Metrologia Mecânica – Confiabilidade Metrológica e suas Aplicações 2000 – 263pgs.
8. VIM – Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia INMETRO – 75 pgs. – 2000.

Anexo I

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO
SUPERVISIONADO**



RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO NO LABORATÓRIO DE METROLOGIA DA UFRN

TÍTULO:

Manutenção/ Organização / Calibração

ESTAGIÁRIO:

Dabney Sérgio Guedes de Moraes

ORIENTADORES:

Prof. Luiz Pedro de Araújo

PERÍODO:

Julho/2008 a Dezembro/2008

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por ter me concedido o dom da vida e por iluminar todos os meus caminhos.

Ao Laboratório de Metrologia da UFRN pela valiosa oportunidade do estágio.

Aos professores Luiz Pedro de Araújo, Walter Link e a todos os outros que também foram meus professores, pela orientação e paciência.

A todos os técnicos e alunos do laboratório de Metrologia da UFRN que me ajudaram na realização do meu estágio.

Ao PRH 14 e a ANP pelo apoio dado durante a realização deste estágio.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

1- INTRODUÇÃO

O local de estágio já era de conhecimento do aluno, uma vez que este tem atuado como bolsista do LabMetrol. Portanto, não houve problemas de adaptação uma vez que o estagiário já está familiarizado com a equipe, parte dos instrumentos e equipamentos assim como, da infra-estrutura do Laboratório e foi possível compatibilizar o cumprimento da carga horária do estágio de forma flexibilizada para possibilitar a conclusão dos créditos restantes para concluir o curso.

Para o estágio em questão, foram definidos junto ao supervisor de estágio um conjunto de atividades, tais como a manutenção de equipamentos e instrumentos, assim como o levantamento atualizado dos mesmos, organização dos documentos das grandezas temperatura, pressão, massa, comprimento e força; e auxílio em calibrações.

2- APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

O Laboratório de Metrologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – LabMetrol está localizado no Núcleo Tecnológico Industrial do Centro de Tecnologia da UFRN. Criado em 1980 com o objetivo de apoiar as atividades acadêmicas desenvolvidas através dos departamentos do Centro de Tecnologia, o LabMetrol dispõe atualmente de uma área construída de aproximadamente 200 m², disposta em sete ambientes devidamente preparados para atender às necessidades do Laboratório. Neste espaço físico, dispomos de uma sala de aula prática, uma sala de apoio administrativo, uma sala com os recursos computacionais do Laboratório, uma sala para manutenção de instrumentos e três salas de calibração de instrumentos das grandezas comprimento, pressão, temperatura, força e massa, dispostas de forma independentes.

A missão do LabMetrol é contribuir no conhecimento e difusão da metrologia através do ensino, da pesquisa e da extensão, tendo em vista a formação do indivíduo e do desenvolvimento local, regional e nacional. Neste contexto ao longo destes anos o Laboratório tem conseguido conquistas importantes através da aquisição de equipamentos, treinamento e qualificação de pessoal, expansão da sua área física e de suas atividades acadêmicas com destaque para a ampliação das atividades desenvolvidas com os cursos de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Engenharia Química, Ciência e Engenharia dos Materiais, Engenharia Elétrica, Engenharia de Computação e Automação, Engenharia Civil, Química, Física, Geologia, assim como, com o setor produtivo. O Laboratório de Metrologia da UFRN presta serviços de medições e calibrações de instrumentos nas grandezas comprimento, pressão força, temperatura e massa para empresas e instituições públicas e privadas do Norte/Nordeste do país.

3- DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO

Organização de certificados e normas de calibração utilizadas pelo LabMetrol, nas grandezas temperatura, pressão, força, massa e comprimento. O estagiário realizou a triagem de todos os certificados e normas das diversas grandezas existentes no laboratório os quais estavam dispostos em um único arquivo, separando-os por grandeza, data da calibração, data de sua emissão e pelo laboratório que realizou a calibração do padrão. Esta identificação possibilitou uma reorganização destes certificados e normas em novos arquivos adquiridos

pelo laboratório com o objetivo de facilitar suas identificações e o seu uso para cada grandeza.

Esta organização propiciará uma redução no tempo de procura dos certificados e normas do LabMetrol. A fig. 1 ilustra o arquivo de certificados e normas. A fig. 2 mostra o novo arquivo já com certificados.



Fig. 1 Arquivo de certificados e normas.



Fig. 2 mostra o novo arquivo com certificados e normas para cada grandeza.

Manutenção de diversos instrumentos de medição nas grandezas comprimento, pressão, força, temperatura e massa. O estagiário realizou desmontagens, limpeza, ajustes e montagens em instrumentos tais como, paquímetros, micrômetros, traçador de altura, relógios comparadores, manômetros, níveis, pesos padrões, balanças e medidores de temperatura. Fig. 3 mostra padrões da grandeza comprimento.



Fig. 3 Padrões da grandeza comprimento.

Acompanhamento e auxílio em calibrações realizadas pelo Laboratório. O estagiário teve oportunidade de conhecer na prática os métodos utilizados em calibrações de variados instrumentos em algumas das grandezas atendidas pelo Laboratório. Durante o período de estágio, realizou-se o acompanhamento em calibrações de válvulas de segurança, trenas, anéis dinamométricos, células de carga, prensas, termômetros, entre outros instrumentos, onde foram recebidas informações sobre os procedimentos de calibração bem como dos instrumentos e suas aplicações. A Fig. 3 mostra alguns padrões na grandeza temperatura. A Fig. 4 ilustra uma calibração de válvulas de segurança, realizada em uma estação de compressão.

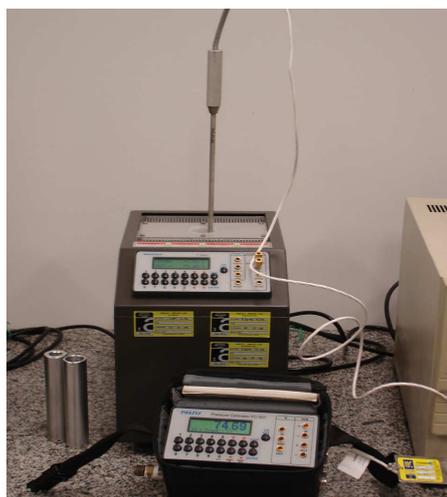


Fig. 3 – Exemplos de padrões da grandeza temperatura.



Fig. 4– Calibração de Válvula de segurança em campo.

Acesso à literatura técnica do laboratório. O estagiário teve acesso aos diversos catálogos de instrumentos, manuais e normas técnicas de calibração existentes no laboratório, além de pesquisar outras publicações técnicas relacionadas à área metrológica.

4- DIFICULDADES ENCONTRADAS

As maiores dificuldades encontradas pelo estagiário para cumprir as atividades previstas no plano de estágio foi a escassez de tempo hábil para executá-las. Uma vez que as demais atividades acadêmicas demandam bastante tempo, muitas vezes o aluno viu-se sobrecarregado tendo inclusive que faltar alguns dias de estágio para poder cumprir prazos de entrega de projetos, relatórios e trabalhos acadêmicos, tendo de complementá-las em horários extras.

Entretanto, conseguiu-se com êxito conciliar as atividades acadêmicas referentes às disciplinas do semestre letivo com o estágio, permitindo a contemplação de todos os compromissos acadêmicos, bem como a execução das atividades definidas no plano de estágio. As eventuais ausências foram compensadas com a flexibilização do horário de estágio. Tal flexibilização permitiu o cumprimento das 270 horas previstas para o estágio, não acarretando prejuízo.

5- ÁREAS DE IDENTIFICAÇÃO COM O CURSO

Neste estágio, o aluno teve oportunidade de aplicar conhecimentos adquiridos através de diversas disciplinas ao longo do Curso de Engenharia Mecânica, tais como Estática, Desenho de Máquinas, Tecnologia Mecânica, Gestão da Qualidade Total, Cálculo de Incerteza de Medição, Sistemas de Medidas, Elementos de Máquinas I e II, Metrologia de Pressão e Metrologia. Com destaque para as áreas de Metrologia e Instrumentação que estão diretamente ligadas às atividades desenvolvidas pelo Laboratório de Metrologia da UFRN-LabMetrol e, portanto, foram utilizadas com maior ênfase no decorrer do estágio.

6- CONCLUSÃO

O estágio curricular para conclusão do Curso de Engenharia Mecânica realizado no Laboratório de Metrologia da UFRN foi plenamente satisfatório, uma vez que atuou como uma importante complementação acadêmica que permitiu ao aluno a aplicação de conhecimentos adquiridos no decorrer do Curso, através do desenvolvimento de atividades práticas relacionadas com sua área de formação.

Merece especial destaque as Áreas de Metrologia e Instrumentação que foram amplamente exploradas durante o estágio, já que elas estão estritamente relacionadas ao cotidiano do LabMetrol. Dentro deste contexto, o estágio forneceu ao aluno conhecimentos práticos de manutenção, dos procedimentos de calibração de padrões e instrumentos de medição, assim como teve fundamental importância também do ponto de vista social, já que permitiu a convivência amistosa do estagiário com toda a equipe do Laboratório que o recebeu hospitaleiramente e gerou laços de amizade em todos os níveis hierárquicos.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – STARRET, **Catálogo B29**, São Paulo, 2003;
- 2 – MITUTOYO, **Catálogo PG-605**, São Paulo, 2005;
- 3 – METLE – TOLLEDO, **Laboratory Catalog**, 2008;
- 4 – International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM);
- 5 – LINK, W. Metrologia Mecânica expressão da incerteza de medição.