

## CONSTRUÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM TERMOPAR DE OURO-PLATINA NO INMETRO

*S. G. Petkovic<sup>1</sup>, Rodrigo da Silva<sup>2</sup>, H.D. Vieira<sup>1</sup>, K.N. Quelhas<sup>1</sup>, M. S. Monteiro<sup>1</sup>, P. R. F. Santos<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Inmetro, Duque de Caxias, Brasil

<sup>2</sup> Consistec, São Paulo, Brasil

**Resumo:** O termopar tipo S já foi padrão de interpolação da Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 (EPIT-68) na faixa de 630°C a 1064°C. Na escala de temperatura em vigor, a EIT-90, o termômetro padrão de resistência de platina de alta temperatura (TPRPAT) é o padrão empregado para cobrir a faixa de 0°C a 962°C. Antes da adoção da EIT-90, estudos foram realizados para avaliar a possibilidade de substituir o termopar tipo S, como padrão de interpolação da escala internacional de temperatura, por um termopar de metais nobres puros. Esse termopar seria o de ouro-platina (Au/Pt). Apesar de o termômetro de resistência de platina ter sido escolhido como padrão da EIT-90, o termopar de ouro-platina revelou-se como o termopar mais estável na faixa de 0°C a 1000°C. Em 1987, McLaren e Murdock publicaram um trabalho que estimava em 0,01°C a incerteza do termopar Au/Pt nessa faixa de temperatura. Desde então, muitos artigos foram escritos recomendando o termopar Au/Pt como um padrão alternativo ao termômetro de resistência de alta temperatura em função de custo e operacionalidade, embora o TPRPAT ainda possua uma melhor reprodutibilidade.

No final dos anos 90, o Inmetro fez um projeto em parceria com a empresa Consistec para construção e calibração de termopares de metais nobres puros. O termopar de ouro-platina foi o primeiro a ser construído com um fio de ouro com 99,999% de pureza e um fio de platina com 99,998% de pureza. Ele foi calibrado várias vezes nos pontos fixos da prata (Ag), alumínio (Al), zinco (Zn), estanho (Sn), índio (In) e gálio (Ga).

A metodologia, os padrões e os instrumentos empregados nas calibrações, bem como os resultados obtidos; os equipamentos, os materiais e as características construtivas do termopar Au/Pt são apresentados neste trabalho.

**Palavras chave:** termopar, padrão, ouro-platina.

**Abstract:** Type S thermocouple has already been used as the interpolation standard of the International Practical Temperature Scale of 1968 (IPTS-68) in the temperature range from 630°C to 1064°C. Nowadays the temperature scale in use is the ITS-90 in which the high temperature standard platinum resistance thermometer (HTSPRT) is the standard in the range from 0°C to 962°C. Before the ITS-90 issued, studies were carried out in order to evaluate the possibility of substituting the type S thermocouple for a pure

noble metal thermocouple to use it as the interpolation standard in the ITS-90. This thermocouple would be the Gold/Platinum one (Au/Pt). Notwithstanding the fact that the platinum resistance thermometer had been chosen as the standard of ITS-90, the gold/platinum thermocouple has shown high stability in the range from 0°C to 1000°C. In 1987, McLaren and Murdock published a work which estimated in 0.01°C the uncertainty of the Au/Pt thermocouple in this temperature range. Since then many works have been written to recommend the use of the Au/Pt thermocouple as an alternative standard to the high temperature resistance thermometer taking into account its cost and performance, in spite of the better reproducibility of the HTSPRT.

Late 90s, Inmetro started a scheme in association with the company Consistec for the construction and calibration of pure noble metal thermocouples. The Au/Pt thermocouple was built first, with 99.999% pure gold wire and 99.998% pure platinum wire. It was calibrated many times in the silver (Ag), aluminium (Al), zinc (Zn), Tin (Sn), Indium (In) and Gallium (Ga) fixed points.

The devices, materials and the constructive characteristics of the Au/Pt thermocouple as well as the methodology, the standards, instruments and the results obtained in fixed-points calibrations are shown in this paper.

**Keywords:** thermocouple, standard, gold-platinum.

### 1. INTRODUÇÃO

Termopares tipo S e R são muito utilizados como padrões de referência e trabalho por laboratórios de calibração, devido ao custo relativamente baixo em relação aos termômetros padrão de resistência de platina e à instrumentação empregada. A incerteza de calibração nos pontos fixos recomendada pela Monografia do BIPM [1] é de 0,2°C (k=2), nos pontos fixos do estanho (Sn), zinco (Zn), alumínio (Al), prata (Ag) e cobre (Cu). Mas é possível utilizar apenas quatro desses pontos para calibrar o termopar na faixa de 0°C a 1100°C [2-4]. Sendo que alguns laboratórios utilizam 3 pontos em calibrações na mesma faixa para conseguir incertezas da ordem de 0,3°C (k=2).

O principal fator que contribui para essas incertezas é a estabilidade da força eletromotriz do termopar (fem) ao longo do tempo. Estudos revelam que a fem varia devido à

oxidação dos fios, à migração do ródio e à vaporização dos elementos que compõem os fios, entre outros fatores. Sem contar com a não-homogeneidade da composição dos termoelementos, a qual gera alterações difíceis de serem avaliadas durante as medições [4].

O termopar Ouro/Platina (Au/Pt) surge então como uma alternativa para substituir os termopares tipo S e R, na faixa de 0°C a 1000°C, por apresentar incertezas de uns poucos centésimos de grau Celsius. Esta performance se deve ao fato do termopar ser composto por metais nobres puros (tanto o fio de ouro como o de platina podem atingir uma pureza de 99,999%). Isto proporciona a construção de artefatos com grande estabilidade de fem ao longo do tempo, bem como um efeito praticamente nulo da não-homogeneidade dos fios na zona de medição.

McLaren e Murdock estudaram este termopar nos anos 80 e publicaram um trabalho em 1987 [5], no qual eles discutiram técnicas de construção, calibração e o desempenho de termopares Au/Pt feitos com fios de diversas procedências e graus de pureza. O presente trabalho enfoca apenas um termopar Au/Pt, mostrando sua construção, composição e desempenho, quando calibrado por pontos fixos durante alguns meses.

## 2. METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO TERMOPAR AU/PT

O primeiro passo na construção do termopar Au/Pt é o corte dos fios, do tubo de quartzo e do capilar cerâmico. O tubo e o capilar são cortados com aproximadamente 500mm de comprimento e os fios de ouro e de platina com 0,5mm de diâmetro são cortados com 1500mm de comprimento. É importante que os fios e os tubos sejam lavados preliminarmente com acetona ou álcool etanol P.A., e toda a manipulação seja realizada com as mãos enluvasadas. Antes de inserir os fios no capilar de cerâmica de alta pureza, tanto o capilar quanto o tubo são recozidos a 1100°C por 24 horas em um forno.

O segundo passo, se os fios estiverem livres de dobras e trabalho a frio, é introduzi-los no capilar cerâmico, conforme a figura 1. Caso necessário, os fios devem ser recozidos em um forno tubular a 1000°C. O diâmetro dos furos do capilar deve ser de pelo menos 0,8 mm para prevenir trabalho a frio.

O terceiro passo na montagem é a solda dos fios de ouro e de platina, formando a junção de medição. A solda pode ser feita empregando-se um maçarico de gás hidrogênio com oxigênio.

O fio de ouro deve ser soldado no fio de platina, após realizar uma curva de 180°C, a fim de proporcionar um alívio de tensões mecânicas na solda da junção de medição, devido ao fato de o fio de ouro dilatar mais do que o de platina.

Em seguida, o capilar com o fios montados e soldados deve ser inserido no tubo de quartzo e recozido no forno tubular a uma temperatura de 1000°C por, pelo menos 24 horas. Após este recozimento, a temperatura do forno deve ser regulada

para 450°C. Quando atingir este valor o termopar deve permanecer por mais 4 horas antes de ser removido para o ambiente. Tal procedimento visa estabilizar as tensões mecânicas no par termoeletrico, atenuando os espaços intersticiais na rede cristalina dos metais. Durante o recozimento ou uso que não seja em células de pontos fixos, o termopar montado sempre deve ser protegido por um tubo de platina tipo sanduíche, quartzo-platina-quartzo, para proteger os fios contra contaminações de ions metálicos.

Esta montagem com o fio de ouro em “U” difere daquela de McLaren e Murdock [5], a qual propõe que um fio de platina de 0,1mm a 0,2mm, enrolado em forma de uma pequena mola, seja soldado entre os fios de platina e de ouro de 0,5mm. Estes artificios produzem um alívio nas tensões mecânicas entre o par termoeletrico, que proporcionam uma maior estabilidade nas forças eletromotrizes, verificada através do movimento do termopar em meios térmicos, como por exemplo, quando são realizados levantamentos de não-homogeneidades.

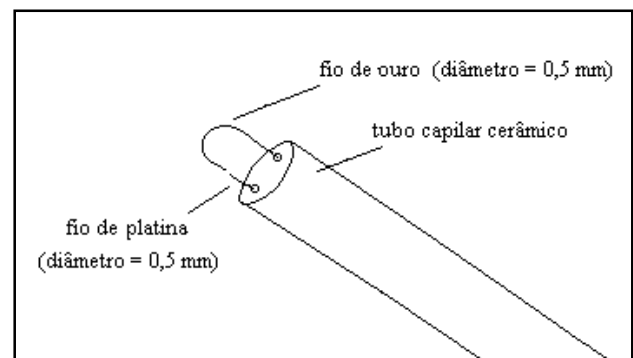


Figura 1: Montagem do termopar de ouro-platina avaliado neste trabalho (INM 2003-01)

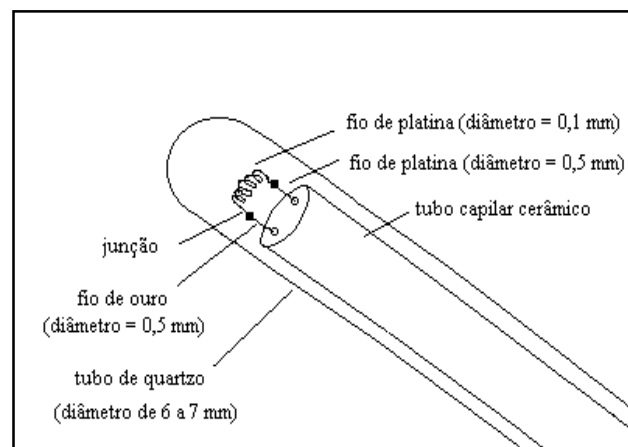


Figura 2: Montagem de um termopar de ouro-platina proposta por McLaren e Murdock.

A montagem segue com o revestimento dos fios e envolvendo-se os fios encapados e parte do tubo de quartzo com espaguete termoretrátil.

A construção termina com a formação da junta de referência. Os fios de ouro e platina são soldados aos fios de cobre de conexão, isolados e colocados em um tubo de aço ou vidro, com pelo menos 200mm de comprimento. A solda utilizada para unir os fios de cobre e ouro não pode ser feita

da liga estanho-chumbo, pois ela dissolve o fio de ouro, quando fundida.

### 3. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO, PADRÕES E EQUIPAMENTOS

Na calibração do termopar de ouro/platina (INM 2003-01) foram utilizados os pontos fixos do gálio, índio, estanho, zinco, alumínio e prata. Esses pontos fixos da EIT-90 são definidos como o equilíbrio termodinâmico de substâncias quimicamente puras [6,7]. Tais substâncias são encerradas em células, denominadas de células de ponto fixo, e sua composição atinge a 99,999% de pureza do material ou mais.

Os fornos para realização desses pontos fixos são de três zonas de aquecimento ou de zona única com tubo de calor de sódio, a exceção do gálio, o qual possui um forno a ar especialmente desenvolvido para ele.

O instrumento empregado para medir a fem do termopar é um multímetro Hewlett Packard modelo 3457A (de 7 ½ dígitos) ou um nanovoltímetro Keithley, modelo 182 interfaceado a um computador PC através de uma interface paralela GPIB. Um programa de aquisição de dados, desenvolvido na linguagem Visual Basic, controla as medições automaticamente, armazenando-as em um arquivo na memória do computador.

A junta de referência do termopar é mantida a 0°C em banho de gelo fundente, produzido a partir de água destilada, acondicionado em vaso DEWAR.

### 4. METODOLOGIA DA CALIBRAÇÃO POR PONTOS FIXOS

Antes de se iniciar as medições, o voltímetro é ligado por uma hora para garantir um tempo de auto-aquecimento (warm-up). O termopar é inserido na célula de ponto fixo quando esta está na temperatura ambiente.

A calibração é realizada do ponto de temperatura de valor mais alto (Ag) para o de mais baixo valor (Ga).

No caso do ponto fixo do gálio, as medições são efetuadas durante o processo de fusão, pois na solidificação o material se dilata, dificultando a realização do ponto. Nos outros pontos, as medições das fems do termopar são realizadas em ambos os processos de fusão e solidificação.

A duração dos patamares depende das temperaturas reguladas nos meios térmicos. Assim, pode-se variar tanto o tempo de fusão quanto o de solidificação das substâncias.

Geralmente se ajusta a temperatura do controlador dos fornos de 1°C a 2°C acima do valor de definição do ponto fixo para se conseguir um platô de fusão de várias horas de duração. Já no procedimento de solidificação, primeiro regula-se a temperatura cerca de 3°C a 5°C abaixo do ponto fixo. Quando ocorre o fenômeno da recalcência (formação da primeira porção de material sólido no lingote do material), regula-se a temperatura do forno para cerca de 0,5°C abaixo do valor de definição do ponto.

Após o término das medições, os dados são tratados em planilhas eletrônicas, onde são construídos os gráficos e calculados as médias e os desvios padrão.

Na figura abaixo, tem-se um gráfico de realização do ponto fusão da prata com o termopar Au/Pt INM 2003-01.

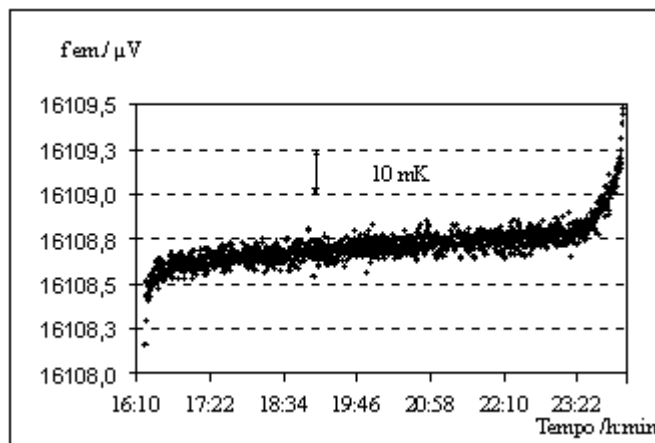


Figura 3: Gráfico da fusão no ponto da prata do termopar Au-Pt, INM 2003-01--- célula Ag23 (961,78°C). Valor corrigido da fem média= 16108,605 µV, em 26/02/2003.

### 5. RESULTADOS

As medições com o termopar Au/Pt INM 2003-01 em pontos fixos foram iniciadas em fevereiro de 2003. Nas tabelas exibidas a seguir são mostrados os resultados das medições em cada ponto, com o respectivo desvio padrão em tensão elétrica e em temperatura.

Os valores médios das forças eletromotrizes do termopar foram corrigidos pelo certificado de cada instrumento.

Nas tabelas a abreviatura fem cor. significa força eletromotriz corrigida.

Tabela 1 - Medições de fem do termopar INM 2003-01 no ponto fixo da prata

Célula	Ponto	Data	Voltímetro	Fem cor. /µV
Ag23	Fusão	24/02/03	HP 3457A	16108,156
Ag23	Solid.	25/02/03	HP 3457A	16108,440
Ag23	Fusão	25/02/03	HP 3457A	16108,448
Ag23	Solid.	26/02/03	HP 3457A	16108,354
Ag23	Fusão	26/02/03	HP 3457A	16108,605
Ag23	Solid.	27/02/03	HP 3457A	16108,531
Ag23	Fusão	27/02/03	HP 3457A	16108,644
Ag23	Solid.	28/02/03	HP 3457A	16108,638
Ag23	Fusão	21/05/03	Keithley 182	16108,661
Ag23	Solid.	22/05/03	Keithley 182	16108,504
Desvio Padrão / µV =				0,158
Desvio Padrão / °C =				0,006

Tabela 2 - Medições de fem do termopar INM 2003-01 no ponto fixo do alumínio.

Célula	Ponto	Data	Voltímetro	Fem cor. / $\mu$ V
Al 34	Solid.	12/03/03	HP 3457A	9312,677
Al 34	Fusão	13/03/03	HP 3457A	9312,666
Al 34	Solid.	14/03/03	HP 3457A	9312,692
Al 34	Solid.	17/06/03	HP 3457A	9312,318
Desvio Padrão / $\mu$ V =				0,180
Desvio Padrão / $^{\circ}$ C =				0,009

Tabela 3 - Medições de fem do termopar INM 2003-01 no ponto fixo do zinco

Célula	Ponto	Data	Voltímetro	Fem cor. / $\mu$ V
Zn33	Fusão	17/03/03	HP 3457A	4941,237
Zn33	Solid.	18/03/03	HP 3457A	4941,142
Zn33	Fusão	19/03/03	HP 3457A	4941,037
Zn33	Solid.	20/03/03	HP 3457A	4941,161
Zn33	Fusão	21/03/03	HP 3457A	4941,003
Zn33	Solid.	21/03/03	HP 3457A	4941,173
L&N	Solid.	03/07/03	Keithley 182	4941,365
Desvio Padrão / $\mu$ V =				0,121
Desvio Padrão / $^{\circ}$ C =				0,008

Tabela 4 - Medições de fem do termopar INM 2003-01 no ponto fixo do estanho

Célula	Ponto	Data	Voltímetro	Fem cor. / $\mu$ V
Sn32	Fusão	24/03/03	Keithley 182	2234,444
Sn32	Fusão	25/03/03	Keithley 182	2234,462
L&N	Fusão	07/07/03	Keithley 182	2234,572
L&N	Fusão	09/07/03	Keithley 182	2234,434
Desvio Padrão / $\mu$ V =				0,064
Desvio Padrão / $^{\circ}$ C =				0,005

Tabela 5 - Medições de fem do termopar INM 2003-01 no ponto fixo do índio

Célula	Ponto	Data	Voltímetro	Fem cor. / $\mu$ V
In46	Fusão	07/04/03	HP 3457A	1349,193
In46	Solid.	07/04/03	HP 3457A	1349,077
In46	Fusão	08/04/03	Keithley 182	1349,365
In46	Solid.	09/04/03	Keithley 182	1349,341
In46	Fusão	10/04/03	Keithley 182	1349,351
In46	Solid.	11/04/03	Keithley 182	1349,326
Desvio Padrão / $\mu$ V =				0,116
Desvio Padrão / $^{\circ}$ C =				0,011

Tabela 6 - Medições de fem do termopar INM 2003-01 no ponto fixo do gálio.

Célula	Ponto	Data	Voltímetro	Fem cor. / $\mu$ V
Ga45	Fusão	14/04/03	Keithley 182	196,034
Ga115	Fusão	15/04/03	Keithley 182	195,840
Ga115	Fusão	22/04/03	Keithley 182	195,948
Ga45	Fusão	23/04/03	Keithley 182	195,998
Desvio Padrão / $\mu$ V =				0,084
Desvio Padrão / $^{\circ}$ C =				0,012

## 6. AVALIAÇÃO DA NÃO-HOMOGENEIDADE DOS FIOS DO TERMOPAR AU-PT INM 2003-01

A avaliação da não-homogeneidade dos fios do termopar INM 2003-01 foi realizada com o levantamento do sensor dentro de células de ponto fixo. Normalmente este levantamento é realizado durante o patamar de solidificação. Ele pode ser realizado também em banhos termostáticos de grande uniformidade térmica. No caso apresentado, o levantamento foi feito nos pontos do alumínio e prata.

A posição 18cm nos gráficos representa o termopar totalmente imerso na célula (junta de medição no fundo do poço termométrico). A posição 0cm representa o termopar fora da célula, ou seja, a junta de medição já não se encontra na região onde está o lingote do material.

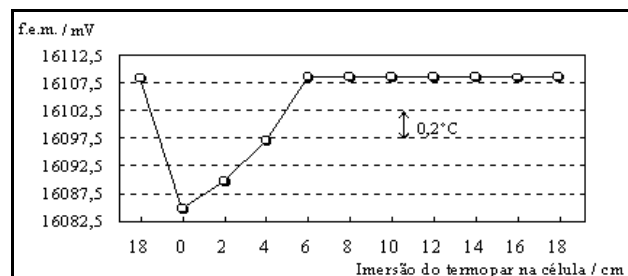


Figura 4: Curva de levantamento da não-homogeneidade do termopar Au/Pt INM 2003-01 na célula do ponto fixo da prata.

Na figura acima se observa que a partir do fundo do poço termométrico da célula, a fem praticamente não se alterou, dentro de uma resolução de  $0,2^{\circ}$ C, nos doze primeiros centímetros. Quando a junção de medição do termopar estava fora da célula (posição 0cm), a fem reduziu seu valor em aproximadamente  $1^{\circ}$ C, o que significa que o termopar estava medindo a temperatura do forno.

A figura 5 mostra uma ampliação do gráfico anterior correspondente às posições de 6 a 18cm. Neste gráfico, percebe-se a influência das não-homogeneidades, que fazem a fem aumentar em cerca de  $0,01^{\circ}$ C nos primeiros 12cm avaliados (a maior variação se deu a 6cm do fundo – posição 12cm). Percebe-se pelos gráficos que a não-homogeneidade é mínima.

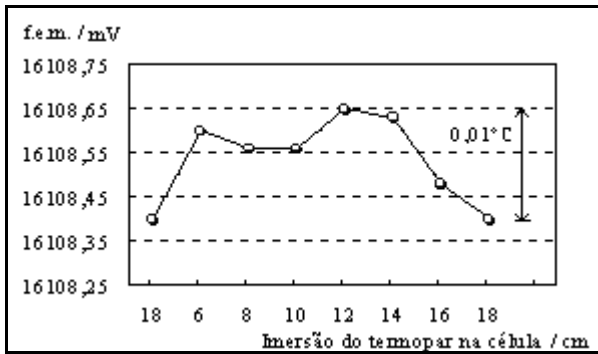


Figura 5: Ampliação do gráfico anterior (figura 4) para imersões de 6cm a 18cm.

No gráfico da figura 6, observa-se uma variação semelhante das forças eletromotrizas com o levantamento do termopar na célula do alumínio, em que a maior variação ocorreu na posição 4cm – a amplitude foi cerca de 0,017°C, dentro de 14cm de levantamento. Neste caso a fem do termopar diminuiu pouco na posição 0cm porque a temperatura do forno estava ajustada para cerca de 0,1°C abaixo da temperatura do ponto fixo.

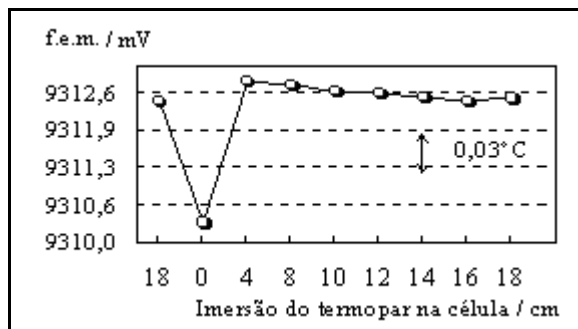


Figura 6: Curva de levantamento da não-homogeneidade do termopar Au/Pt INM 2003-01 na célula do ponto fixo do alumínio.

## 7. AVALIAÇÃO DAS INCERTEZAS

A abordagem para o tratamento das incertezas é a mesma usada em [9]. As tabelas 7 e 8 adiante apresentam a mesma forma do trabalho citado. Naquele artigo, assim como neste, a principal contribuição para a incerteza combinada é proveniente da estabilidade do termopar ao longo do tempo. Conquanto esta seja determinada para a liga dos fios do termopar, nestes trabalhos consideramos a medida da estabilidade através da reprodutibilidade da calibração de um mesmo artefato em calibrações repetidas para os vários pontos fixos.

A reprodutibilidade do termopar ao longo do tempo foi determinada pelo desvio padrão dos valores médios de fem de cada ponto fixo. O ponto da prata foi realizado 10 vezes, fusões e solidificações, totalizando mais de 120 horas de uso com um desvio padrão de 6mK. O número de realizações do ponto da prata foi maior a fim de estabilizar o termopar e evitar o efeito da oxidação, o qual não influencia o termopar nesta temperatura (961,78°C).

Somente são apresentadas as planilhas de incerteza dos pontos da prata e do gálio. A primeira por ser a temperatura

mais elevada e ter a maior contribuição de um ponto fixo, 7mK. A do gálio por apresentar a maior contribuição em reprodutibilidade, 12mK.

Tabela 7 : Incerteza de calibração no ponto da prata

Contribuição da Incerteza	Incerteza padrão / $\pm$ mK
Célula do ponto fixo	7,0
Reprodutibilidade	6,0
Junção de referência	2,9
Calibração do voltímetro	8,9
Resolução do voltímetro	0,2
Desvio padrão das leituras	0,8
Incerteza combinada	13,2

A incerteza expandida calculada com  $k = 2$  no ponto da prata é 26mK.

Tabela 8 : Incerteza de calibração no ponto do gálio

Contribuição da Incerteza	Incerteza padrão / $\pm$ mK
Célula do ponto fixo	1
Reprodutibilidade	12
Junção de referência	2,9
Calibração do voltímetro	10,5
Resolução do voltímetro	0,14
Desvio padrão das leituras	0,05
Incerteza combinada	16,2

A incerteza expandida calculada com  $k = 2$  no ponto do gálio é 32mK.

## 8. CONCLUSÕES

Não obstante a literatura recomende a construção de termopares Au/Pt empregando uma mola na junção de referência, o presente trabalho mostra que outra solução também é possível sem o uso de um terceiro fio de diâmetro menor. Esta solução simplifica a montagem.

Com relação ao desempenho, a não-homogeneidade encontrada pode ser atribuída mais ao fio de platina, pois este tinha uma pureza de 99,998% contra 99,999% do fio de ouro. Contudo, percebe-se pelos resultados encontrados que o erro provocado pela não-homogeneidade, é inferior a incerteza de calibração, se computados os 8 centímetros iniciais de imersão no lingote da célula, região isotérmica livre de transferência de calor.

Como o coeficiente de Seebeck do termopar Au/Pt varia de aproximadamente  $25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  no ponto da prata a  $7\mu\text{V}/^\circ\text{C}$  no ponto o gálio, a reprodutibilidade do termopar, avaliada através do desvio padrão da população dos resultados de cada ponto fixo, é mais significativa no ponto do gálio o que no ponto da prata.

A reprodutibilidade foi avaliada num intervalo de tempo de 120 horas. Espera-se que o termopar mantenha esta característica por um prazo maior. Com fios de pureza mais

elevada (5 novas) uma estabilidade desta ordem foi avaliada em 1500 horas [10].

O uso do termopar Au/Pt com todos os cuidados para prevenir a contaminação dos fios com ions metálicos provenientes dos meios térmicos, possibilita um termômetro padrão com uma incerteza entre 20mK e 30mK, com  $k=2$ . Entretanto sua utilização por laboratórios sem estas precauções deve ser investigada para se obter uma incerteza realística devido a mudança das condições de operação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) que viabilizou a realização deste trabalho de pesquisa através do programa PADCT III (Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

## REFERÊNCIAS

1. Bedford, R.E., Bonnier, G., Maas, H. e Pavese, F., TECHNIQUES FOR APPROXIMATING THE INTERNATIONAL TEMPERATURE SCALE OF 1990 - Monograph CCT/WG2 - BIPM, 1990, pp.159 .
2. S. G. Petkovic, F.A.L. Goulart e M. S. Monteiro, CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES POR PONTOS FIXOS NO INMETRO - A RASTREABILIDADE DESSES PADRÕES NA RBC, anais do evento Metrologia 2000, São Paulo, S.P., Brasil, volume ENLAB 2000, pp 227-238.
3. S. G. Petkovic, F.A.L. Goulart and M. S. Monteiro, FIXED POINT CALIBRATION OF THERMOCOUPLES IN BRAZIL, anais do evento National Conference for Standard Laboratories International (NCSLI 2001) Washington D.C., EUA, 2001.
4. S. G. Petkovic , F.A.L. Goulart, F. D. Campos, M. S. Monteiro, P.R.F. Santos, INHOMOGENEITY INFLUENCE IN THERMOCOUPLE CALIBRATIONS, anais do evento National Conference for Standard Laboratories International (NCSLI 2002), San Diego, EUA, 2002.
5. E.H. McLaren and E.G.Murdock, The Pt/Au Thermocouple – NNRC 27703, Ottawa, Canada, 1987.
6. Preston-Thomas, H. , Bloembergen, B. , and Quinn, T. J., *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*, 1990, Monograph CCT/WG1, BIPM, Sèvres, France, 1990, pp. 29-78.
7. Preston-Thomas, H., *Metrologia* **27**, 3-10 (1990).
8. Santiago, J.F.N., Petkovic, S.G., Teixeira, R.N., Noatsch, U., and Thiele-Krivoj, B., “Comparison of Fixed-Point Realizations between Inmetro and PTB”, in *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry*, Vol. 7, editado por D. C. Ripple et al., AIP Conference Proceedings, Melville, New York, 2003 “em publicação”.
9. Slavoljub G. Petkovic , Fernando .A. L. Goulart, Fabio. D. Campos, Hamilton D. Vieira, Klaus N. Quelhas, Marcelo S. Monteiro, Paulo R. F. Santos, “FIXED POINT CALIBRATION FOR TYPE N THERMOCOUPLES IN THE 0°C TO 1000°C RANGE”, XVII IMEKO World Congress, Dubrovnik, 2003
10. M. S. Monteiro, A. F. Orlando, "Avaliação metrológica da estabilidade termoelétrica de termopar AuPt", PUC-Rio (Dissertação de *Mestrado*), 2002.

---

## Autores:

Slavoljub Garcia Petkovic, Inmetro, Laboratório de Termometria, Av. Nossa Senhora das Graças, 50 Xerém Cep: 25250-020 Duque de Caxias, RJ, Brasil, Tel: 55.21.2679-9058 Fax: 55.21.2679-9027 e-mail: [sgpetkovic@inmetro.gov.br](mailto:sgpetkovic@inmetro.gov.br)

Rodrigo da Silva, Consistec – Controles e Sistemas de Automação Ltda / Inmetro - Av. Nossa Senhora das Graças, 50 Xerém Cep: 25250-020, Duque de Caxias, RJ, Brasil, Tel: 55.21.2679-9019 Fax: 55.21.2679-9027 e-mail: [rdasilva@inmetro.gov.br](mailto:rdasilva@inmetro.gov.br)

Paulo Roberto da Fonseca Santos, Inmetro, Divisão de Metrologia Térmica, Av. Nossa Senhora das Graças, 50 Xerém Cep: 25250-020 Duque de Caxias, RJ, Brasil, Tel: 55.21.2679-9019 Fax: 55.21.2679-9027 e-mail: [prsantos@inmetro.gov.br](mailto:prsantos@inmetro.gov.br)

Hamilton Davidson Vieira, Inmetro, Laboratório de Termometria, Av. Nossa Senhora das Graças, 50 Xerém Cep: 25250-020 Duque de Caxias, RJ, Brasil, Tel: 55.21.2679-9056 Fax: 55.21.2679-9027 e-mail: [hdvieira@inmetro.gov.br](mailto:hdvieira@inmetro.gov.br)

Klaus Natorf Quelhas, Inmetro, Laboratório de Termometria, Av. Nossa Senhora das Graças, 50 Xerém Cep: 25250-020 Duque de Caxias, RJ, Brasil, Tel: 55.21.2679-9056 Fax: 55.21.2679-9027 e-mail: [knquelhas@inmetro.gov.br](mailto:knquelhas@inmetro.gov.br)

Marcelo dos Santos Monteiro, Inmetro, Laboratório de Termometria, Av. Nossa Senhora das Graças, 50 Xerém Cep: 25250-020 Duque de Caxias, RJ, Brasil, Tel: 55.21.2679-9059 Fax: 55.21.2679-9027 e-mail: [msmonteiro@inmetro.gov.br](mailto:msmonteiro@inmetro.gov.br)

---