

SISTEMÁTICA PARA AVALIAÇÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DA ESPESSURA DE CAMADA DE ZINCO¹

Graziela de Lima²

Luiz Veriano O. Dalla Valentina³

Wilson Luiz Guesser⁴

Resumo

Este trabalho apresenta uma sistemática de avaliação da incerteza na medição da espessura de camada de zinco em conexões de ferro fundido. Através de experimentos práticos, são apresentadas e comentadas as principais fontes que contribuem para a incerteza da medição do revestimento de zinco, bem como as estimativas e cálculos que leve à incerteza expandida.

Palavras-chave: Medição da espessura; Camada de zinco; Incerteza de medição.

SYSTEMATIC FOR EVALUATION OF THE UNCERTAINTY OF MEASUREMENT OF THE GALVANIZING COATING THICKNESS

Abstract

This work presents a systematic of evaluation of the uncertainty in the measurement of the galvanizing coating thickness in cast iron fittings. Through practical experiments, they are presented and commented on the main sources that contribute to the uncertainty of the measurement of galvanizing coating, as well as the estimates and calculations that light to the expanded uncertainty.

Key-words: Measurement of the thickness; Galvanizing coating; Measurement uncertainty.

¹ Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Estudante do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Engenheira Química da Tupy Fundições.

³ Professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, Chefe do Dept. Eng. Mecânica da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

⁴ Professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Diretor Gerente da Engenharia Metalúrgica da Tupy Fundições.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Revestimento de Zinco

A galvanização por imersão a quente consiste em imergir o substrato com superfície preparada e limpa em um banho de zinco fundido o qual reage com o ferro formando uma camada de proteção. Esta camada é composta de: (1) revestimento externo de zinco e; (2) uma camada interfacial entre o revestimento externo e o substrato de aço contendo uma série de compostos intermetálicos. O desenvolvimento destes compostos intermetálicos é governado pelo fenômeno de difusão do zinco puro no substrato de aço e a formação da camada mais externa, composta praticamente de zinco puro, é função da tensão superficial do banho.^(1,2)

As características do produto dependem da presença e distribuição desses compostos intermetálicos zinco/ferro no revestimento e o desenvolvimento de cada um dos compostos pode ser afetado pelo tempo de imersão, temperatura, taxa de resfriamento e composição química do banho e do substrato de aço.^(3,4)

A espessura do revestimento para peças em geral varia de 75 a 125 μm sendo os mínimos especificados para o peso do revestimento equivalentes às espessuras de 40 a 80 μm de acordo com a espessura da peça. Entretanto, as espessuras reais da cobertura são muitas vezes maiores do que as mínimas especificadas (são comuns espessuras de 150 a 200 μm em estruturas de aço), dependendo da composição do metal-base e da aspereza da superfície.⁽⁵⁾

A estrutura e a espessura dos compostos intermetálicos zinco/ferro formados no revestimento são principalmente determinados pela presença ou ausência de silício no metal a ser galvanizado. A presença de silício em certos níveis (acima de 0,3% em peso) nos aços conhecidos como aço reativo pode resultar em um rápido crescimento das camadas de compostos zinco/ferro, produzindo um revestimento de espessura excessiva (200 a 300 μm), com aparência acinzentada e com pobre aderência.^(6,7,8,9)

Uma alternativa para eliminar a reatividade do silício é adicionar elementos químicos ao banho de zinco que diminuam a reatividade deste com o aço. Além da eliminação da reatividade do silício, adições especiais de elementos químicos reduzem a espessura do revestimento, aumentam a ductilidade, melhoram as propriedades mecânicas, influenciam no comportamento em condições corrosivas e no ataques das cubas de galvanização e reduzem o consumo do zinco.^(1,2)

O chumbo é um elemento químico freqüentemente adicionado aos banhos de galvanização, pois favorece a formação de espessuras de camada menores, auxiliando no controle do crescimento dos compostos intermetálicos nos aços reativos e reduzindo o consumo de zinco, levando assim a benefícios financeiros importantes para a indústria de galvanização.⁽¹⁰⁾ Entretanto, o chumbo é considerado nocivo ao meio ambiente, sendo, além disso, um elemento acumulativo no organismo humano, aumentando sua concentração até alcançar níveis tóxicos.

O banho de zinco com pequenas adições de bismuto tem a mesma propriedade de tensão superficial de um banho de zinco com adições de chumbo, portanto o bismuto está sendo proposto para substituir o uso do chumbo na galvanização. O bismuto aumenta a fluidez do banho proporcionando peças galvanizadas sem excesso de zinco e tem a vantagem de não ser nocivo ao meio ambiente.^(11,12,13)

O níquel é adicionado ao banho de zinco por proporcionar um revestimento liso e brilhante. Com a utilização de níquel não é obtido excesso de revestimento, resultando em uma economia de zinco e tornando as fases contínuas e compactas.^(14,15)

O objetivo da adição de estanho é obter cristais de zinco maiores e aumentar o brilho. Os cristais das fases intermetálicas apresentam-se maiores que o usual tornando a camada menos espessa e mais compacta.^(1,16)

Portanto, existem diferentes alternativas de adição ao banho de zinco, cada qual diminuindo a velocidade de formação das camadas zinco/ferro por diferentes mecanismos. Com o objetivo de avaliar a influência destes elementos (bismuto, níquel, estanho e alumínio) na espessura do revestimento galvanizado em ferro fundido maleável preto foram realizados experimentos práticos.

Neste caso, o resultado de uma medição (RM) expressa propriamente o que se pode determinar com segurança sobre o valor do mensurando (espessura da camada de zinco), a partir da aplicação do sistema de medição sobre esta. É composto de duas parcelas:

a) o denominado resultado base (RB), que corresponde ao valor central da faixa onde deve situar-se o valor verdadeiro do mensurando (espessura da camada de zinco);

b) e a incerteza da medição (U), que exprime a faixa de dúvida ainda presente no resultado, provocada pelos erros presentes no sistema de medição (medidor de espessura) e/ou variações do mensurando (espessura da camada de zinco), e deve sempre ser acompanhado da unidade do mensurando. Assim, o resultado de uma medição (RM) deve ser sempre expresso por:

$$RM = (RB \pm U) \text{ [unidade]}$$

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma sistemática para avaliação da incerteza de medição da espessura de camada de zinco.

1.2 Sistemática para a Determinação da Incerteza de Medição

A incerteza de medição é a dúvida acerca da validade do resultado de uma medição.⁽¹⁷⁾ Segundo o VIM (Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia)⁽¹⁸⁾, define-se incerteza como: “parâmetro, associado com o resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão de valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando”. A incerteza, portanto, está associada ao resultado da medição. Não corresponde ao efeito aleatório do sistema de medição, embora este seja uma das suas componentes. Outras componentes são decorrentes da ação de grandezas de influência sobre o processo de medição, as incertezas da tendência (ou da correção), número de medições efetuadas, resolução limitada, etc. Não há, portanto, uma relação matemática explícita entre a incerteza de um processo de medição e a repetitividade de um sistema de medição.

Sem a indicação da incerteza, os resultados da medição da espessura da camada de zinco não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência ou norma. Portanto, não é suficiente expressar o valor numérico dos corpos de prova medidos, mas também indicar quantitativamente a qualidade do resultado de

uma medição (RM). Ou seja, ao resultado de medição deve ser acrescentada uma declaração sobre a confiança associada a ele, isto é a incerteza de medição expandida (U).

A sistemática apresentada é baseada no Guia para Expressão da Incerteza de Medição,⁽¹⁹⁾ e publicações no Brasil do INMETRO/ABNT⁽²⁰⁾ e nas recomendações do EA-4-02- Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (1996), da European Co-Operation for Accreditation⁽²¹⁾. A sistemática adotada para a determinação da incerteza de medição está dividida em oito etapas:

- 1) caracterização do processo de medição da espessura da camada de zinco em conexões de ferro fundido;
- 2) identificação das fontes de incertezas;
- 3) estimativa da correção (efeitos sistemáticos);
- 4) cálculo da correção combinada;
- 5) estimativa da incerteza de medição padrão (efeitos aleatórios);
- 6) cálculo da incerteza combinada;
- 7) cálculo da incerteza expandida (U) e
- 8) expressão do resultado da medição.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aplicação da Sistemática para Avaliação da Incerteza de Medição da Espessura de Camada de Zinco

A sistemática proposta foi aplicada em uma linha piloto de galvanização da empresa Tupy Fundições. Para tal foram utilizados como corpos-de-prova conexões de 3/4" (19,05 mm) fabricadas em ferro fundido maleável preto. Os experimentos foram realizados em uma linha piloto de galvanização, imergindo as peças em uma cuba de 7 toneladas de zinco (zinco SHG – Special High Grade – pureza de 99,99%). A cuba provida de aquecimento elétrico foi mantida durante os experimentos em uma temperatura de (450 ± 5) °C.

Para este trabalho foram adicionados ao banho de zinco os seguintes elementos químicos: bismuto (concentração de 0,06 e 0,1%), níquel (concentração de 0,003 e 0,05%), estanho (concentração de 0,3 e 0,5%) e alumínio (concentração de 0,01 e 0,14%).

Após a adição dos elementos, uma amostra do zinco fundido foi analisada em Espectrofotômetro de Absorção Atômica para que houvesse a confirmação dos valores de concentração de cada elemento adicionado.

Para realização da imersão na liga preparada, os corpos-de-prova foram decapados em uma solução de ácido muriático (34,02%), ácido fluorídrico (1,78%) e inibidor (2,96%) por aproximadamente 25 minutos. Após a decapagem os corpos-de-prova seguiram para um tanque de enxágüe e para um tanque contendo uma solução de cloreto de zinco e cloreto de amônio por um período de 1 a 2 minutos (processo de fluxagem). Após o processo de fluxagem os corpos-de-prova foram galvanizados. As ações de imersão e retirada das peças do tacho foram realizadas manualmente e o tempo de imersão foi estipulado em 60 segundos.

Após a retirada da gancheira contendo os corpos-de-prova, o excesso de zinco foi removido das peças mediante vibração e em seguida resfriado rapidamente em água a uma temperatura de 90°C. O tempo decorrido entre a retirada do banho de zinco e o resfriamento foi de no máximo 30 segundos.

2.1.1 Caracterização do processo de medição da espessura da camada de zinco em conexões de ferro fundido

Esta etapa compreende os diversos fenômenos envolvidos no processo de medição da espessura da camada de zinco.

As medidas da espessura da camada de zinco foram realizadas utilizando o sistema de medição digital Deltascope MP2, o qual utiliza como princípio de medição a indução eletromagnética. O sistema de medição empregado possui uma faixa de medição de 0 a 1 mm, resolução de 0,1 μm , tendência de 0,43 μm e incerteza de 6,2 μm ($K=2$), segundo o certificado de calibração emitido pelo Laboratório de Metrologia da Tupy Fundições em junho de 2006. Para cada experimento foram utilizadas dez amostras de conexões de ferro fundido e para cada amostra a média dos valores foi calculada a partir de dez medidas de espessura em diversas posições das mesmas. A tabela 1 apresenta os valores médios e o desvio padrão da medição de três experimentos.

Tabela 1. Valores médios (MI) e desvio padrão (S) dos experimentos.

Experimento	Composição	Valores (μm)
A	0,10% Bismuto e 0,05% Níquel.	MI = 99,5 S = 10,5
B	0,10% Bismuto; 0,05% Níquel e 0,3% Estanho.	MI = 94,8 S = 8,7
C	0,10% Bismuto; 0,05% Níquel; 0,3% Estanho e 0,01% de Alumínio.	MI = 87,9 S = 8,4

2.1.2 Identificação das fontes de incertezas

Nesta etapa é necessário identificar as várias fontes de incertezas que agem sobre um processo de medição. É fundamental conhecer muito bem o processo de medição da espessura da camada de zinco. Com auxílio de um diagrama de causa e efeito pode-se identificar tudo que pode trazer influências sobre o resultado deste processo de medição. Normalmente as fontes de incertezas estão contidas nos meios e métodos de medição, no ambiente e na definição do mensurando. Neste caso da medição da espessura da camada de zinco identificaram-se as seguintes fontes de incerteza relevantes: tendência do sistema de medição, incerteza de calibração do sistema de medição de espessura; resolução do sistema de medição de espessura; e a não repetitividade dos valores do mensurando (desvio padrão das indicações).

2.1.3 Estimativa da correção (efeitos sistemáticos):

Nesta etapa é necessário identificar os efeitos de natureza sistemática que atuam no processo de medição. A correção é o parâmetro que deve ser adicionado à indicação para corrigir os efeitos sistemáticos da fonte de incertezas. Se fossem perfeitamente determinadas, as influências dos efeitos sistemáticos poderiam ser exatamente compensadas por sua correção. Entretanto, como o valor da correção

nunca pode ser perfeitamente conhecido, a correção dos efeitos sistemáticos não pode ser perfeita, o que dá origem a uma incerteza residual. O certificado de calibração do medidor de espessura apresenta valores de tendência igual a 0,43 µm (para a faixa de medição utilizada). O que significa uma correção de – 0,43 µm (estimativa para corrigir os efeitos de natureza sistemática).

2.1.4 Cálculo da correção combinada

As componentes sistemáticas de cada fonte de incertezas devem ser combinadas por soma algébrica simples. Como explicado na etapa 2.1.3 foi possível estimar estes efeitos sistemáticos somente para o medidor de espessura e consequentemente a correção combinada (C_c) é igual a – 0,43 µm.

2.1.5 Estimativa da incerteza de medição padrão (efeitos aleatórios)

Nesta etapa estima-se a incerteza padrão que é uma medida relacionada aos erros aleatórios trazidos pelas fontes de incertezas identificadas na etapa 3.1.2. Esta incerteza padrão (u) é definida como a faixa de dispersão em torno do valor central equivalente a um desvio padrão. Portanto, corresponde ao desvio padrão do erro aleatório associado à fonte de incertezas. A estimativa da incerteza padrão associada a uma fonte de incertezas pode ser efetuada através de procedimentos estatísticos - tipo A (desvio padrão das indicações) ou por outros meios não estatísticos - tipo B, como resolução e a incerteza do medidor de espessura (obtida através do certificado de calibração). O número de graus de liberdade envolvidos na determinação de cada incerteza de medição padrão (tipo A) é dado pelo número de medições independentes efetuadas menos um. Nos casos (tipo B) em que a forma da distribuição de probabilidade é assumida como conhecida, como é o caso da distribuição retangular, recomenda-se que o número de graus de liberdade adotado seja infinito.⁽²⁰⁾

2.1.6 Cálculo da incerteza combinada

Os efeitos aleatórios de cada fonte de incertezas devem ser considerados para compor a chamada incerteza padrão combinada. A incerteza combinada (u_c) de um processo de medição da espessura da camada de zinco é estimada considerando a ação simultânea de todas as fontes de incerteza e ainda corresponde a um desvio padrão da distribuição resultante. Ou seja:

$$(u_c)^2 = (u_c)^2 + (u_r)^2 + (u_s)^2$$

Onde:

u_c é a incerteza padrão combinada;

u_c é a incerteza padrão da calibração;

u_r é a incerteza padrão da resolução;

u_s é a incerteza padrão do desvio padrão das indicações.

Quando estas incertezas padrão são consideradas para estimar a incerteza padrão combinada, o número de graus de liberdade resultante da incerteza padrão combinada também deve ser estimado (ver referência INMETRO/ABNT, 2003).

2.1.7 Cálculo da incerteza expandida (U)

Estima-se a incerteza expandida multiplicando o fator de abrangência pela incerteza padrão combinada.⁽²⁰⁾ A denominada incerteza expandida (U) corresponde à faixa de valores que enquadra a incerteza com nível de confiança de aproximadamente 95%. É estimada por:

$$U = K_{95} \cdot u_c$$

sendo

u_c é a incerteza padrão combinada;

K_{95} é o fator de abrangência para o nível de confiança de 95%

U representa a incerteza expandida para o nível de confiança 95%

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Expressão do Resultado da Medição

Na determinação do resultado de medição (RM) devem-se considerar além das informações da correção combinada (C_c) e da incerteza expandida (U), as condições reais do processo de medição, incluindo o número de medições efetuadas e os limites de variação das grandezas de influência. No caso em que “n” diferentes medições forem efetuadas, o resultado da medição pode ser avaliado a partir da média das “n” indicações disponíveis (MI) por:

$$RM = MI + C_c \pm U \text{ [unidade]}$$

No intuito de sistematizar o procedimento para estimar a correção combinada e a incerteza expandida associadas ao processo de medição da espessura da camada de zinco foi organizada em tabelas (ver tabelas 2, 3 e 4). Esta é denominada de balanço de incertezas do processo de medição.

Tabela 2. Balanço de incertezas na medição do experimento A.

Fontes de Incertezas	Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios				
		Valor Bruto (μm)	Tipo de Distribuição	Divisor	u (μm)	v
Correção – C_{MD}	- 0,43	-	-	-	-	-
Incerteza da Calibração - U_c	-	6,2	Normal	2	3,1	α
Resolução - R	-	0,1/2	Retangular	$\sqrt{3}$	0,03	α
Desvio padrão - S	-	10,5	Normal	$\sqrt{10}$	3,32	9
Correção Combinada - C_c	- 0,43					
Incerteza Padrão Combinada - u_c			Normal		4,5	
Incerteza Expandida – U(95%)	K= 2,08		Normal		9,5	32
Resultado de Medição (RM = MI + $C_c \pm U$)		RM = (99,5 – 0,43) \pm 9,5 μm RM = 99,1 \pm 9,5 μm				

Tabela 3. Balanço de incertezas na medição do experimento B.

Fontes de Incertezas	Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios				
Descrição	Correção (μm)	Valor Bruto (μm)	Tipo de Distribuição	Divisor	u (μm)	v
Correção – C_{MD}	- 0,43	-	-	-	-	-
Incerteza da Calibração - U_c	-	6,2	Normal	2	3,1	α
Resolução - R	-	0,1/2	Retangular	$\sqrt{3}$	0,03	α
Desvio padrão - S	-	8,7	Normal	$\sqrt{10}$	2,75	9
Correção Combinada - C_c	- 0,43					
Incerteza Padrão Combinada - u_c			Normal		4,1	
Incerteza Expandida – U(95%)	K= 2,06		Normal		8,5	46
Resultado de Medição (RM = MI + $C_c \pm U$)		RM = (94,8 – 0,43) \pm 8,5 μm				
		RM = 94,4 \pm 8,5 μm				

Tabela 4. Balanço de incertezas na medição do experimento C.

Fontes de Incertezas	Efeitos Sistemáticos	Efeitos Aleatórios				
Descrição	Correção (μm)	Valor Bruto (μm)	Tipo de Distribuição	Divisor	u (μm)	v
Correção – C_{MD}	- 0,43	-	-	-	-	-
Incerteza da Calibração - U_c	-	6,2	Normal	2	3,1	α
Resolução - R	-	0,1/2	Retangular	$\sqrt{3}$	0,03	α
Desvio padrão - S	-	8,4	Normal	$\sqrt{10}$	2,26	9
Correção Combinada - C_c	- 0,43					
Incerteza Padrão Combinada - u_c			Normal		4,1	
Incerteza Expandida – U(95%)	K= 2,05		Normal		8,4	50
Resultado de Medição (RM = MI + $C_c \pm U$)		RM = (87,9 – 0,43) \pm 8,4 μm				
		RM = 87,5 \pm 8,4 μm				

4 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma sistemática de avaliação da incerteza de medição que contribui para estimar as diversas fontes de incerteza durante o processo de medição da espessura da camada de zinco. Através desta sistemática determinou-se o resultado de medição, que considera os efeitos de natureza sistemática e aleatória, com níveis de confiabilidade preestabelecidos e reconhecidos internacionalmente.

A fonte que mais contribuiu para a incerteza combinada (nos três experimentos) foi proveniente da não repetitividade nas medições de espessura da camada de zinco, representada pelo desvio padrão. Analisando-se os valores médios obtidos (MI) para os três experimentos, já com a devida correção dos efeitos sistemáticos, constatou-se

que o do experimento C apresenta a menor espessura da camada de zinco. A incerteza expandida encontrada pela sistemática adotada foi de 9,5, 8,5 e 8,4 μm respectivamente para os experimentos A, B e C. Como busca-se conseguir menores valores da camada de revestimento, o resultado de medição mais adequado foi obtido pelo experimento 14. Ou seja, comprovou-se que a adição de elementos químicos ao banho de zinco reduz a espessura da camada e conseqüentemente o consumo de zinco.

Agradecimentos

Ao professor Luiz Veriano O. Dalla Valentina pela oportunidade da realização do artigo, além da dedicação e paciência.

Ao meu orientador Wilson Luiz Guesser pelo apoio e disposição.

Ao Sr. Isaías Masiero, Tupy Fundições, pela motivação e exemplo pessoal de perseverança e competência.

A Tupy Fundições, pela oportunidade da realização das experiências contidas no artigo.

REFERÊNCIAS

- 1 BABLIK H. **Galvanizing (Hot Dip)**. 3° ed. New York, p. 157-239, 1950.
- 2 GALVANIZING ASSOCIATION. **General Galvanizing Practice**. London: White Friars Press Ltda, 1965.
- 3 MARDER, A .R. **The Metallurgy of Zinc-coated Steel**. Progress in Materials Science, v. 45, p.191-271, 2000.
- 4 CULCASI J.D.; SERÉ P.R.; ELSNER C.I.; DI SARLI A.R. **Control of the Growth of Zinc-Iron Phases in the Hot-Dip Galvanizing Process**. Surface & Coatings Technology V. 122, p.21-23, 1999.
- 5 MELHEM D. **Manual de Galvanização**. 1° ed., 1979.
- 6 FERRIER, A.; GALDON, F. **A fundamental study of the iron-zinc compounds formed during hot dip galvanizing of steel**. 12th International Galvanizing Conference, p.99-102, Paris, 1979.
- 7 REUMONT G.; PERROT P. **Thermodynamic study of the galvanizing process in a Zn-0,1%Ni bath**. Journal of Materials Science, v.33, p.4759-4768, 1998.
- 8 JINTANG L.; CHUNSHAN C. **Influence of silicon on the α -Fe/ Γ interface on Hot Dip Galvanizing Steels**. Disponível em: www.scinedirect.com. Acesso em 2005.
- 9 DISCUSSION GROUP. **Galvanizing of silicon killed steels**. 14th International Galvanizing Conference, p.6/21 – 6/25, Monique, 1985.
- 10 PAVLIDOU E.; PISTOFIDIS N. VOURLIAS G. STERGILOUDIS G. **Modification of the Growth-Direction of the Zinc Coatings Associated with Element Additions to the Galvanizing Bath**. Materials Letters, v.59, p.1619-1622, 2005.
- 11 FRATESI, R.; RUFFINI, N. MALAVOLTA M.; BELLEZZE T. **Contemporary Use of Ni and Bi in Hot Dip Galvanizing**. Surface & Coatings Technology, v.157, p.34-39, 2002.
- 12 BROWN R. **BISMUTH**. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook. U.S Bureau of Mines Bulletin 675, p. 12.1 – 12.6, 1999.

- 13 SMITH A P. **Bismuth gains role as galvanizing alloy**. American Metal Market, 2001. Disponível em: www.amm.com. Acesso em 2006.
- 14 LEWIS G. P.; PEDERSEN J. **Optimizing the Nickel-Zinc Process for Hot Dip Galvanizing**. Disponível em: www.cominco.com. Acesso em 2004.
- 15 CHEN Z.W.; KENMON N.F. **Technigalva and Other Developments in Batch Hot-Dip Galvanizing**. J. Metals, v.44, p. 22-26, 1992.
- 16 KATIFORIS N.; PAPADIMITRIOU G. **Influence of Copper, Cadmium and Tin Additions in the Galvanizing Bath on the Structure, Thickness and Cracking Behaviour of the Galvanized Coatings**. Surface & Coatings Technology, V.78, p.185-195, 1996.
- 17 KESSEL, W., Measurement Uncertainty According to ISO/BIPM-GUM. Thermochemica Acta 382, 1-16, (2002).
- 18 INMETRO. Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia. 3. ed. Rio de Janeiro, 75p. (2003).
- 19 ISO/GUM. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1st Edition, 1993, corrected and reprinted edition, 1995, International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland. (1995).
- 20 INMETRO/ABNT. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição. Terceira Edição Brasileira em Língua Portuguesa, INMETRO/ABNT. (2003).
- 21 EA-4/02. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, requirements document, 1st Edition, European co-operation for Accreditation, Utrecht, The Netherlands. (1996).