

A influência do sistema de gestão de laboratórios nos resultados dos ensaios de proficiência da construção civil

Morgana Pizzolato

Carla Schwengber ten Caten

João Alziro Herz da Jornada



Resumo

A participação de laboratórios em atividades de ensaio de proficiência (EP) é uma das formas de avaliar e demonstrar a confiabilidade das suas atividades de medição. Isso significa dizer que, por intermédio dos ensaios de proficiência (EP), pode-se avaliar a habilidade do laboratório de realizar ensaios e calibrações de forma competente. Os ensaios de proficiência fornecem informações importantes para avaliação de laboratórios, postulantes à acreditação, acreditados, notificados ou designados por agências reguladoras e para os laboratórios em geral. Este artigo teve por objetivo verificar se o tipo de sistema de gestão dos laboratórios de ensaio da construção civil do Brasil influencia nos resultados dos ensaios de proficiência (EP). Objetiva ainda discutir como contemplar o resultado dos ensaios de proficiência no cálculo da incerteza de medição dos ensaios. Como resultado do estudo, conclui-se que não existe efeito dos tipos de sistema de gestão sobre os resultados dos ensaios de proficiência (EP). Logo, foi sugerido o uso do desvio padrão dos resultados de um grupo representativo de ensaios de proficiência de determinados ensaios (químico, físico, etc.) para gerar um cálculo genérico da incerteza de medição para o setor de atuação do laboratório. Esta abordagem, além de simplificar o cálculo da incerteza de medição contempla um maior número de fontes de incerteza de medição.

Palavras-chave: *Ensaio de proficiência. Sistema de gestão de laboratórios. Incerteza de medição.*

1 Introdução

Medidas erradas ou inexatas podem conduzir a decisões erradas que podem ter conseqüências sérias como desperdício de recursos materiais, financeiros e, até mesmo, de vidas. As conseqüências humanas e econômicas de decisões erradas baseadas em medições inexatas podem ser incalculáveis. Então, é importante ter medidas seguras e exatas que sejam aceitas pelas autoridades nacionais e internacionais (BIPM, 2004).

Os laboratórios que realizam medições são fator de suma importância no momento de fornecer dados confiáveis. Uma das formas de garantir a confiabilidade das medições realizadas por laboratórios é a avaliação freqüente de seu desempenho. Os ensaios de proficiência permitem esta avaliação, conduzindo os participantes à melhoria contínua. As participações em ensaios de proficiência e em avaliações externas da qualidade são atividades que fornecem aos laboratórios, seus clientes e organismos de acreditação e reguladores uma valiosa informação sobre a medição realizada pelo laboratório (ÖRNEMARK et al., 2004).

Para Cortez et al. (2003), os laboratórios devem produzir resultados precisos e exatos o suficiente para serem usados por seus clientes para o propósito planejado. Porém, até mesmo laboratórios experientes podem produzir resultados ocasionalmente errados. Isso pode acontecer devido a vários fatores como, por exemplo: enganos humanos que causam erros aleatórios e sistemáticos. A utilização de um sistema de gestão formalmente avaliado como, por exemplo, acreditação ISO/IEC 17025 e certificação ISO 9001, pode auxiliar no controle dos fatores que geram erros na realização de calibrações e ensaios.

Este artigo tem por objetivo verificar se o tipo de sistema de gestão dos laboratórios de ensaio da construção civil do Brasil influencia nos resultados dos ensaios de proficiência. Objetiva ainda discutir como contemplar o resultado dos ensaios de proficiência no cálculo da incerteza de medição dos ensaios.

Na seção 2, este artigo aborda os sistemas de gestão de laboratórios; na seção 3, os ensaios de proficiência; na

seção 4, o desempenho dos laboratórios nos ensaios de proficiência relacionados ao seu sistema de gestão. Esta abordagem é ilustrada por um estudo experimental que analisa os resultados de ensaios de proficiência realizados por laboratórios de ensaio do setor da construção civil no Brasil. Também discute como contemplar os resultados dos ensaios de proficiência no cálculo da incerteza de medição. A seção 5 apresenta a conclusão do artigo.

2 Sistemas de gestão de laboratórios

Dentre os documentos normativos para Sistemas de Gestão da Qualidade (SGQ), utilizados por laboratórios de calibração e ensaios, pode-se citar a acreditação de acordo com os requisitos da ISO/IEC 17025, a certificação de acordo com os requisitos da ISO 9001, o código de boas práticas de laboratório (BPL) ou outros requeridos nas regulamentações governamentais ou setoriais. Um laboratório experiente pode ou não ter um sistema de gestão formalizado e avaliado. A seleção do mecanismo de avaliação da conformidade do SGQ depende do setor de atuação do laboratório e da decisão da organização para atender o cliente, portanto, eles podem ser acreditados, certificados, reconhecidos ou ter declarada a conformidade de seu SGQ de acordo com diferentes documentos normativos.

Quando um laboratório opta por ter seu SGQ baseado na ISO 9001, ele passa por uma auditoria de certificação, a qual verificará o atendimento do laboratório aos requisitos da norma. A certificação de SGQ é um tipo de avaliação da conformidade, neste caso, com base nos requisitos da ISO 9001. Esta certificação não avalia a competência técnica do laboratório em realizar ensaios e calibrações. Ela apenas verifica se a organização, no caso o laboratório, atende aos requisitos do SGQ prescritos pela norma (ISO, 2005).

O SGQ de laboratórios de calibração e ensaios, via processo de acreditação (avaliação da conformidade com base na ISO/IEC 17025), é essencialmente uma designação da competência depois de algum tipo de avaliação ou auditoria no laboratório, realizada por uma terceira parte. A acreditação depende de uma prova formal de como as medições são realizadas pelo laboratório (BIEVRE; TAYLOR, 2000).

Para ABNT (1999a), os ensaios de proficiência (EP) podem ser considerados um complemento da acreditação, pois permitem a um laboratório comparar seus resultados com os de outros laboratórios em amostras que devem ser semelhantes às aquelas realizadas pelo laboratório em seu dia-a-dia.

3 Ensaios de proficiência

De acordo com ABNT (1998), ensaio de proficiência é o uso de comparações interlaboratoriais com o propó-

sito de determinar o desempenho do laboratório para ensaios ou medições e, ainda, monitorar seu desempenho contínuo. A participação dos laboratórios em atividades de EP é uma forma de avaliar e demonstrar a confiabilidade dos dados que estão sendo gerados. Isso significa dizer que por meio dos EP pode-se avaliar a habilidade do laboratório de realizar ensaios ou medições de forma competente.

Os programas de EP foram definidos, inicialmente, como uma ferramenta para medir a qualidade dos laboratórios, possibilitando a eles monitorar seus resultados de medição, compará-los com aqueles considerados “verdadeiros”, fornecidos pelos provedores de EP. Também auxiliavam na tomada de medidas necessárias quando seus resultados ficassem fora dos limites estabelecidos pelo EP, ou seja, ter tido um desempenho insatisfatório (BOLEY; OUSSOREM, 2000 apud BOLEY et al. 2001).

A condução dos EP é realizada por provedores de EP, que têm como atividades: preparar as amostras de ensaio; realizar testes de homogeneidade; avaliar a estabilidade das amostras; distribuir as amostras; realizar a análise estatística dos resultados; avaliar o desempenho dos laboratórios; enviar o relatório final; e realizar a reunião de discussão dos resultados. O Brasil possui diversos provedores de EP, a Quadro 1 apresenta uma relação destes provedores, bem como seu escopo de atuação (INMETRO, 2007).

De acordo com Tholen (2004), os laboratórios de medicina foram um dos primeiros setores de laboratórios de ensaio a desenvolver comparações interlaboratoriais e o primeiro setor em que as comparações se tornaram compulsórias. A ISO/IEC 17025:2005 não requer participação em EP ou avaliações externas da qualidade como forma de obter ou manter a acreditação. A norma menciona “participação em comparações interlaboratoriais ou programas de ensaio de proficiência” como uma das cinco opções para garantir a qualidade do resultado dos ensaios e das calibrações, mas a participação não é mandatória. Entretanto, o Inmetro (2003), no documento NIT DICLA-026/02, coloca como necessária a participação de laboratórios de ensaio em EP, como forma de obter e manter a acreditação. Já, o A2LA (2004) coloca como necessária a participação em EP, tanto para laboratórios de calibração, como para laboratórios de ensaio. De acordo com Gust (2005), o ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*), em seus requisitos para laboratórios acreditados (ILAC, 2004), recomenda no mínimo uma participação satisfatória em EP antes da acreditação.

Para Nevel et al. (1998) e Örnemark et al. (2004), participações em EP e em avaliações externas da qualidade são atividades que fornecem aos laboratórios, seus clientes e organismos de acreditação e reguladores uma valiosa

Quadro 1. Provedores de ensaios de proficiência brasileiros e seu escopo.

Provedor do programa	Escopo
Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)	Parâmetros de controle de qualidade de água e esgoto.
Rede Metrológica do Rio Grande do Sul (RMRS)	Metrologia elétrica, metrologia mecânica, análises físico-químicas em combustíveis, metrologia dimensional, análises microbiológicas em águas, etc.
CEDAE	Águas, esgotos e áreas afins.
SENAI - Centro de Tecnologia Industrial Pedro Ribeiro (CETIND)	Análises de águas.
Centro Tecnológico de Polímeros SENAI	Ensaio em materiais elastoméricos.
Centro Tecnológico do Calçado SENAI - Novo Hamburgo/RS	Ensaio em materiais e componentes para calçados.
CIENTEC	Análise química em alimentos e análise microbiológica de alimentos.
Control-Lab	Bacteriologia, bioquímica, coagulação, drogas terapêuticas, eletroforese das proteínas, espectrofotômetro, gasometria, hematologia, hormônios, imunohematologia, imunologia, etc.
EMBRAPA	Análises de alimentos para animais, fertilidade do solo.
Estatcamp Consultoria Estatística e em Qualidade	Calibrações em vazão, pressão, rotação, torque, temperatura, potência e umidade.
Inmetro/CTLE 01 Construção civil	Ensaio de agregado graúdo, ensaio em placa cerâmica para revestimento, ensaio em asfalto, ensaio em argamassa colante, ensaio de argamassa para revestimento, etc.
Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)	Solos.
Instituto Nacional de Controle da Qualidade em Saúde	Alimentos e medicamentos.
Instituto Nacional de Tecnologia (INT) Laboratório de Metalografia e de Dureza (LAMED)	Ensaio de dureza, ensaio metalográfico para determinação de micro constituintes, determinação de tamanho de grão e determinação do teor de inclusões.
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de S.Paulo (IPT)	Cimento e concreto, lubrificantes, óleo cítrico de laranja, pasta celulósica, papel e papelão, plásticos e borracha.
Ministério da Agricultura e Pecuária e do Abastecimento (MAPA)	Micotoxinas em grãos.
Rede Metrológica Minas Gerais (RMMG)	Metrologia dimensional.
Sociedade Brasileira de Análises Clínicas (SBAC)	Análise bioquímica, hematologia, imunologia, urinálises, microbiologia, espectrofotometria, coagulação e hormônios.
Sociedade Brasileira de Citopatologia (SBC)	Citopatologia.
Sociedade Brasileira de Patologia (SBP)	Medicina, patologia cirúrgica e citopatologia não ginecológica.

Fonte: Adaptado de Inmetro (2007).

informação sobre a qualidade das medições, permitindo a esses últimos realizarem suas atividades de avaliação/ auditoria com base nos resultados dos EP. Seguindo o mesmo raciocínio, ABNT (2005) coloca que a participação em programas de EP é necessária, especialmente, quando outras ferramentas de controle de qualidade e até a própria cadeia de rastreabilidade não estão disponíveis. Ainda segundo Boley (1999), os programas de EP são uma ferramenta extremamente poderosa quando utilizada em conjunto com outras. Já, para Visser (1999), o resultado de um EP é meramente uma fotografia da qualidade de todos os laboratórios participantes no momento da medição.

Para ABNT (1999a), os programas de EP podem variar de acordo com a natureza do item de ensaio, do método

utilizado e, ainda, de acordo com o número de laboratórios participantes. Os programas de EP mais comuns são realizados por meio de: programas de comparação de medição; programas de ensaios interlaboratoriais; programas de ensaios de partidas de amostras; programas qualitativos; programas de valor conhecido; e programas de processo parcial. Estas cinco formas de realização de EP são resumidamente explicadas na Quadro 2.

É necessário observar que a norma ASTM E 1301-1995 não cita os últimos três tipos de EP apresentados na Quadro 2. Já, Nata (2004) subdivide os EP em duas categorias: comparações interlaboratoriais de ensaios (que envolvem ensaios em amostras por dois ou mais laboratórios) e cálculo do valor de consenso a partir dos resultados de todos os participantes e comparações inter-

Quadro 2. Formas de realização de EP.

Tipo	Natureza do item de ensaio	Método utilizado	Número de laboratórios envolvidos
Comparação de medição	O item de ensaio é enviado sucessivamente de um laboratório participante para outro	Os valores designados para o item de ensaio são fornecidos por um laboratório de referência, o qual pode ser a maior autoridade nacional para a medição em questão; demandam tempo para serem concluídos	Comumente realizado com grande número de laboratórios
Ensaio interlaboratoriais	São utilizadas subamostras selecionadas aleatoriamente de um determinado material. O material fornecido para ensaio deve ser de um lote que seja suficientemente homogêneo	As amostras são distribuídas simultaneamente aos laboratórios participantes, para que as medições sejam realizadas em paralelo	Comumente realizado com grande número de laboratórios
Ensaio de partidas de amostras	São utilizadas amostras de um produto ou material que são divididas em duas ou mais partes e cada laboratório participante ensaia uma parte	São utilizados por clientes de laboratórios como, por exemplo, organismos regulamentadores	Envolve comparações de dados produzidos por pequenos grupos (dois) de laboratórios, os quais estejam sendo avaliados como potenciais ou contínuos prestadores de serviços de ensaio
Programas qualitativos	Identificação de um componente de um item de ensaio específico	São programas de natureza qualitativa	Não necessitam do envolvimento de múltiplos laboratórios ou comparações interlaboratoriais
Valor conhecido	Preparação de itens de ensaio com quantidades conhecidas do mensurando sob ensaio	É possível avaliar a capacidade de um laboratório individual para ensaiar o item e fornecer resultados numéricos para comparação com o valor designado	Não necessita o envolvimento de múltiplos laboratórios
Processo parcial	O item de ensaio é o método de ensaio ou o processo de medição	Avaliam as habilidades do laboratório em realizar partes do ensaio total ou processo de medição	Não necessitam do envolvimento de múltiplos laboratórios

Fonte: Adaptado de ABNT (1999a).

laboratoriais de calibração (em que um item de teste é distribuído seqüencialmente entre dois ou mais laboratórios participantes e o resultado de cada laboratório é comparado com um valor designado).

As comparações interlaboratoriais podem ser realizadas com diferentes propósitos, dentre os quais a ABNT (1999a) cita: determinação do desempenho de laboratórios individuais para ensaios ou medições específicos e monitoração do desempenho contínuo do laboratório; identificação de problemas em laboratórios e início de ações corretivas que podem ser relacionadas, por exemplo, ao desempenho individual do pessoal ou à calibração dos instrumentos; estabelecimento da efetividade e da comparabilidade de novos métodos de ensaio ou medição e monitoração dos métodos estabelecidos; fornecimento de confiança adicional aos clientes do laboratório; identificação de diferenças interlaboratoriais; determinação das características de desempenho de métodos (conhecidas como processos colaborativos); atribuições de valores para materiais de referência e avaliação de sua adequação para a utilização em ensaios específicos ou procedimentos de medição.

A ISO (2002) observa que os EP por comparação interlaboratorial são utilizados para determinar o desempenho individual dos laboratórios em ensaios e calibrações específicas e monitorar seu desempenho contínuo. Segundo a norma, o desempenho de um laboratório pode ser medido estatisticamente por três propriedades: tendência, estabilidade e repetitividade. Acrescenta ainda que, pelos EP por comparação interlaboratorial, pode-se obter uma estimativa da tendência do laboratório. Entretanto, estes dados estarão afetados pela estabilidade e pela repetitividade, isso significa dizer que um laboratório apresenta resultados, numa rodada de EP, que indicam tendência que, na verdade, pode estar sendo causada pela falta de estabilidade e pela repetitividade deficiente. Este fato torna importante que o laboratório avalie regularmente suas propriedades de desempenho.

A literatura pesquisada trata do assunto ensaio de proficiência com um viés de laboratórios de ensaios analíticos, visto que esses são os que já trabalham com a ferramenta a período de tempo mais longo. Os laboratórios de calibração começaram a participar em programas de EP a partir da ISO/IEC 17025:1999. De acordo com Örnemar

et al. (1999), os laboratórios clínicos de alguns países da Europa já participavam de programas de avaliação da qualidade externos, dentre eles os EP. Esta participação ocorria mesmo sem ser um requisito mandatório.

Quando da interpretação ou comparação de resultados de EP, deve-se levar em consideração se os EP são comparáveis e se o mesmo nível de confiança pode ser considerado nas conclusões. Podem ser considerados fatores importantes na comparação de resultados de EP a confiança no valor de referência do EP, a confiança e a representatividade da distribuição das amostras e se o projeto do EP segue as orientações do Guia 43 (CORTEZ et al., 2003).

A avaliação do desempenho dos laboratórios participantes dos EP se dá pela análise estatística dos resultados obtidos nos ensaios ou nas calibrações. Esta análise estatística é realizada de acordo com a orientação dada pelo Guia 43.

De acordo com ISO (2002) e ABNT (1999a), se faz necessária a realização de atividades encadeadas para utilizar métodos estatísticos na análise dos resultados dos EP, a fim de avaliar o desempenho dos participantes. A Figura 1 mostra o fluxo destas atividades que são descritas detalhadamente por ASTM (1995), ISO (1998), SCC (2001), ISO (2002), NATA (2004) e Inmetro (2004).

4 Sistema de gestão de laboratórios vs. resultados de ensaios de proficiência

Cortez et al. (2003) recomenda que se tome cuidado na comparação de desempenho de laboratórios acreditados e não acreditados. A comparação deve levar em conta adequação ao uso durante um período contínuo de tempo com uma população representativa de laboratórios, ao invés de uma comparação baseada numa única rodada de comparações.

Segundo King et al. (1999) e Juniper (1999), não existem evidências de que laboratórios acreditados ou certificados tenham um desempenho melhor em ensaios de proficiência do que laboratórios que não sejam acreditados ou certificados. Para Juniper (1999), os laboratórios acreditados, algumas vezes, obtêm resultados mais pobres do que os laboratórios não acreditados. O que existe é uma indicação de que aqueles laboratórios que têm participado de vários EP tendem a alcançar melhores resultados que aqueles que têm pouca participação.

Também para Visser (1999), a acreditação não tem o efeito positivo esperado na qualidade dos resultados dos laboratórios de ensaios. O autor chegou a essa conclusão a partir dos estudos realizados pelo laboratório de química do governo do Reino Unido (LGC) e pelo Instituto de Medição de Materiais de Referência (IRMM) da Bélgica, onde foi avaliada a correlação entre acreditação e desempenho em EP de laboratórios. Ainda

segundo Visser, os autores dos relatórios destes estudos concluíram que sistemas de gestão formalmente orientados não são garantia automática de bons resultados, ou seja, a acreditação não leva necessariamente à alta qualidade. O principal efeito da acreditação é a diminuição da repetitividade dos ensaios realizados e a diminuição da reprodutibilidade interlaboratorial.

4.1 Análise de dados de ensaios de proficiência

O objetivo desta análise é verificar se o tipo de sistema de gestão dos laboratórios de ensaio da construção civil do Brasil influencia nos resultados dos ensaios de proficiência. Para tanto, foram coletados dados com os provedores de EP da construção civil no Brasil. Os dados coletados não foram inicialmente planejados segundo a lógica de projeto de experimentos, mas foram obtidos diretamente dos resultados dos relatórios dos EP no período de 2003 a 2004, num total de 561 resultados. Um exemplo dos relatórios de onde os dados foram coletados é apresentado na Figura 2.

Nestes relatórios foi possível identificar dois fatores: a) tipo de sistemas de gestão, sendo eles certificação NBR ISO 9001, acreditação pela NBR ISO/IEC 17025 e acreditação e certificação pela NBR ISO/IEC 17025 e pela NBR ISO 9001, respectivamente; e b) tipo de ensaio, sendo, ensaios de cimento (físico e químico), asfalto, solos e metodologia MCT (Metodologia designada Miniatura Compactada Tropical). Como todos os laboratórios historicamente realizam todos os tipos de ensaio, foi possível caracterizar um projeto fatorial cruzado. A hipótese nula do estudo é de que os resultados do EP não dependem do tipo de sistema de gestão do laboratório. Com o estudo experimental, é possível analisar três hipóteses alternativas, ou seja, dois efeitos principais: tipos de sistema de gestão e tipos de ensaio e o efeito da interação entre os dois fatores sobre o resultado do EP.

Na realização dos EP, cada laboratório recebe duas amostras para realizar a medição e com base nelas são calculadas as estatísticas pertinentes para obtenção do resultado do EP, conforme pode ser visualizado na Figura 2. O resultado final é qualitativo, indicando se o desempenho do laboratório foi satisfatório, insatisfatório ou questionável.

Os resultados dos laboratórios apresentados foram analisados com base no *z-score*, que auxilia a identificar resultados dispersos. *z-scores* são valores padronizados que atribuem uma nota *score* para cada resultado, relativa aos demais no grupo. Assim, um valor Z próximo a zero significa que o resultado é compatível aos dos demais participantes. Um valor disperso num ensaio de proficiência é qualquer resultado que apresentar um valor absoluto de *z-score* maior que três (NATA, 2004).

Pares de resultados são necessários para avaliar ambas as fontes de variação: a variabilidade dentro do labora-

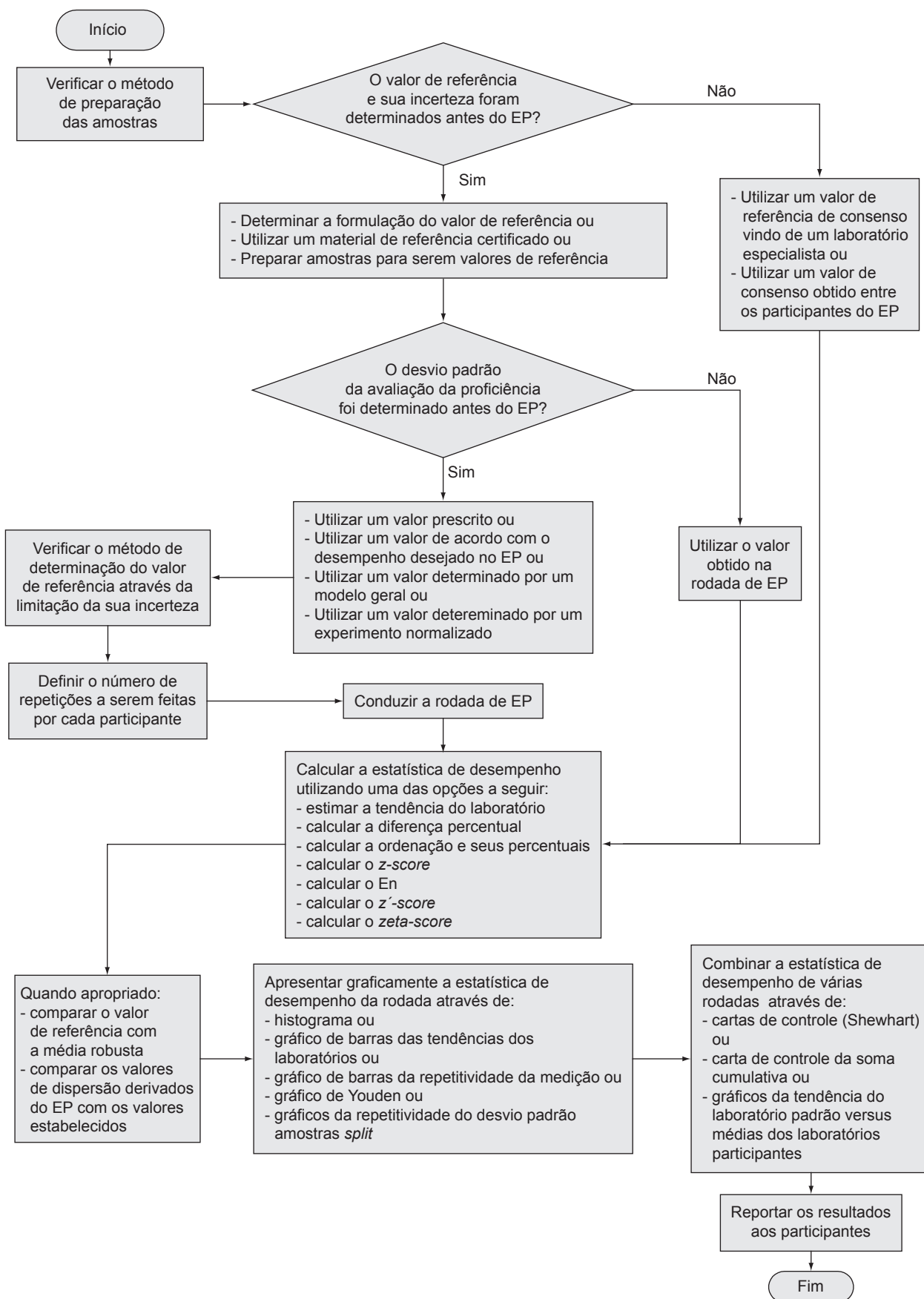


Figura 1. Fluxo para análise de resultados de EP. Fonte: Adaptado de ISO (2002).

Nome dos	Par de amostra (AB)			Dp	z-dentro	Desempenho
	Cod. laboratórios	Amostra A	Amostra B			
	6	4,51	4,14	-0,262	-12,187	Insatisfatório
	20	2,40	2,39	-0,007	-5,489	Insatisfatório
	8	2,64	2,90	0,184	-0,465	Satisfatório
	2	2,65	2,91	0,184	-0,465	Satisfatório
	3	3,10	3,38	0,198	-0,093	Satisfatório
	5	3,32	3,61	0,205	0,093	Satisfatório
	22	2,53	2,84	0,219	0,465	Satisfatório
	12	3,33	3,67	0,240	1,023	Satisfatório
	4	3,19	3,54	0,247	1,209	Satisfatório
	1	3,03	3,50	0,332	3,442	Insatisfatório
N		10	10			
Mínimo		2,40	2,39			
Máximo		4,51	4,14			
Range		2,11	1,75			
				Dp	Sp	
MED	-	3,065	3,440	0,202	4,600	
Q3	-	3,288	3,593	0,235	4,865	
Q1	-	2,643	2,903	0,184	3,921	
IQ	-	0,645	0,690	0,051	0,944	
IQN	-	0,478	0,511	0,038	0,700	
CVR	-	15,60	14,87			

Dp = Diferença padronizada: $[A - B] / \text{Raiz}(2)$; Sp = Soma padronizada: $(A + B) / \text{Raiz}(2)$.

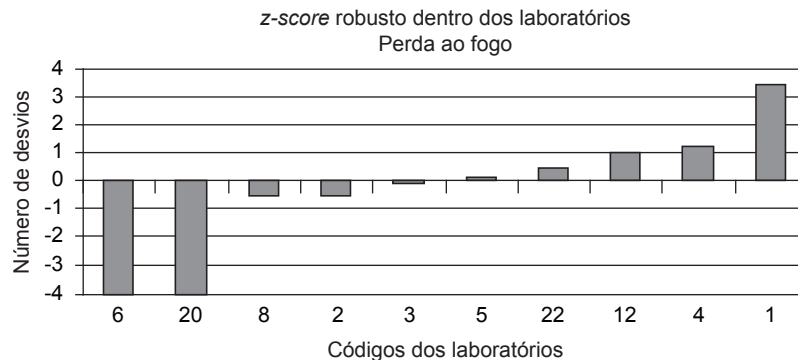


Figura 2. Exemplo de relatório de onde os dados foram coletados. Fonte: 4º Interlaboratorial de Ensaios Químicos de Cimento - 2003.

tório e a variabilidade entre laboratórios. Isso significa que para cada par de resultados, dois *z-scores* são calculados. O *z-score* entre laboratórios é baseado na soma dos resultados do par, enquanto que o *z-score* dentro do laboratório será baseado na diferença dos resultados do par. Estes valores de *z-score* utilizam a mediana e a amplitude interquartílica normalizada, ao invés da média e do desvio padrão. Um *z-score* muito alto entre laboratórios é indicação de que um ou ambos os resultados do laboratório é significativamente maior do que o valor de consenso (mediana). De modo similar, se um *z-score* entre laboratórios é muito baixo (negativo) é uma indicação de que um ou ambos os resultados do laboratório é significativamente menor do que o valor de consenso. Um *z-score* dentro do laboratório muito alto (positivo) ou muito baixo (zero ou negativo) indica que a diferença

entre os resultados do mesmo laboratório é muito grande ou muito pequena, respectivamente (NATA 2004).

A análise dos dados dos EP foi realizada utilizando os valores de *z-score* dentro, uma vez que esses refletem a variabilidade entre os resultados do mesmo laboratório. Primeiramente, fez-se a verificação da distribuição de probabilidade dos dados no teste de normalidade. Os valores de p obtidos no teste de normalidade foram menores ou iguais a 0,01. Em virtude disto pode-se rejeitar a hipótese de que os valores de *z-score* dentro venham de uma distribuição normal, com 99% de confiança. O gráfico da Figura 3 mostra que a distribuição de probabilidade dos dados analisados não segue uma distribuição normal.

Em virtude dos dados não seguirem a distribuição normal foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. O objetivo foi verificar se existem diferenças

significativas para os dois fatores: tipos de sistemas de gestão e tipos de ensaios. A verificação de significância pelo teste de Kruskal-Wallis testa, na hipótese nula, se as medianas dos valores de *z-score* dentro são as mesmas em cada tipo de sistema de gestão. Foram obtidos para cada um dos fatores e também para a interação entre sistema de gestão e tipo de ensaios valores de *p* maiores ou iguais a 0,05. Isso significa que não existe diferença estatística significativa entre as medianas, com um intervalo de confiança de 95%.

A Figura 4 exemplifica que não há evidência suficiente para afirmar com um nível de significância de 5% que exista diferença significativa entre as medianas do *z-score* dentro para os diferentes tipos de sistema de gestão do laboratório. Nesta figura, os laboratórios com certificação NBR ISO 9001 são identificados com o valor (-1), laboratórios acreditados pela NBR ISO/IEC 17025 são identificados com o valor (1) e laboratórios acreditados e certificados pela NBR ISO/IEC 17025 e pela NBR ISO 9001 são identificados com o valor (0).

A Figura 5 exemplifica que não há evidência suficiente para afirmar com um nível de significância de 5% que exista diferença significativa entre as medianas do *z-score* dentro para os diferentes tipos de ensaio. Nesta figura, o ensaio de solos 2004 é identificado com o valor (-3), ensaio cimento físico 2004 é identificado com o valor (-2), o ensaio asfalto 2004 é identificado com o valor (-1), o ensaio cimento físico 2003 é identificado com o valor (0), o ensaio cimento químico 2003 é identificado com o valor (1), o ensaio cimento químico 2004 é identificado com o valor (2) e, por fim, o ensaio MCT 2004 é identificado com o valor (3).

Como se pode observar pelo estudo experimental, apresentado neste artigo, realizado nos resultados dos EP da construção civil no Brasil, não houve evidência estatística suficiente para provar com um nível de significância de 5% que exista diferença significativa entre os sistemas de gestão dos laboratórios. Ou seja, não foi possível comprovar que o tipo de sistema de gestão dos laboratórios influencie os resultados dos EP para este setor específico. Independentemente dos resultados deste estudo experimental, é necessário salientar a importância da acreditação como forma de prover confiança às medições realizadas pelos laboratórios.

4.2 Uso dos resultados dos ensaios de proficiência no cálculo genérico da incerteza de medição

Os resultados de um conjunto representativo de EP de um determinado tipo de ensaio (químico, físico, etc.) podem ser utilizados para gerar um cálculo genérico da incerteza de medição para aquele setor de laboratórios de ensaio. Dessa forma, o usuário de um ensaio poderia comparar o resultado do cálculo da incerteza de medição fornecido pelo laboratório com o cálculo genérico da

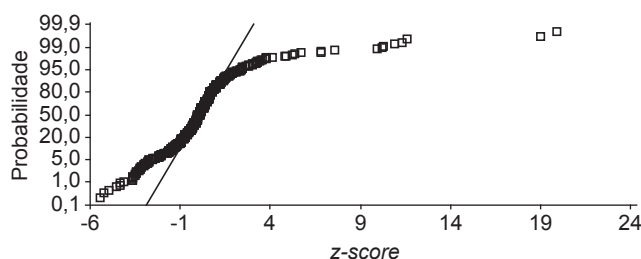


Figura 3. Gráfico de probabilidade normal para o valor de *z-score* dentro.

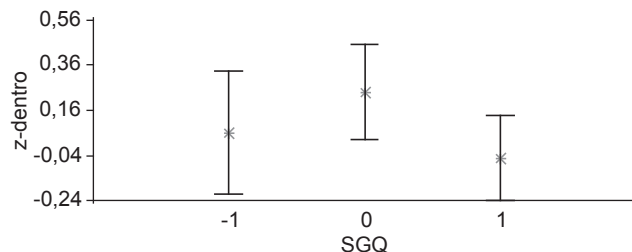


Figura 4. Intervalo de confiança das medianas para o fator tipos de sistema de gestão.

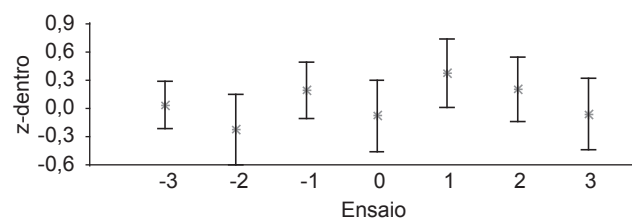


Figura 5. Intervalo de confiança das medianas para o fator tipos de ensaios.

incerteza de medição para o respectivo setor de atuação dos laboratórios de ensaio e, caso necessário, realizar uma ação corretiva ou ajustar o cálculo de incerteza fornecido pelo laboratório.

Para Eurolab (2002), em algumas situações, os laboratórios desenvolvem seus próprios métodos ensaio. Segundo ABNT (2005), estes métodos devem ser validados pelo laboratório que os desenvolveu. Durante a validação, diversas medições são realizadas, possibilitando, assim, obter-se um desvio padrão que pode ser utilizado na incerteza de medição do método. Ainda segundo esse autor, comparações interlaboratoriais são uma poderosa ferramenta na avaliação da incerteza. As séries de medições de diferentes laboratórios representam resultados de medições independentes realizadas sob diferentes condições, possibilitando, dessa forma, obter-se o desvio padrão desses laboratórios. Este desvio padrão do EP, de que o laboratório tenha participado, pode ser utilizado na estimativa da incerteza de sua medição, desde que o laboratório tenha tido um resultado satisfatório. O desvio

padrão do ensaio de proficiência de que o laboratório participou pode ser utilizado como a incerteza padrão do parâmetro analisado, cobrindo todos os componentes relevantes e passos necessários para realizar o ensaio. Por fim, o autor sugere o uso do desvio padrão das cartas de controle da média como entrada para a estimativa da incerteza de medição.

A incerteza de medição calculada pelo método ABNT/Inmetro (2003) sugere o uso de um modelo analítico que contemple as diferentes fontes de incerteza pertinentes ao fenômeno em estudo, tais como: incerteza herdada do padrão de referência; diferença de condições ambientais; diferença de medições entre técnicos; diferença devido a erros geométricos; exatidão do instrumento de medição; e incerteza do método de medição. Dessa forma, o laboratório combina as informações obtidas das diferentes fontes para obter um resultado final de incerteza, a incerteza expandida. No entanto, utilizando-se esta abordagem, o valor calculado da incerteza pode ser inferior ao real em função da omissão de algumas fontes de incerteza, aquelas que influenciam na variabilidade do resultado da medição.

Neste artigo, sugere-se para o cálculo genérico da incerteza de medição de um setor de atuação de laboratórios de ensaio, por exemplo, construção civil, o uso do desvio padrão de vários EP deste mesmo setor. Isso é possível, uma vez que os diferentes tipos de sistemas de gestão não têm impacto nos resultados dos EP, como demonstrado pelo estudo de caso aqui apresentado.

O uso do desvio padrão dos resultados de um número representativo de EP contempla fontes de incerteza de medição adicionais, podendo ser utilizado como única contribuição do cálculo genérico da incerteza de medição. Esta abordagem, além de simplificar o cálculo da incerteza de medição, contempla um maior número de fontes de incerteza de medição.

É necessário ressaltar as implicações deste trabalho como uma nova proposta para uma avaliação mais realista das incertezas quando aplicadas a situações típicas da indústria, em que não se conhece muito bem a real capacitação do laboratório de calibração ou ensaio de um fornecedor, e a necessidade de um grande número de trabalhos nesta linha, contemplando diferentes setores de atuação dos laboratórios de calibração e ensaios. Para tanto, sugere-se como necessária uma análise, similar à apresentada aqui para os laboratórios da construção civil, principalmente nos laboratórios relacionados aos setores estratégicos da Política Industrial, Tecnológica

e de Comércio Exterior (PITCE), conforme apresentado por MDIC (2003), ou com base numa política nacional de metrologia.

5 Conclusão

Este artigo teve por objetivo verificar se o tipo de sistema de gestão dos laboratórios de ensaio da construção civil do Brasil influencia nos resultados dos ensaios de proficiência. Objetiva ainda discutir como contemplar o resultado dos ensaios de proficiência no cálculo da incerteza de medição dos ensaios. Apresentaram-se, na revisão bibliográfica (seções 2 e 3), pesquisas de diferentes autores sobre este assunto e um estudo experimental (seção) realizado com resultados de ensaios de proficiência do setor da construção civil no Brasil.

O estudo experimental concluiu que não existe evidência suficiente para afirmar com um nível de significância de 5% que exista efeito dos diferentes tipos de sistema de gestão dos laboratórios sobre os resultados nos ensaios de proficiência para o setor da construção civil. Chegou-se a esta conclusão pela análise dos dados do *z-score* dentro, uma vez que esses refletem a variabilidade entre os resultados do mesmo laboratório. Ou seja, não foi possível comprovar que o tipo de sistema de gestão dos laboratórios influencia os resultados dos ensaios de proficiência para este setor específico. O efeito dos tipos de ensaio e da interação entre tipos de sistemas de gestão e tipos de ensaio também não foram significativos sobre os resultados dos EP. Para testar a existência de diferenças significativas, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, visto que os dados analisados não seguiam a distribuição normal.

Também foi discutido neste artigo o uso dos resultados dos ensaios de proficiência no cálculo da incerteza de medição. Como não há diferenças significativas para os resultados dos ensaios de proficiência para os diferentes tipos de sistemas de gestão e tipos de ensaio, foi sugerido o uso do desvio padrão dos resultados de um grupo representativo de ensaios de proficiência de determinados ensaios (químico, físico, etc.) para gerar um cálculo genérico da incerteza de medição para o setor de atuação do laboratório. Esta abordagem, além de simplificar o cálculo da incerteza de medição, contempla um maior número de fontes de incerteza de medição.

The influence of the laboratory management system on the results of civil construction proficiency testing

Abstract

Laboratories participation in proficiency testing is one way to evaluate and demonstrate the reliability of their measurement results. That is to say, through the proficiency testing, the laboratory ability of accomplishing tests and calibrations successfully can be evaluated. The proficiency testing supplies important information for the evaluation of laboratories, candidates to accreditation, accredited laboratories, notified or designated laboratories by regulatory bodies, and laboratories in general. This paper aims at verifying whether the kind of laboratory management system in Civil Construction laboratories in Brazil influence the proficiency testing results. It also aims at discussing ways of including the proficiency testing results in the calculation of measurement uncertainty. As a result of the study, we can conclude that there is no effect of the types of laboratory management systems studied on the results of proficiency testing (EP). Therefore, the use of standard deviation of the results of a representative group of proficiency testing for a specific test (chemical, physical, etc.) was suggested as a way of generating a measurement uncertainty generic calculation for the activity sector of the laboratory. This approach, in addition to simplifying the uncertainty measurement calculation, includes a greater number of uncertainty measurement sources.

Keywords: Proficiency testing. Laboratory management quality system. Measurement uncertainty.

Referências bibliográficas

- A2LA. **A2LA Proficiency testing requirements for accredited testing and calibration laboratories**. Jul/2004. Disponível em: <http://www.a2la.org/requirements/proficiency_testing_requirements_2004.pdf>. Acesso em: 14/03/2005.
- ABNT/Inmetro. **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2003. 20 p.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM E 1301 – Standard Guide for Proficiency Testing by Interlaboratory Comparisons**. West Conshohocken, United States, 1995.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **ABNT ISO/IEC GUIA 2 – Normalização e atividades relacionadas: Vocabulário geral**. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. **ABNT ISO/IEC GUIA 43-1 – Ensaios de proficiência por comparações interlaboratoriais**. Parte 1: Desenvolvimento e operação de programas de ensaios de proficiência. Rio de Janeiro, 1999a.
- _____. **NBR ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro, 2005.
- BIÈVRE, P. D.; TAYLOR, P. D. P. “Demonstration” vs. “designation” of measurement competence: the need to link accreditation to metrology. **Fresenius Journal of Analytical Chemistry**, v. 368, n. 6, p. 567-573, 2000.
- BIPM. **Introduction**. Disponível em: <<http://www1.bipm.org/en/bipm/metrology/introduction.html>> Acesso em: 16/11/2004.
- BOLEY, N. P. Do we need to accredit proficiency testing schemes? **Accreditation and Quality Assurance**, v. 4, n. 8, p. 347-349, 1999.
- BOLEY, N. P.; BIEVRE, P. D.; TAYLOR, P. D. P. & ULDALL, A. Requirements vs acceptability in proficiency testing schemes and other interlaboratory comparisons. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 6, n. 6, p. 244-251, 2001.
- CORTEZ, L. et al. How to interpret information from proficiency test exercises concerning the relative performance of accredited laboratories. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 8, n. 11, p. 511-513. 2003.
- EUROLAB. **Technical Report 01/2002**. Limeira, 2002.
- GUST, J. C. **Developing a proficiency testing plan for your laboratory**. Disponível em <<http://ts.nist.gov/ts/htdocs/230/235/msc%202004%20gust.pdf>> Acesso em: 07/03/2005.
- Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **NIT-DICLA 026/02. Requisitos sobre a participação dos laboratórios de ensaios em atividades de ensaio de proficiência**. Brasília, 2003.
- _____. **Protocolo internacional harmonizado para ensaio de proficiência em laboratórios analíticos (químicos)**. Tradução do International Harmonized Protocol for Proficiency Testin of (Chemical) Analytical Laboratories originalmente impresso em inglês no Journal of AOAC International, AOAC International, Gaithersburg, Maryland, Estados Unidos, v. 76, n. 4, 1993, realizada pelo grupo de trabalho da Comissão Técnica de Laboratórios de Ensaio em Química (CTLE-05) da Divisão de Credenciamento e Confiabilidade (DICRE) do INMETRO. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/kits/ctle05_protocolo.pdf> Acesso em: 06/11/2004.
- _____. **Provedores Nacionais de Ensaio de Proficiência**. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/laboratorios/indiceProvedores.asp>. Acesso em: 10/04/2007.
- International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). **The ILAC Mutual Recognition Arrangement**. Disponível em: <<http://www.ilac.org/downloads/Arrangement.pdf>> Acesso em: 25/10/2004.
- International Organization Standartization (ISO). **How conformity assessment works**. Disponível em: <<http://www.iso.org/iso/en/comms-markets/conformity/iso+conformity-02.html#TopOfPage>> Acesso em: 29/09/2005.
- _____. **ISO 5725-5 – Accuracy (trueness and precision) of measurements methods and results: alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method**. Geneva, 1998.

- _____. **ISO/DIS 13528 – Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons.** Geneva, 2002.
- JUNIPER, I. R. Quality issues in proficiency testing. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 4, n. 8, p. 336-341, 1999.
- KING, B.; BOLEY, N.; KANNAN, G. The correlation of laboratory performance in proficiency testing with other QA characteristics. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 4, n. 7, p. 280-291. 1999.
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC). **Diretrizes da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior.** 26/11/2003. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/ascom/apresentacoes/Diretrizes.pdf>>. Acesso em: 24/03/2004.
- National Association of Testing Authorities (NATA). **Guide to NATA proficiency testing.** Disponível em: <<http://www.nata.asn.au/publications/downloads/profguide.pdf>> Acesso em: 24/11/2004.
- ÖRNEMARK, U. et al. IMEP-7: Inorganic components in human serum. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 4, n. 11, p. 463-472, 1999.
- ÖRNEMARK, U. et al. Policies, requirements and surveys concerning frequency for participation in proficiency testing schemes. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 9, n. 10-11, p. 729-732. 2004.
- Standards Council of Canada (SCC). **Proficiency testing by interlaboratory comparisons.** CAN-P-43, 2001.
- THOLEN, D. W. Impact of international standards and initiatives on proficiency testing for medical laboratories. **Accreditation and Quality Assurance**, v. 9, n. 11-12, p. 653-656, 2004.
- Van NEVEL, L. et al. The international measurement evaluation programme (IMEP) IMEP-6: "Trace elements in water". **Accreditation and Quality Assurance**, v. 3, n. 2, p. 56-68, 1998.
- VISSER, R. G. Is accreditation useful for quality improvement? **Accreditation and Quality Assurance**, v. 4, n. 3, p. 108-110. 1999.

Sobre os autores

Morgana Pizzolato

Carla Schwengber ten Caten

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS,
Avenida Osvaldo Aranha, 99, 5º andar, Centro, Porto Alegre, RS,
e-mails: morgana@producao.ufrgs.br; tencaten@producao.ufrgs.br

João Alziro Herz da Jornada

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro,
Rua Santa Alexandrina, 416, Rio Comprido, Rio de Janeiro, RJ,
e-mail: jajornada@inmetro.gov.br

Recebido em 02/10/2007
Aceito em 28/10/2008