

Análise crítica dos resultados oriundos de certificados de calibração relativo à calibração de bloco-padrão utilizando lógica fuzzy.

Flávio Carnelli Frade^{1,2}, Pedro Bastos Costa^{1,3}, Giovane Quadrelli², Ester Maria Vaz Miranda Lima¹

¹ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro;

² Universidade Católica de Petrópolis;

³ Universidade Estácio de Sá

E-mail: fefrade@inmetro.gov.br; pbcosta@inmetro.gov.br; giovane.quadrelli@ucp.br; ester.lima@ucp.br

Resumo: Este artigo apresenta um estudo sobre a utilização de lógica *fuzzy* na avaliação crítica dos resultados da calibração apresentados nos certificados de calibração para blocos-padrão de referência do Laboratório de Metrologia Dimensional (Lamed) pertencente ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro). O referido laboratório de calibração utiliza a norma ABNT ISO/IEC 17.025:2006 como referência para realizar serviços de calibração, portanto os blocos-padrão calibrados devem ser capazes de alcançar a exatidão requerida e devem atender às especificações necessárias para um padrão nacional de comprimento.

Palavras-chave: Análise Crítica; Certificado de Calibração; Melhor Capacidade de Medição; Lógica Fuzzy.

1. INTRODUÇÃO

Entre os desenvolvimentos mais recentes da matemática podemos destacar as teorias que envolvem redes neurais, inteligência artificial e a lógica *fuzzy*. A importância destas ciências no cenário tecnológico atual é de fácil compreensão dada a sua aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento.

Particularmente a lógica *fuzzy* possui aplicações em sistemas de controle eletrônico, tomada de decisão em processos produtivos ou até mesmo como ferramentas para a garantia da qualidade de processos.

Sendo iniciada em 1965, por A. Zadeh, na universidade de Berkley, a lógica *fuzzy* possui como base de conhecimento a teoria clássica de conjuntos. No entanto os conjuntos *fuzzy* possuem informações intermediárias ao

Verdadeiro ou Falso. As afirmações em conjuntos *fuzzy* são modeladas a partir de graus de verdade, chamados de graus de pertinência. Ampliando assim as possibilidades de resultados nas operações entre conjuntos.

A aplicação da lógica *Fuzzy* em um determinado sistema obedece, em geral, as seguintes etapas: Fuzificação, Inferência e Defuzificação.

Na fuzificação as informações do processo são modeladas e para cada grandeza de entrada é atribuída uma função. Para cada ponto do domínio da função é atribuído um valor de verdade, definindo suas funções de pertinência. Na fuzificação a modelagem é feita para todas as grandezas de entrada e saída do processo.

Na fase da inferência são estabelecidas regras entre as grandezas de entrada. E na defuzificação são utilizados modelos matemáticos para extrair um valor numérico como resposta para o sistema.

2. NORMAS E METODOLOGIA

2.1 Confiabilidade Metrológica

O laboratório de metrologia dimensional (Lamed) faz parte do Inmetro que é o instituto nacional de metrologia (INM) do Brasil. O referido laboratório é responsável pela disseminação da grandeza comprimento e ângulo plano no país. Dentre os serviços que o laboratório realiza está a calibração de blocos-padrão grandes (blocos de 125 mm até 1000 mm).

Uma das principais evidências de confiabilidade metrológica para um serviço de calibração disponibilizado por um INM é a sua Capacidade de Medição e Calibração (CMC). Esta é a melhor (“menor”) incerteza de medição que um INM possui referente a um sistema de padronização de uma grandeza específica em medição. Este CMC impacta diretamente o

serviço de calibração específico que oferece para a sociedade [1].

O Lamed utiliza a norma ISO 17025:2006 como referência para a gestão da qualidade do laboratório, e esta determina que qualquer bloco-padrão de referência, antes de ser colocado em serviço, deve ser calibrado para determinar se ele atende aos requisitos para atingir a melhor capacidade de medição e às especificações técnicas [2].

2.2 Metodologia e requisitos para análise de resultados

Atualmente o Lamed utiliza cartas de controle para monitoramento dos seguintes requisitos especificados na norma de blocos-padrão: erro máximo admissível para o comprimento nominal (“desvio”), erro máximo admissível na variação do comprimento entre as calibrações (“entre dois certificados”) e ainda o monitoramento, que não está na norma, da incerteza de medição (“incerteza”).

Este monitoramento é fundamental para a confiabilidade da calibração pelo método comparativo realizado pelo Lamed e para a determinação da periodicidade da recalibração de seus padrões de referência.

A avaliação destes requisitos é quantitativa, sendo o principal objetivo determinar se os resultados são adequados ou não para que os blocos possam ser usados pelo Lamed.

2.2 Utilização de Lógica Fuzzy para análise de resultados

A utilização de lógica fuzzy torna-se pertinente para contornar a dificuldade na determinação se os resultados de um certificado são adequados ou não a partir dos três parâmetros citados.

Um controlador fuzzy é um sistema baseado em regras do tipo *Se <premissa> Então <conclusão>*, que definem ações de controle em função das diversas faixas de valores que os requisitos do problema podem assumir [3] [4]. Estas faixas de valores são modeladas por conjuntos nebulosos e denominadas de termos lingüísticos.

Para realizar a montagem do controlador nebuloso foram utilizadas três variáveis linguísticas de entrada: valor verdadeiro do bloco-padrão (desvio), valor da incerteza de medição (incerteza) e o valor da diferença do valor verdadeiro entre duas calibrações (entre dois certificados) e ainda uma variável linguística de saída denominada nota (nota do certificado). A figura 1 ilustra o modelo.

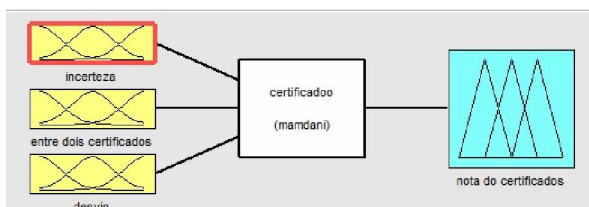


Figura 1 – modelo de controlador nebuloso.

Para cada variável de entrada foi atribuída uma função que expressa os valores de “verdade” de cada variável, essas funções são chamadas de funções de pertinência. As figuras 2, 3, 4 e 5 ilustram cada uma das variáveis com suas respectivas funções de pertinência e seus respectivos domínios

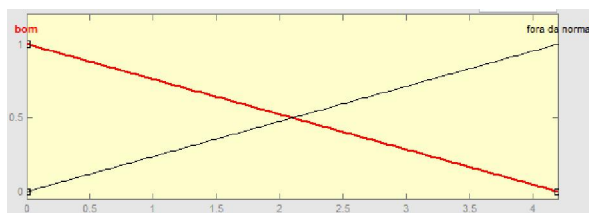


Figura 2 – Variável “desvio”.

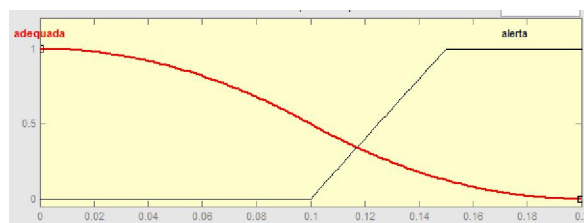


Figura 3 – Variável “entre dois certificados”.

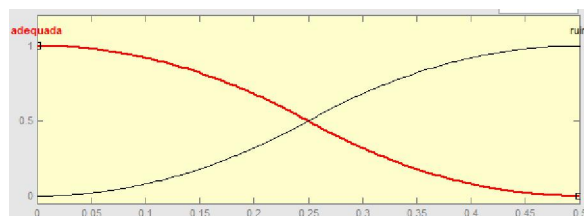


Figura 4 – Variável “incerteza”

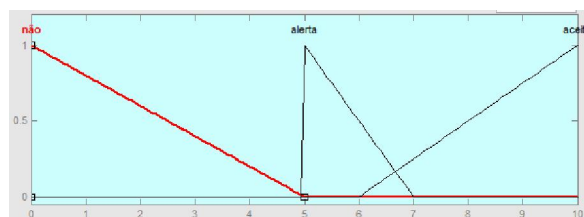


Figura 5 – Variável “nota do certificado”

A figura 6 ilustra as regras criadas referente a fase de interferência.

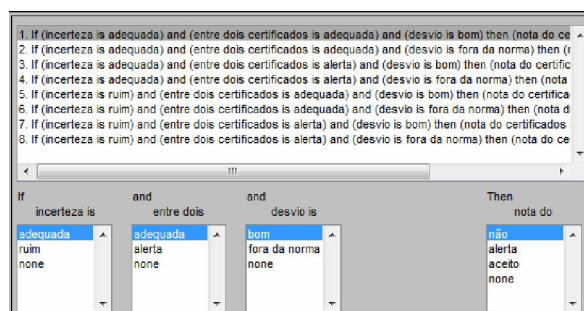


Figura 6 – regras criadas.

Para a validação do controlador *fuzzy* foram utilizados os valores referentes à calibração do bloco-padrão de 1.000 mm, pois o mesmo tem a maior probabilidade de apresentar desvios referentes aos requisitos citados anteriormente.

Na tabela 1 estão os valores utilizados como entrada de dados para cada variável lingüística de entrada.

Tabela 1. Dados de entrada das variáveis.

Variável	Valor (μm)
Desvio	1,79
entre dois certificados	0,02
Incerteza	0,20

O sistema nebuloso foi programado com uma variável linguística de saída, onde é apresentada uma nota entre “0” e “10”. Esta nota indica a classificação do certificado conforme descrito na tabela 2.

Tabela 2. Classificações das Notas.

Nota	Classificação do Certificado
Entre 0 à 5	Reprovado
Entre 5 e 7	Área de Alerta
Maior que 7	Aprovado

Esta classificação indica qual a ação deve ser tomada, ou seja, se o certificado for "aprovado" significa que os valores para as três variáveis de entrada são muito bons e os valores podem ser utilizados, se o certificado for reprovado significa que os valores para as variáveis de entrada não são bons e será preciso uma realizar uma nova calibração e caso a área de alerta seja ativada significa que os valores podem ser utilizados, porém provavelmente a sua periodicidade de calibração será reduzida.

A figura 7 ilustra a defuzzificação referente aos valores contidos na tabela 1.

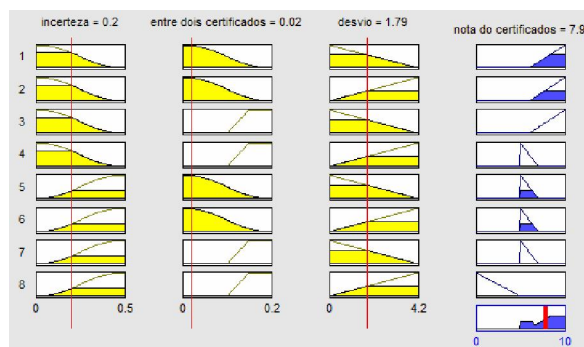


Figura 7 – Apresentação da defuzzificação de um certificado aprovado (nota 7,9).

A figura 8 ilustra a defuzzificação referente aos valores de 0,50 μm de incerteza, 0,18 μm de diferença entre dois certificados e 1,81 μm de desvio em relação ao valor nominal do bloco-padrão.

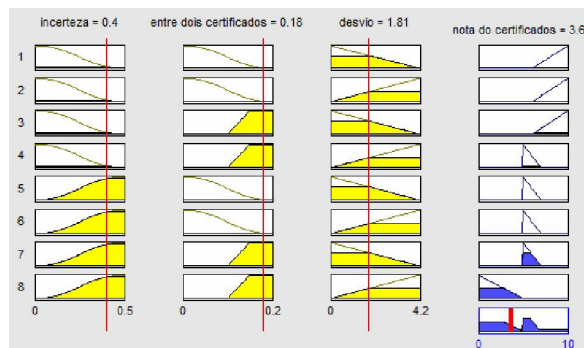


Figura 8 – Apresentação da defuzzificação de um certificado reprovado (nota 3,69).

A figura 9 ilustra a defuzzificação referente aos valores de 0,30 μm de incerteza, 0,11 μm de diferença entre dois certificados e 2,30 μm de desvio em relação ao valor nominal do bloco-padrão.

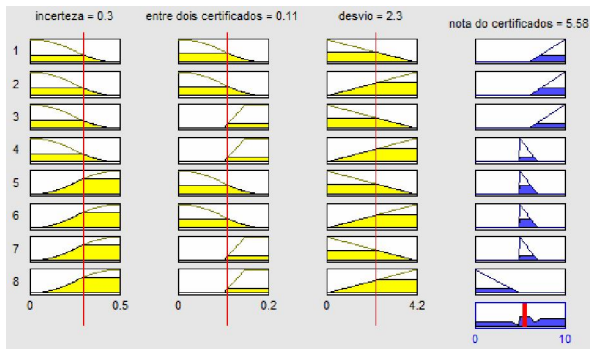


Figura 9 – Apresentação da defuzificação de um certificado indicando a área de alerta (nota 3,69).

3. CONCLUSÃO

A partir dos dados das defuzificações foi possível constatar que a ferramenta é extremamente útil e prática para uma avaliação rápida dos resultados dos certificados de calibração de blocos-padrão, pois permite uma análise simultânea dos três requisitos que anteriormente eram analisados separadamente.

Além disso, o controlador permite a criação de um resultado que alerta ao usuário, onde o seu significado é extremamente útil para a determinação da periodicidade de calibração. Esta análise depende da experiência e do conhecimento técnico de quem realiza a calibração dos blocos-padrão, sendo assim a ferramenta poderá substituí-lo.

7. REFERÊNCIAS

- [1] NIT-Dicla-021 revisão 09 *Expressão da Incerteza de Medição por Laboratórios de Calibração*. Disponível em: http://intranet.inmetro.gov.br/sidoq/arquivos/Dicla/NIT/NIT-Dicla-21_09.pdf. Acesso em: 26/07/2014.
- [2] NBR NM 215:2000 - *Blocos Padrão*
- [3] G. J. Klir and T. A. Folger. *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Informations*. Prentice Hall, Englewood Cliffs - New Jersey, 1988.
- [4] R. D'Amore, O. Saotome, and K. H. Kienitz. *Controlador nebuloso com detecção de regras*

ativas. Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, pages 313–318., Setembro 1997.