

3

Fundamentos Teóricos

Este capítulo descreve as ferramentas estatísticas e a ferramenta de apoio à tomada de decisão utilizadas neste trabalho para calcular a periodicidade de calibração dos instrumentos de medição de temperatura e pressão estática.

Com base nos preceitos estabelecidos no Guia ILAC-G24 OIML D10: 2007 (*Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments*), elaborado em cooperação pelo International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) e pela International Organization of Legal Metrology (OIML), a determinação do intervalo de calibração não constitui processo trivial, requer complexa análise matemática e estatística e confiabilidade dos dados da calibração.

Em conformidade às recomendações do ILAC e da OIML, a calibração periódica tem por objetivos:

- Melhorar a estimativa do desvio do padrão do equipamento de medição, a partir de um valor de referência;
- Assegurar a incerteza que pode ser obtida com o padrão de referência ou equipamento de medição;
- Verificar qualquer alteração do instrumento de medição que possa suscitar dúvidas sobre os resultados obtidos no período decorrido.

Ainda em conformidade ao Guia ILAC-G24 OIML D10: 2007, os fatores que impactam no intervalo de calibração são:

- Incerteza de medição requerida ou declarada pelo laboratório;
- Risco de o instrumento de medição ultrapassar os limites do erro máximo admissível quando em uso;
- Custo das ações necessárias quando se verifica que o instrumento não era apropriado durante um longo período de tempo;
- Tipo de instrumento;
- Tendência ao desgaste e à deriva;
- Recomendação do fabricante;
- Extensão e severidade da utilização;
- Condições ambientais (climáticas, vibração, radiação ionizante, etc...);

- Dados de tendência obtidos de registros de calibração anteriores;
- História registrada de manutenção e reparação;
- Frequência de cruzamento de dados com outros padrões de referência ou dispositivos de medição;
- Frequência e qualidade das calibrações;
- Mão de obra qualificada.

A gama de instrumentos de medição, associado à inexistência de uma metodologia específica e unificada na literatura, para ajuste dos intervalos entre calibrações, permite ao laboratório responsável pela calibração desenvolver (opcional) um método para ser utilizado, desde que devidamente validado e documentado. Conforme preconiza o Guia ILAC-G24 OIML D10, os dados históricos coletados podem embasar as decisões futuras na determinação do intervalo de calibração.

Independentemente da periodicidade de calibração dos instrumentos, cabe ressaltar que o laboratório precisa estar estruturado de forma a fornecer um sistema de calibração adequado, garantindo assim: a qualidade de suas calibrações, a eficácia do sistema de qualidade, a rastreabilidade dos resultados dos seus padrões. Em outras palavras, deve garantir o bom estado e bom funcionamento da calibração dos padrões e dos instrumentos de calibração (Lira, 2013).

A presente dissertação tem como premissa básica abordar alguns métodos estatísticos para estimar o intervalo sucessivo entre calibrações.

3.1 Metodologia

Após estabelecer uma rotina de calibração, torna-se possível ajustar os intervalos de calibração, ponderando custos e riscos.

Algumas características podem estar associadas ao fato de os intervalos de calibração selecionados não atingirem os resultados desejados, como por exemplo:

- Os instrumentos de medição podem ser menos confiáveis do que o originalmente esperado;
- A utilização do instrumento pode não ocorrer conforme originalmente idealizado;
- A opção por uma calibração limitada de um determinado instrumento pode se mostrar suficiente e mais efetiva do que uma calibração total.

3.1.1

Métodos de revisão dos intervalos de calibração – ferramentas estatísticas

Devido à variedade de métodos disponível para rever os intervalos de calibração, estes podem diferenciar-se da seguinte forma:

- Instrumentos são tratados individualmente ou em grupos (por exemplo, modelo do fabricante ou por tipo);
- Instrumentos excedem a deriva ao longo do tempo ou pelo uso;
- Instrumentos apresentam diferentes tipos de instabilidade;
- Instrumentos sofrem ajustes;
- Dados da medição estão disponíveis na forma de histórico de calibração dos instrumentos.

A seguir, são apresentadas quatro diferentes abordagens para se avaliar a periodicidade de calibração.

As três primeiras são do tipo amostral e a última classificada na literatura especializada como populacional:

- Ajuste do intervalo por deriva;
- Ajuste com base nas três últimas calibrações – ponderado;
- Método de Schumacher;
- Método Poisson.

A abordagem amostral utiliza um subconjunto (amostra) dos dados populacionais. Esta avaliação é realizada individualmente por instrumentos, entretanto a periodicidade é única, sendo associada ao menor intervalo definido

pelo método que foi escolhido dentre os instrumentos instalados. A abordagem populacional determina um intervalo de calibração com base em desempenho de instrumentos similares utilizados de forma similar.

3.1.1.1 Ajuste do intervalo por deriva

Segundo o VIM, “deriva instrumental é a variação da indicação ao longo do tempo, contínua ou incremental, devida a variações nas propriedades metrológicas dum instrumento de medição”. (Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia, 2012)

A deriva determinada pela recalibração dos instrumentos pode mostrar que intervalos mais longos de calibração podem ser possíveis sem riscos crescentes etc.

É possível mencionar que a deriva instrumental não está relacionada a nenhuma variação de grandeza que pode ter influencia identificada ou grandeza medida (Santos, 2012).

Esta abordagem calcula a deriva, $D_{período}$, do histórico em um determinado período, ponderando cada deriva por seu período de calibração, Eq.(6):

$$D_{período} = \frac{\frac{Deriva_1}{período_1} + \frac{Deriva_2}{período_2} + \frac{Deriva_3}{período_3} + \dots + \frac{Deriva_n}{período_n}}{n} \quad (6)$$

Dentro deste cenário, quanto maior for o período de calibração, menor influência a deriva terá.

Em seguida, o período estimado de validade; ou seja, o novo intervalo de calibração, para um determinado critério de aceitação, é definido pela Eq.(7):

$$Período \ de \ validade = \frac{Critério \ de \ aceitação}{D_{período}} \quad (7)$$

Nesta expressão:

- $D_{período}$ = deriva do histórico em um determinado período;
- $Deriva_i$ = variação da indicação ao longo do tempo ($i = 1, 2, \dots, n$);

- $período_i$ = tempo em dias, meses, etc. ($i = 1, 2, \dots, n$);
- n = número de instrumentos;
- *Critério de aceitação* = valores máximos ou mínimos aceitáveis.

3.1.1.2

Ajuste com base nas três últimas calibrações (ponderado)

Nesta abordagem, o novo intervalo de calibração é calculado a partir da ponderação entre o período e o status da calibração (Santos, 2012), Eq. (8).

$$NI = CI(W_1X + W_2Y + W_3Z) \quad (8)$$

Nesta expressão:

- NI = novo intervalo calculado;
- CI = intervalo atual de calibração;
- W_1 = Peso da calibração mais recente = 0,8;
- W_2 = Peso da penúltima calibração = 0,2;
- W_3 = Peso da antepenúltima calibração = 0,1;
- X = Multiplicador referente à calibração mais recente;
- Y = Multiplicador referente à penúltima calibração;
- Z = Multiplicador referente à antepenúltima calibração;
- X , Y e Z assumem os seguintes valores numéricos (A, B, C, D e E) a depender do status das últimas calibrações do instrumento:
- A = Resultado da última calibração dentro do critério de aceitação = 1;
- B = Resultado da última calibração fora do critério de aceitação, em até uma vez = 0,8;
- C = Resultado da última calibração fora do critério de aceitação, em até duas vezes = 0,6;
- D = Resultado da última calibração fora do critério de aceitação, em até quatro vezes = 0,4;

- E = Resultado da última calibração fora do critério de aceitação, acima de quatro vezes = 0,3.

Quanto mais recente for a calibração maior o seu peso no cálculo da nova periodicidade. Esta abordagem também leva em consideração o quanto o instrumento ao ser calibrado “fugiu” ao critério de aceitação. Assim, em uma situação ótima, onde o instrumento atendeu ao critério de aceitação nas três últimas calibrações, a sua nova periodicidade é aumentada em 10%.

3.1.1.3 Método de Schumacher

Através desta abordagem, os instrumentos são classificados conforme as condições em que se encontram, baseando-se na ficha histórica onde são registradas as condições das revalidações (National Conference of Standards Laboratories International, 2010). Nestas fichas utilizam-se as notações:

- A (Avaria): designa problema que possa prejudicar um ou mais parâmetros do instrumento;
- C (Conforme): designa conformidade comprovada durante a revalidação;
- F (Fora de Tolerância): o instrumento funciona bem, mas fora da tolerância especificada (não conforme).

Caso haja tolerâncias alteradas estas podem levar as classificações A ou F .

Tendo como base as informações obtidas através das fichas históricas, pode-se deduzir a respeito dos instrumentos.

Por exemplo, um instrumento "conforme" não vai melhorar seu status de “conforme”, apenas pelo fato de ter sido revalidado, pode ocorrer que, em consequência das revalidações desnecessárias, o instrumento venha a ser avariado.

A sequência de C (Conforme) na ficha histórica indica que o instrumento esteve sempre "conforme" e a conclusão é imediata. Neste caso, a calibração torna-se desnecessária, podendo assim aumentar o ciclo de calibração.

Similarmente, a sequência de A (Avaria) indica a existência de problemas, tornando-se visível a necessidade de redução do ciclo de calibração, simultaneamente com a pesquisa a causa do problema.

Poderão ocorrer casos intermediários, como alternância entre *A* (Avaria), *C* (Conforme) e *F* (Fora de Tolerância). Sendo este o caso, as informações registradas nas fichas vão permitir a tomada de decisão a respeito da duração dos ciclos.

Baseado na condição de recebimento do equipamento e nas duas ou três calibrações anteriores, através da tabela 1, pode-se determinar qual decisão deverá ser tomada.

Estas decisões poderão ser expressas pelas letras a seguir:

- *D* = Indica que o período deve diminuir;
- *E* = Indica que o período deve aumentar;
- *P* = Indica caso duvidoso, e o período não deve ser alterado;
- *M* = Indica que a redução do período deve ser a máxima possível.

Tabela 1: Decisão a ser tomada

Nos Períodos Anteriores	Condição		
	No Recebimento		
	A	F	C
CCC	P	D	E
FCC	P	D	P
ACC	P	D	E
CF	M	M	P
CA	M	M	P
FC	P	M	P
FF	M	M	P
FA	M	M	P
AC	P	D	P
AF	M	M	P
AA	M	M	P

Fonte: National Conference of Standards Laboratories International, 2010

Com base na decisão tomada, tabela 1, e no período atual de calibração, o novo período de calibração é definido por meio da tabela 2.

Tabela 2: Novos períodos de calibração

Período	Novo Período de Calibração (Semanas)			
	Atual	D	E	P
5	4	7	5	*
6	5	8	6	5
8	7	10	8	5
10	9	13	10	6
12	11	15	12	7
14	13	17	14	8
16	14	19	16	10
18	16	21	18	12
20	18	24	20	13
24	22	28	24	15
28	25	32	28	19
32	29	37	32	21
36	32	41	36	24
52	47	52	52	27

Fonte: National Conference of Standards Laboratories International, 2010

* Separar este equipamento. Não é conveniente reduzir o período para menos de 4 (quatro) semanas.

3.1.1.4

Método Poisson ou abordagem baseada em distribuição preditiva Bayesiana

Através do Método Poisson ou abordagem baseada em distribuição preditiva Bayesiana (Huang, 2010), torna-se possível estabelecer a periodicidade mais adequada, entretanto vale ressaltar que a distribuição de Poisson é uma distribuição de probabilidade discreta que expressa a probabilidade de uma série de eventos ocorrer em certo período de tempo. Esta distribuição considera que estes eventos ocorrem independentemente de quando ocorreu o último evento.

Nesta abordagem, a relação entre o conjunto total de instrumentos calibrados e os fora do critério de aceitação em função do tempo tem caráter exponencial.

O intervalo de calibração é calculado para atender um determinado nível de confiabilidade e fornecer exatidão para a estimativa.

O cálculo do novo intervalo de calibração se baseia nas Eq. (9) a (11):

$$T = \sum_{j=1}^m n_j t_j \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{\sum C}{T} \quad (10)$$

$$I = \frac{-\ln(R)}{\lambda} \quad (11)$$

- C é o número total de instrumentos rejeitados;
- λ é a taxa que indica os valores fora de tolerância;
- n_j é o número de instrumentos calibrados;
- t_j é o intervalo atual de calibração;
- R é o nível de confiança;
- I é o novo intervalo de calibração.

3.1.1.5 Comparando os métodos estatísticos

A fim de melhorar o entendimento na comparação destes métodos estatísticos, algumas vantagens e deficiências que não dependem da aplicação estão disponíveis na Tabela 3. Estes parâmetros completos aplicados ao cálculo do melhor intervalo de calibração de temperatura e transmissores de pressão estática aplicada à indústria de gás natural estão disponíveis no item 4.1.1.1.

Tabela 3: Vantagens e deficiências de cada abordagem estatística

	Vantagens	Deficiências
Método da deriva	Respaldo estatístico e tempo de coleta da amostra	Falta de representatividade da amostra e robustez
Método de Schumacher	Facilidade de aplicação e credibilidade	Robustez e respaldo estatístico
Método ponderado	Tempo de coleta da amostra e respaldo estatístico	Falta de representatividade da amostra
Método de Poisson	Tempo de coleta da amostra, respaldo estatístico e credibilidade	Dificuldade de aplicação

3.1.2

Ferramenta de apoio à tomada de decisão

3.1.2.1

Análise SWOT

A análise SWOT (iniciais em inglês, *Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats*), é frequentemente utilizada para verificar, avaliar e apoiar à tomada de decisão de ambientes internos e externos em uma organização (Görener, Toker e Uluçay, 2012). Devido a sua fácil compreensão e aplicabilidade, pode ser adaptada ou combinada com outras ferramentas para fortalecer sua aplicação.

A análise SWOT divide-se nos seguintes grupos: pontos fortes, pontos fracos ou fraquezas, oportunidades e ameaças. A finalidade em utilizar a SWOT é identificar elementos chaves que, alinhados com os objetivos (atuais e futuros), proporcione apoio às tomadas de decisões estratégicas conforme indicado na figura 12 (Görener, Toker e Uluçay, 2012) e quadro 1 (Takano, 2009).

Analisar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças de uma empresa ou de técnicas estatísticas, conforme exposto neste trabalho, torna-se um importante instrumento de apoio à tomada de decisão, pois por meio de uma análise detalhada, e do processamento de alguns dados, é possível gerar informações que possibilitam e auxiliam posteriormente a tomada de decisões, tendo como base os resultados obtidos da análise e do cruzamento de critérios pré-estabelecidos. Sendo assim, a partir do resultado destas análises, torna-se mais

fácil a escolha de uma das alternativas, ou de uma técnica, como será proposto neste trabalho.

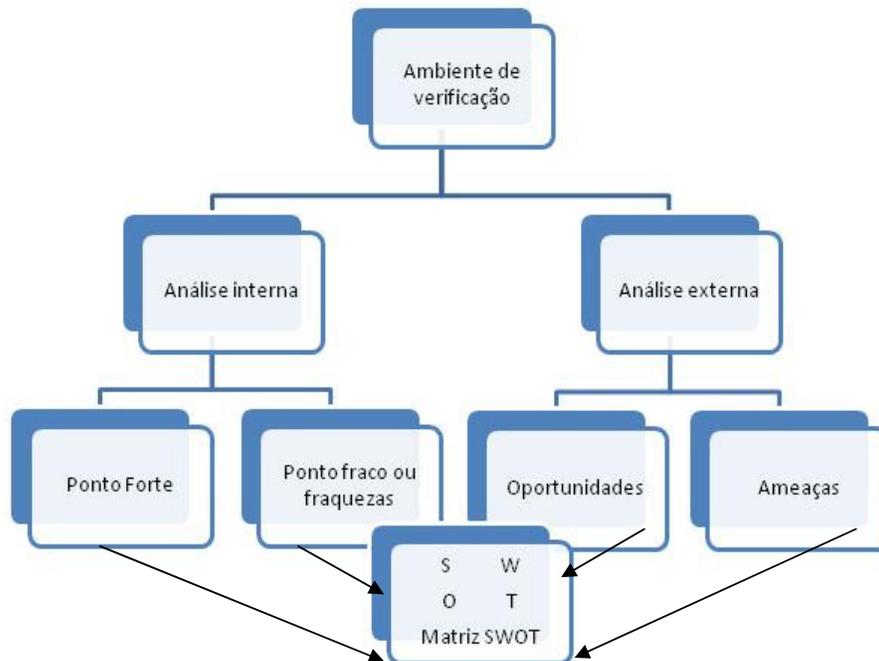


Figura 12: Fluxograma da matriz SWOT

Fonte: (Görener, Toker e Uluçay, 2012)

Quadro 1: Opções estratégicas

	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Oportunidades	Quadrante I. Estratégias que utilizam pontos fortes e maximizam as oportunidades	Quadrante II. Estratégias que minimizam as fraquezas, aproveitando oportunidades.
Ameaças	Quadrante III. Estratégias que utilizam pontos fortes para minimizar as ameaças.	Quadrante IV. Estratégias que minimizem fraquezas e evitam ameaças.

Fonte: Tradução de Takano ,(2009)

- É importante descrever resumidamente as características dos grupos: pontos fortes, pontos fracos ou fraquezas, oportunidades e ameaças (Daychoum, 2013).
- Ponto forte: vantagens internas quando comparado com a concorrência;
- Ponto fraco: desvantagens internas quando comparado com a concorrência;

- Oportunidade: “aspectos positivos da envolvente com o potencial de fazer crescer a vantagem competitiva da organização.”
- Ameaças: “aspecto negativo da envolvente com o potencial de comprometer a vantagem competitiva da organização.”

A figura 13 exemplifica uma estrutura hierárquica de priorização da matriz SWOT.

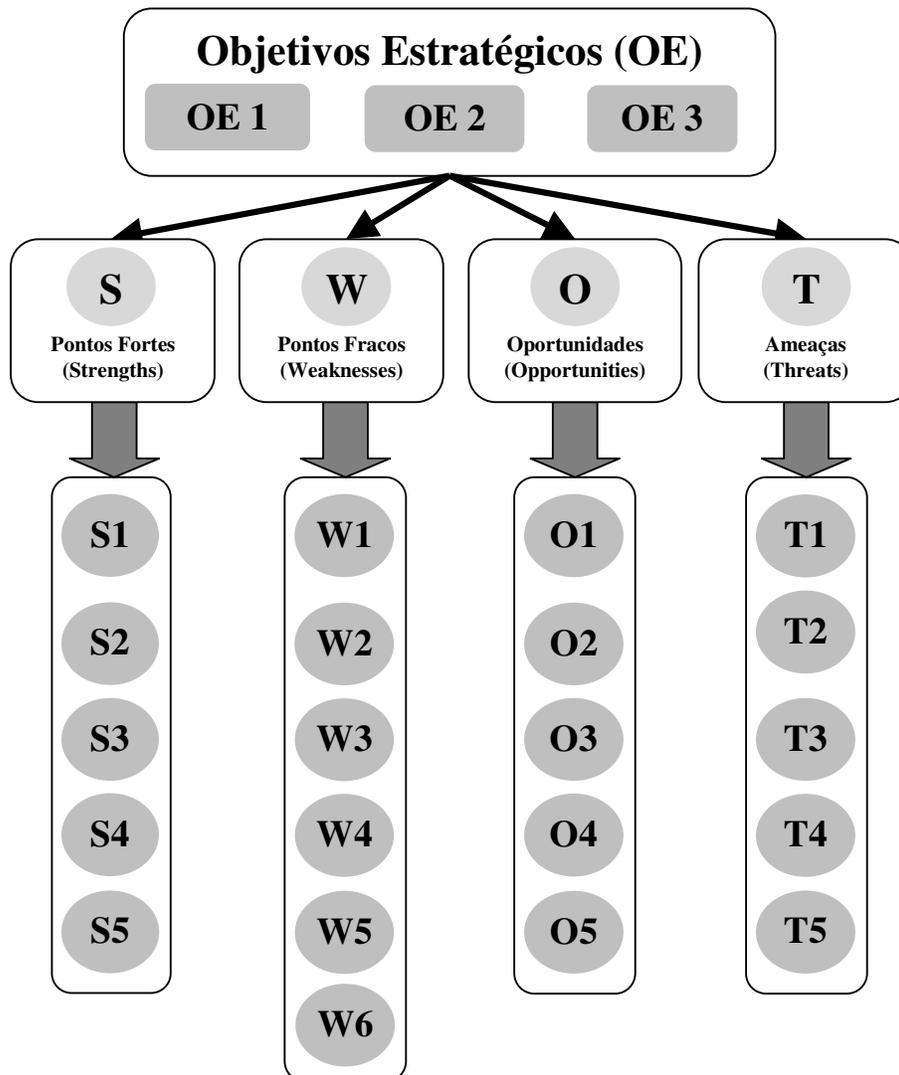


Figura 13: Estrutura hierárquica de priorização da SWOT

Fonte: Tradução de Takano ,(2009)

Após a definição dos indicadores (ou critérios) que irão compor os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças, os especialistas da área de calibração de transmissores de temperatura e pressão estática, aplicados à

indústria de gás natural avaliam o peso para os critérios, o que caracteriza uma abordagem modificada e inovadora.

Há na literatura alguns trabalhos que atribuem notas para os critérios, porém este trabalho, além de notas, sugere uma abordagem que atribui pesos para os critérios estabelecidos.

Esta abordagem não faz parte de uma matriz SWOT tradicional e sim de outras ferramentas como *Analytic Hierarchy Method* (AHP) (Wu *et al.*, 2014), Matriz de Decisão, dentre outras.

Em seguida, atribui-se notas para estes critérios a fim de avaliar o grau de influência entre a técnica estatística e o critério, utilizando a eq. (12).

$$\text{Pontos de cada célula} = \text{peso 1} \times \text{peso 2} \times \text{nota} \quad (12)$$

Onde:

- Peso 1: Peso referente ao critério que compõe o ponto forte ou ponto fraco;
- Peso 2: Peso referente ao critério que compõe a oportunidade ou ameaça;
- Nota: nota aplicada ao cruzamento dos critérios referentes ao peso 1 e ao peso 2.

Os critérios avaliados individualmente por especialistas na disciplina de calibração receberam pesos diferentes, pois nem todos os critérios são igualmente importantes, porém estes pesos, uma vez atribuídos, mantiveram-se os mesmos para todas as técnicas estatísticas que estavam sendo analisadas.

Após o processamento dos dados inseridos anteriormente, dá-se início ao cálculo dos quadrantes, que tem por finalidade apresentar qual técnica obteve a melhor pontuação, utilizando as Eq. (13) a (16).

$$\text{QD(I)} = \text{Soma dos pontos do quadrante I} \quad (13)$$

$$\text{QD(II)} = \text{Soma dos pontos do quadrante II} \quad (14)$$

$$\text{QD(III)} = \text{Soma dos pontos do quadrante III} \quad (15)$$

$$\text{QD(IV)} = \text{Soma dos pontos do quadrante IV} \quad (16)$$

$QD(I) - QD(III)$ representa a capacidade ofensiva, enquanto $QD(II) - QD(IV)$ representa a capacidade defensiva.

- Oportunidades x Pontos Fortes: capacidade de ação ofensiva ;
ex: as oportunidades potencializam os pontos fortes.
- Oportunidades x Pontos Fracos: restrições ;
ex: os pontos fracos minimizam as oportunidades.
- Ameaças x Pontos Fortes: capacidade de ação defensiva;
ex: os pontos fortes amenizam as ameaças.
- Ameaças x Pontos Fracos: vulnerabilidade;
ex: as ameaça do ambiente ficam potencializadas devido aos pontos fracos.

Após encontrar o valor de cada quadrante, o valor total do planejamento estratégico global de cada técnica estatística é computado pela Eq. (17):

$$Total = QD(I) - QD(III) + QD(II) - QD(IV) \quad (17)$$