



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102019004501-9 A2



(22) Data do Depósito: 07/03/2019

(43) Data da Publicação Nacional: 06/10/2020

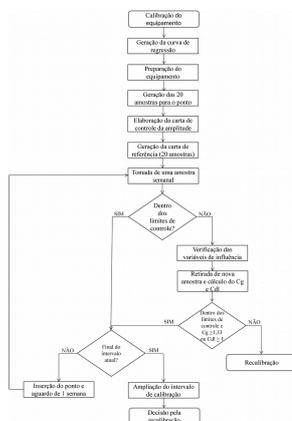
(54) **Título:** MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE

(51) **Int. Cl.:** G01R 35/00.

(71) **Depositante(es):** INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO; UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO; ASSOCIAÇÃO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO ? ITEP/OS.

(72) **Inventor(es):** JOSÉ EDUARDO FERREIRA DE OLIVEIRA; NELSON GONÇALVES DA SILVA; EDUARDO JOSÉ ALÉCIO DE OLIVEIRA; MATEUS DE MELO SILVA FREITAS; APOLLO MELO DA SILVA; DAVI ANDERSON GADELHA DE SENA; ANTÔNIO MARCOS FIGUEIREDO SOARES; CARLOS AUGUSTO DO NASCIMENTO OLIVEIRA; ROGÉRIO PONTES DE ARAÚJO; JOÃO JOSÉ DE SOUZA MARQUES.

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE RESUMO Este método foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar ao seu usuário a possibilidade de monitoramento e ajuste do intervalo de calibração. A base deste método consiste em se estabelecer um intervalo inicial para recalibração e, a partir daí, acompanhar a estabilidade do equipamento durante o período preestabelecido, através do uso da carta de controle da amplitude, juntamente com o coeficiente de capacidade de processo C<sub>p</sub> ou da utilização do coeficiente de capacidade C<sub>dI</sub>, o qual foi desenvolvido por nós. O método realiza este monitoramento em pontos distribuídos ao longo da faixa nominal do equipamento. Portanto, haverá uma carta de controle para cada ponto analisado. Além disto, considera um tamanho da amostra único e igual a 4. Através deste monitoramento e considerando-se os critérios de incerteza máxima admissível para o equipamento e dos erros (exatidão, repetitividade e/ou reprodutibilidade) máximos admissíveis, o usuário deverá elaborar uma curva de regressão linear ou polinomial para se chegar ao tempo em que, se não ocorrerem causas aleatórias significativas, tais erros e incerteza fossem alcançados para a partir daí, realizando-se o monitoramento (...).



## MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE

### RELATÓRIO DESCRITIVO

[001] A presente invenção compreende um método para ser utilizado no monitoramento e ajuste de intervalos de calibração utilizado para qualquer equipamento que necessite de calibração, podendo ser aplicado através de cálculos manuais, planilhas eletrônicas ou por meio do software ACIC que foi desenvolvido no âmbito desta pesquisa.

[002] Um dos grandes problemas relacionados ao controle metrológico atualmente, diz respeito a não se ter um padrão preestabelecido para se estabelecer um intervalo de calibração confiável, uma vez que existem vários métodos, cada um deles com suas particularidades e com grande grau de empirismo.

[003] Assim, o MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE por nós proposto juntou duas ferramentas utilizadas para diferentes aplicações da engenharia de processo e de produto, a carta de controle da amplitude e o coeficiente de capacidade de processo, e desenvolveu um método cujo objetivo é monitorar a estabilidade de um dado equipamento ponto a ponto por intervalos de tempo preestabelecidos, com as tomadas de amostras com número fixo e preestabelecidos, e com base no monitoramento, ampliar o intervalo estabelecido ou recalibrar o equipamento, caso o mesmo tenha saído de controle por alguma causa aleatória.

[004] Um aspecto de ineditismo deste método é que a carta de controle é originalmente utilizada para se controlar processo e o coeficiente de capacidade para se controlar o produto. Porém, neste método ambos são utilizados, em conjunto, para o propósito de monitoramento e ajuste do intervalo de calibração.

[005] Outro ponto importante é que neste método é utilizado o coeficiente de capacidade  $C_g$ , e o coeficiente de capacidade  $C_{dl}$ , o qual é aplicado única e exclusivamente para equipamentos de medição, sendo o mesmo desenvolvido por nós inventores deste método.

[006] O MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE é utilizado para o monitoramento e ajuste dos intervalos de calibração de instrumentos de medição, sistemas de medição, materiais de referência e medidas materializadas, independente da grandeza, podendo assim ser aplicado a qualquer equipamento de medição.

[007] A principal diferença entre os métodos existentes e o proposto se baseia no fato de que os métodos existentes, fundamentalmente, se baseiam no estado da calibração atual e de calibrações passadas para ajuste do intervalo de calibração atual. O MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE, por sua vez, além de utilizar os dados de calibrações passadas (erros e incertezas), também realiza um acompanhamento semanal da estabilidade do equipamento em toda sua faixa nominal, obtendo, portanto, um resultado mais confiável para o ajuste do intervalo de calibração adotado.

[008] Trata-se, portanto, de um método qualitativo e quantitativo para ajuste do intervalo de calibração e monitoramento da estabilidade do equipamento.

[009] Inicialmente, faz-se necessária a realização de uma rápida explanação sobre a carta de controle da amplitude, bem como do coeficiente de capacidade  $C_g$  e do coeficiente de capacidade  $C_{dl}$  que foi criado por nós, no âmbito desta pesquisa. Para a elaboração da carta de controle da amplitude, a linha central é dada pela amplitude média de cada amostra  $\bar{R}$ , o limite superior de controle  $LSC_R$  é obtido através da Equação 1 e o limite inferior de controle  $LIC_R$  por meio da Equação 2.

[010] **EQUAÇÃO 1** - limite superior de controle:  $LSC_R = D_4^* \bar{R}$ .

[011] **EQUAÇÃO 2** - limite inferior de controle:  $LIC_R = D_3^* \bar{R}$ .

[012] Como neste método todo o tamanho da amostra é igual a 4, de acordo com a Tabela 1,  $D_3$  é igual a 0 (zero) e  $D_4$  vale 2,28.

[013] O coeficiente de capacidade  $C_g$  é dado pela Equação 3, onde  $T$  é a tolerância admissível para o sistema de medição,  $w$  é o número de desvios padrão ligado à dispersão e  $s$  é o desvio padrão amostral.

[014] **EQUAÇÃO 3** - coeficiente de capacidade  $C_g$ :  $C_g = (0,2 * T) / (w*s)$ .

[015] Para o cálculo de  $C_g$ , a variável  $w$  apresenta valores 4 e 6 (Tuominen et al., 2008) (Bujara et al., 2007) (Jankovych et al., 2011) (Rahmati et al., 2015) (Polák et al., 2014). Neste método utiliza-se sempre  $w = 4$ .

[016] O coeficiente de capacidade  $C_{dl}$  foi desenvolvido com o propósito de ser utilizado apenas como uma variável que indica a perda de estabilidade de um dado equipamento e, para fins deste trabalho, será considerado como equipamento qualquer instrumento de medição, sistema de medição, medida materializada ou material de referência. O valor de  $C_{dl}$  é determinado através da Equação 4, onde  $U$  é a incerteza de medição máxima permitida;  $s$  é o desvio padrão amostral;  $n$  é o tamanho da amostra;  $U_{cal}$  é a incerteza herdada do equipamento, obtida diretamente do seu certificado de calibração e  $k_{cal}$  é o fator de abrangência associado à incerteza  $U_{cal}$ . Para este coeficiente de capacidade, o equipamento é considerado capaz para valores de  $C_{dl}$  maiores que 1 e incapaz, caso contrário.

[017] **EQUAÇÃO 4** - coeficiente de capacidade  $C_{dl}$ :

$$C_{dl} = \frac{U}{3 \times \sqrt{\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_{cal}}{k_{cal}}\right)^2}}$$

[018] A metodologia por nós proposta é apresentada no fluxograma da Figura 1, e descrita nos 11 passos seguintes. Para aplicação do método proposto no fluxograma da figura 1, deve-se seguir os seguintes passos:

- 1 – Calibre o equipamento;
- 2 – Estabeleça um intervalo inicial de calibração, baseando-se na experiência com o equipamento, severidade de uso, referências bibliográficas que sugerem intervalos iniciais de calibração, etc;

3 – Selecione outro equipamento (instrumento de medição, sistema de medição, medida materializada ou material de referência) que servirá apenas para o acompanhamento do equipamento em que se deseja ajustar o intervalo de calibração. Daí, selecione os pontos que serão acompanhados. Os pontos deverão ser sempre os mesmos, tanto para a elaboração da carta de referência quanto para o monitoramento ao longo do tempo. Na medida do possível, selecione os pontos tais pontos, iguais aos pontos que foram calibrados e que se encontram presentes no certificado de calibração. Suponha, por exemplo, que se deseja acompanhar a estabilidade de um pHmetro, Neste caso, deve-se utilizar uma solução com pH conhecido. Essa solução deverá ser sempre reproduzida com as mesmas características da original e as tomadas das amostras de medição do pH deverão ser tomadas nas mesmas condições ambientais. Portanto, as condições de repetitividade são fundamentais para o êxito da aplicação deste método.

4 – Selecione o primeiro ponto para início da aplicação da metodologia. A mesma deverá ser adotada para os demais pontos previamente selecionados;

5 – Caso o equipamento possua mais de uma calibração, preferencialmente ao menos três, aplique uma curva de regressão, considerando o erro (exatidão, repetitividade, etc) ou a incerteza do equipamento em função do tempo, com o objetivo de se verificar o tempo em que tal erro ou tal incerteza alcançaria o máximo permitido para o equipamento. Para a aplicação desta curva, utilize o erro máximo avaliado ( $E_{max}$ ), dado pela Equação 5, onde  $T_{dmax}$  é a tendência máxima que o equipamento deverá apresentar e  $U_{max}$  é a maior incerteza expandida de medição apresentada no certificado de calibração do equipamento. Portanto, em cada certificado de calibração do equipamento se apresentará um valor máximo de tendência e um valor máximo de incerteza de medição. Assim, após sucessivas calibrações, poderá se ter a evolução do erro máximo avaliado e também da incerteza de medição. Caso o critério adotado pelo usuário seja o da máxima incerteza expandida de medição, o mesmo deverá montar uma curva de regressão para se obter o tempo em que a incerteza máxima será

alcançada. Caso o critério seja do erro de indicação máximo, o gráfico deverá ser do erro máximo avaliado em função do tempo;

[019] **EQUAÇÃO 5** - erro máximo avaliado:  $E_{\text{mav}} = |T_{\text{dmax}}| + U_{\text{max}}$

6 – Prepare o equipamento logo que o mesmo retorne de uma calibração, de modo a gerar a carta de controle de referência, ou seja, a carta nas melhores condições de utilização do equipamento. Isto significa que as amostras deverão ser retiradas pelo melhor operador disponível na organização. Tal carta deverá servir como referência dos limites de controle.

7 – Retire 20 amostras de tamanho 4 para cada ponto. Ou seja, caso sejam estabelecidos cinco pontos de acompanhamento para o equipamento ao longo da sua faixa nominal, como por exemplo no caso de um manômetro de classe de exatidão A, deverão ser geradas 5 cartas de controle de referência para a amplitude. No eixo das abscissas serão colocados os números das amostras, ou seja, amostra 1, 2, ..., 20. No eixo das ordenadas serão colocadas as amplitudes médias de cada amostra, além da linha central que representa a amplitude média e dos limites de controle. É importante salientar que a amplitude da amostra é dada pela diferença entre o maior e o menor valor da amostra. Para este caso específico em que o tamanho da amostra é igual a 4, a variável D3 é igual a zero, e, conseqüentemente, o limite inferior de controle será sempre igual a zero. Para cada amostra retirada verifique se na mesma há outliers, aplicando os testes de Dixon, Grubbs e Chauvenet. Para tal, utilize o software ANALYSIS (Nogueira et al., 2013), o qual é obtido gratuitamente na internet. Caso haja algum outlier, remova o ponto em questão e realize a medição de outro, checando novamente a amostra no software ANALYSIS, até que nenhum *outlier* seja encontrado.

8 – A partir da carta de referência com todos os vinte pontos de amplitude dentro dos limites de controle (limite superior de controle e limite inferior de controle), tome uma amostra semanal de tamanho 4 e verifique se a mesma se encontra ou não dentro destes limites e calcule também os coeficientes  $C_g$  e  $C_{dl}$ .

9 – Caso o ponto tenha se apresentado dentro dos limites de controle, aguarde uma semana, retire nova amostra e verifique como a mesma se apresenta na carta de referência com relação aos limites de controle e também com relação aos pontos anteriores. Caso o mesmo fique dentro dos limites de controle, vá repetindo esta operação.

10 – Se a amplitude média de uma determinada amostra se apresentar acima do limite superior de controle, inicialmente faça uma análise da coleta da amostra, considerando as seguintes variáveis de influência da medição: condições ambientais, método de medição utilizado, erro de digitação do valor medido, preparação do sistema para a medição, equipamento de verificação com algum defeito ou erro de leitura. Em seguida, retire uma nova amostra e calcule os coeficientes  $C_g$  e  $C_{dl}$  ou um deles. Caso essa nova amostra se apresente dentro dos limites de controle e o  $C_{dl}$  for maior que 1 e/ou o  $C_g$  for maior que 1,33, insira o ponto no acompanhamento e aguarde mais uma semana para retirada de nova amostra. Caso contrário, o equipamento deverá ser retirado de operação e enviado para recalibração.

11 – Uma vez alcançado o prazo atual de calibração do equipamento, e os pontos tenham se apresentado dentro dos limites de controle, o mesmo poderá ser ajustado pelo usuário, de acordo com a análise do gráfico com todos os pontos plotados. Tal ampliação deverá levar em conta, fundamentalmente o bom senso, e a prerrogativa de sempre se apresentar a favor da segurança. No entanto, a fim de apresentar um referencial de ampliação a ser seguido, podem-se utilizar os seguintes percentuais de ampliação:

- Se todos os pontos se apresentarem entre os limites superior e inferior de controle, realize uma ampliação do intervalo de calibração atual entre 35% e 50%;

- Se todos os pontos se apresentarem entre a linha central e metade da distância entre a linha central e o limite superior de controle, e, além disto, todos os coeficientes  $C_{dl}$  gerados forem superiores a 1, realize uma ampliação do intervalo de calibração atual entre 50% e 100%;
- Se ao menos dois terços dos pontos gerados na carta de controle se apresentarem acima da distância média entre a linha central e o limite superior de controle, e além disto, com uma curva ou reta crescente, aumente o intervalo de calibração entre 10% e 20%;
- Se a maioria dos pontos se apresentarem próximos ao limite superior de controle, permaneça com o intervalo de calibração inalterado;
- Se todos os pontos se apresentarem abaixo da linha central e todos os valores do coeficiente  $C_{dl}$  se apresentarem acima de 1, amplie o intervalo de calibração entre 80% e 110%.

[020] As ampliações, independentemente da situação, deverão considerar sempre, o tempo em que o valor máximo do erro e/ou da incerteza serão alcançados, caso variações aleatórias não sejam percebidas ao longo do tempo. No entanto, este método recomenda que independente do equipamento, não se estabeleça um prazo para recalibração superior a 36 meses.

[021] Mesmo com as amplitudes médias dentro dos limites de controle e com os coeficientes de capacidade mostrando que o equipamento é capaz, o usuário poderá, a qualquer momento retirar o equipamento de operação para recalibração.

[022] A fim de exemplificar a aplicação do método proposto, o mesmo será aplicado para uma célula de torque, conforme mostrado a seguir.

Para a realização dos experimentos Foi utilizada uma célula de torque digital, disposta em uma bancada, conforme Figura 2. Para o acompanhamento das variações da célula foi utilizado um torquímetro com as seguintes características: Torquímetro analógico (horário e anti-horário); Faixa nominal 0 – 16 kgf.m; Menor divisão 0,5 kgf.m.

Por sua vez, a célula de torque possui as seguintes características: Indicação digital; Sentido horário e anti horário; Faixa nominal 0 – 100 N.m; Menor divisão 0,1 N.m.

[023] É importante salientar que o referido torquímetro é utilizado única e exclusivamente para as verificações intermediárias desta célula de torque, sendo o mesmo devidamente armazenado e manuseado apenas pelos técnicos do laboratório. Por sua vez, os resultados da calibração desta célula, obtidos através do certificado de calibração da mesma são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

[024] Para o acompanhamento da célula foram considerados os seguintes pontos: 20, 40, 60 e 80 N.m. O valor de fundo de escala foi preservado com o intuito de não se correr risco de aplicar sobrecarga na célula. Para cada ponto citado foram realizadas quatro medições em um total de 20 amostras, sendo tomada uma única amostra por dia. Assim, o tamanho da amostra  $n$  é igual a 4 e o número de amostras  $m$  vale 20.

[025] Para o caso de  $n < 10$ , deve-se utilizar como carta de controle para variabilidade, a carta da amplitude ao invés da carta do desvio padrão. Assim, para cada um dos quatro pontos verificados da célula foram obtidas duas cartas de controle, sendo uma da média e outra da amplitude, totalizando oito cartas de controle.

[026] Como o objetivo deste trabalho é monitorar a estabilidade de uma célula de torque, utilizou-se a carta de controle das amplitudes, cuja função é analisar a repetitividade das amostras coletadas, ou seja, verificar se o sistema de medição está sob controle estatístico. Por sua vez, para este caso específico, a carta de controle da média foi desprezada, pois a mesma realiza a análise de reprodutibilidade, medindo a influência dos metrologistas sob o controle das medições. Assim, as Figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam as cartas de controle da amplitude para os pontos de 20, 40, 60 e 80 N.m, respectivamente. As cartas geradas a partir destas vinte amostras serviram como carta de referência para o modelo estudado. A partir daí, é realizada uma única coleta de apenas uma amostra para cada ponto e o mesmo é confrontado na carta de controle de referência. Caso o ponto se apresente fora dos limites de controle, uma nova coleta é realizada, tomando-se o cuidado de verificar os possíveis pontos apresentados no Diagrama de Ishikawa da Figura 7, os quais poderão influenciar o resultado obtido. Caso ponto ainda se apresente fora dos limites de controle, a célula de torque é

retirada de serviço para manutenção e recalibração. Tal procedimento vale para qualquer um dos pontos analisados na faixa nominal do sistema de medição.

[027] Analisando-se estas cartas, pode-se constatar que todos os pontos se encontram dentro dos limites de controle. A amostra 15 do ponto de 40 N.m, a amostra 14 no ponto de 60 N.m e a amostra 6 no ponto de 80 N.m apresentaram valores da amplitude próximos do limite superior de controle, no entanto, verifica-se que se trataram de pontos isolados, uma vez que as amostras seguintes ficaram mais próximas da linha central.

[028] As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam, respectivamente, os pontos de 20 N.m, 40 N.m, 60 N.m e 80 N.m, para a célula de torque de 100 N.m. Os valores apresentados já se encontram com as respectivas correções dos erros sistemáticos. Por outro lado, todos os pontos de cada amostra foram testados no software ANALYSIS com o intuito de se verificar possíveis outliers, tomando os testes de Dixon, Grubbs e Chauvenet.

[029] Por fim, será apresentada a curva de regressão utilizada para se prever quando o erro máximo avaliado alcançará o seu valor limite de 1 N.m, que corresponde ao erro de indicação máximo admissível que é 1% do valor de fundo de escala (100 N.m). Portanto, tomando-se os dados da Tabela 8 e variando o tempo ( $T$ ) em função de  $E_{mav}$ , obtém-se a curva com melhor ajuste, conforme Equação 6. Aplicando-se a esta equação, o valor de  $E_{mav}$  igual a 1 N.m, obtém-se o valor de  $T$  igual a 9 anos e aproximadamente 3 meses. A figura 8 apresenta a reta gerada.

[030] **EQUAÇÃO 5** - tempo em anos em função do  $E_{mav}$ :  $T = 9,51484.E_{mav} - 0,23552$ .

[031] A **FIGURA 1** apresenta o método proposto.

[032] A **FIGURA 2** apresenta a bancada de torque utilizada nos experimentos.

[033] A **FIGURA 3** apresenta a carta de controle da amplitude para o ponto de 20 N.m.

[034] A **FIGURA 4** apresenta a carta de controle da amplitude para o ponto de 40 N.m.

[035] A **FIGURA 5** apresenta a carta de controle da amplitude para o ponto de 60 N.m.

[036] A **FIGURA 6** apresenta a carta de controle da amplitude para o ponto de 80 N.m.

[037] A **FIGURA 7** apresenta possíveis causas para uma dada amostra se apresentar fora dos limites de controle.

Tabela 1: Fatores estatísticos para a determinação das cartas de controle  $\bar{X}$  e R  
(Oliveira, 2016)

Número de pontos da amostra (n)	Fatores		
	A2	D3	D4
2	1,88	0	3,27
3	1,02	0	2,57
4	0,73	0	2,28
5	0,58	0	2,11
6	0,48	0	2,00
7	0,42	0,08	1,92
8	0,37	0,14	1,86
9	0,34	0,18	1,82
10	0,31	0,22	1,78
11	0,29	0,26	1,74
12	0,27	0,28	1,72
13	0,25	0,31	1,69
14	0,24	0,33	1,67
15	0,22	0,35	1,65
16	0,21	0,36	1,64
17	0,20	0,38	1,62
18	0,19	0,39	1,61
19	0,19	0,4	1,60
20	0,18	0,41	1,59

Tabela 2: Resultados do certificado de calibração da célula de torque de 100 N.m

Indicação no Instrumento	Média no Padrão	Erro de Indicação ( EI )	Erro Sistemático	Classe	U	k	
Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm		
20,00	20,0	19,97	-0,17	-0,03	0,5	0,06	2,00
40,00	40,0	39,92	-0,19	-0,08	0,5	0,06	2,00
60,00	60,0	59,81	-0,32	-0,19	1,0	0,06	2,00
80,00	80,0	79,65	-0,43	-0,35	1,0	0,06	2,00
100,00	100,0	99,80	-0,40	-0,40	1,0	0,06	2,00

Tabela 3: Erros da célula de torque de 100 N.m

ERRO DE INDICAÇÃO ( EI )	0,43%
ERRO DE REPETITIVIDADE ( R1 )	0,02%
ERRO DE REPRODUTIBILIDADE ( R2 )	0,02%
ERRO RELATIVO TORQUE ZERO ( Ez )	0,00%

Tabela 4: Dados para o ponto de 20 N.m da célula de torque de 100 N.m

DIA	PONTO DE 20 N.m			
	X1	X2	X3	X4
1	19,3	19,7	19,2	19,4
2	19,3	19,7	19,3	19,7
3	20,5	20,2	20,4	20,4
4	20,6	20,6	20,7	20,1
5	19,9	20,0	20,2	20,6
6	20,0	20,5	19,7	20,0
7	20,3	20,9	20,8	20,3
8	20,7	20,9	21,0	20,9
9	20,2	19,9	20,3	20,7
10	20,5	20,3	20,0	19,8
11	19,7	20,0	20,4	20,2
12	20,4	19,6	20,6	20,7
13	20,2	20,5	20,6	20,6
14	19,7	19,9	19,6	19,6
15	20,9	20,3	20,1	20,4
16	19,2	19,6	19,0	19,0
17	19,9	19,3	19,9	19,6
18	19,1	19,2	19,7	19,4
19	19,3	19,0	19,5	19,9
20	19,4	19,4	19,2	19,7

Tabela 5: Dados para o ponto de 40 N.m

DIA	PONTO DE 40 N.m			
	X1	X2	X3	X4
1	39,9	39,9	40,4	40,4
2	41,9	40,9	41,4	41,2
3	41,1	40,4	40,4	40,8
4	41,1	40,7	40,3	41,2
5	41,4	40,6	41,2	41,1
6	40,9	40,5	40,0	40,4
7	40,7	40,8	41,1	41,3
8	41,6	41,9	41,9	41,6
9	41,0	41,1	40,7	41,0
10	40,8	40,3	41,4	40,5
11	40,0	40,1	40,4	40,9
12	40,8	40,5	40,7	40,5
13	41,3	41,6	41,5	41,7
14	40,3	41,1	40,1	39,8
15	40,0	40,4	39,8	41,3
16	40,0	40,6	40,9	39,9
17	40,3	40,2	40,3	40,1
18	40,1	40,5	40,7	40,7
19	40,1	40,3	40,3	40,5
20	40,4	40,5	40,0	40,4

Tabela 6: Dados para o ponto de 60 N.m da célula de torque de 100 N.m

DIA	PONTO DE 60 N.m			
	X1	X2	X3	X4
1	61,1	61,6	62,1	62,0
2	62,5	62,3	62,0	61,8
3	60,9	59,9	60,5	60,8
4	61,9	61,9	62,4	61,7
5	62,4	61,7	61,8	61,5
6	60,9	61,2	60,5	61,2
7	61,1	61,6	61,5	61,7
8	62,1	61,9	61,4	62,0
9	61,5	61,4	60,9	61,3
10	61,8	62,0	62,0	61,7
11	61,0	61,3	61,6	61,5
12	61,9	62,1	62,0	62,0
13	61,6	60,7	61,4	61,1
14	62,7	62,7	62,4	61,3
15	60,5	60,7	60,1	60,5
16	60,4	60,5	60,0	60,0
17	60,7	60,5	61,0	60,5
18	60,4	60,4	60,1	60,8
19	59,9	60,5	59,7	60,1
20	59,7	60,7	59,7	60,4

Tabela 7: Dados para o ponto de 80 N.m da célula de torque de 100 N.m

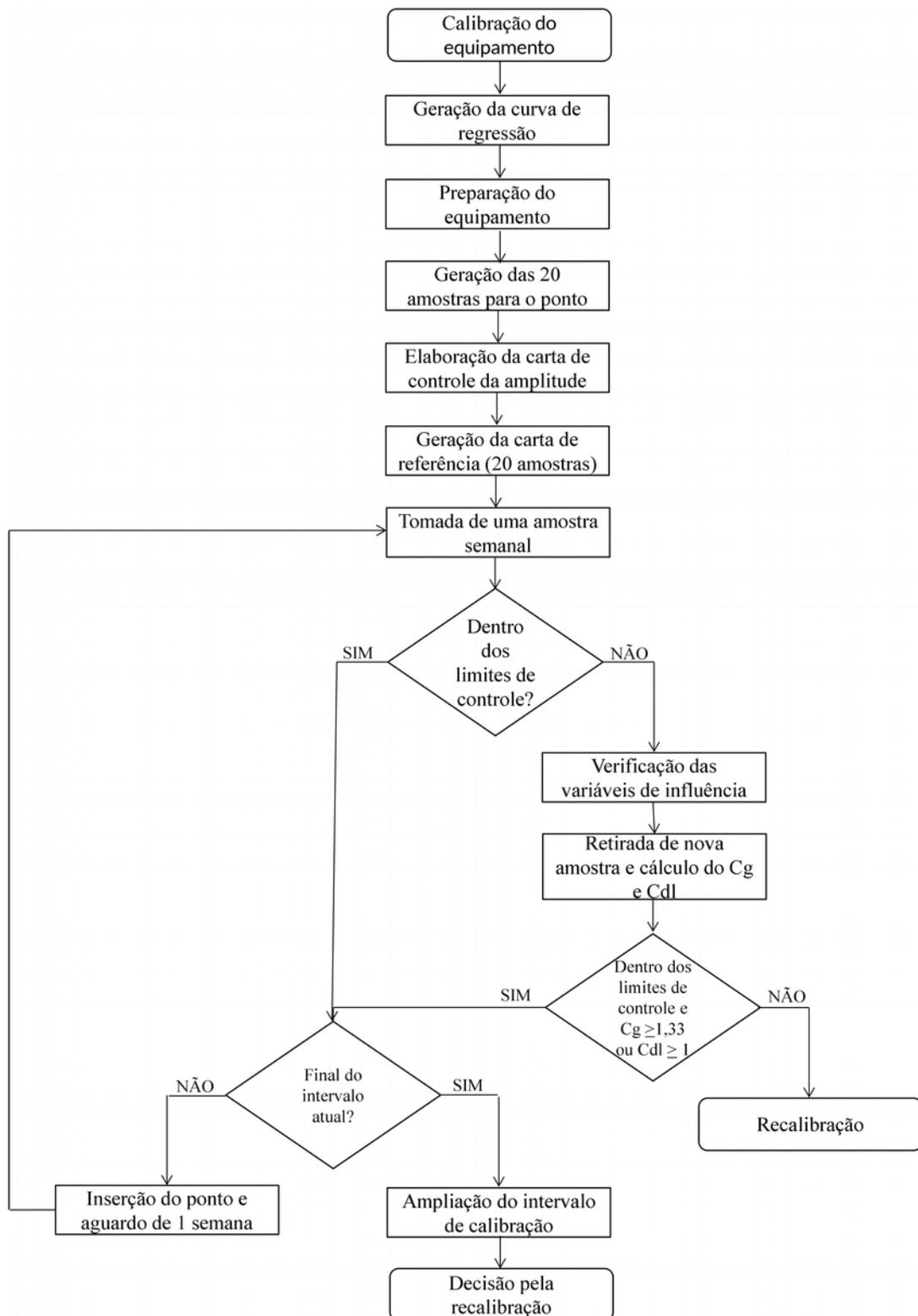
DIA	PONTO DE 80 N.m			
	X1	X2	X3	X4
1	82,2	83,0	82,7	82,2
2	82,4	81,9	82,2	82,7
3	82,1	80,4	82,2	81,7
4	81,6	82,4	82,6	82,7
5	82,6	82,6	81,4	81,0
6	82,1	82,6	80,4	81,6
7	82,3	81,8	81,5	81,8
8	82,5	82,5	82,1	82,0
9	81,6	82,1	82,3	81,7
10	81,6	82,5	82,6	81,3
11	82,6	82,6	82,3	81,3
12	82,2	82,3	82,3	82,6
13	80,8	82,3	81,9	81,3
14	83,3	83,3	82,8	82,8
15	80,7	81,3	81,1	80,6
16	80,6	81,4	81,1	81,3
17	81,1	80,8	80,7	81,2
18	80,5	80,1	80,7	81,0
19	79,8	80,1	80,5	81,3
20	80,8	81,4	80,9	80,9

Tabela 8: Dados obtidos das quatro últimas calibrações da célula de torque

Ano	Dados
1	U <sub>max</sub> = 0,06 N.m para k = 2; T <sub>dmax</sub> = 0,10 N.m
2	U <sub>max</sub> = 0,06 N.m para k = 2; T <sub>dmax</sub> = 0,15 N.m
3	U <sub>max</sub> = 0,06 N.m para k = 2; T <sub>dmax</sub> = 0,26 N.m
4	U <sub>max</sub> = 0,06 N.m para k = 2; T <sub>dmax</sub> = 0,40 N.m

## REIVINDICAÇÕES

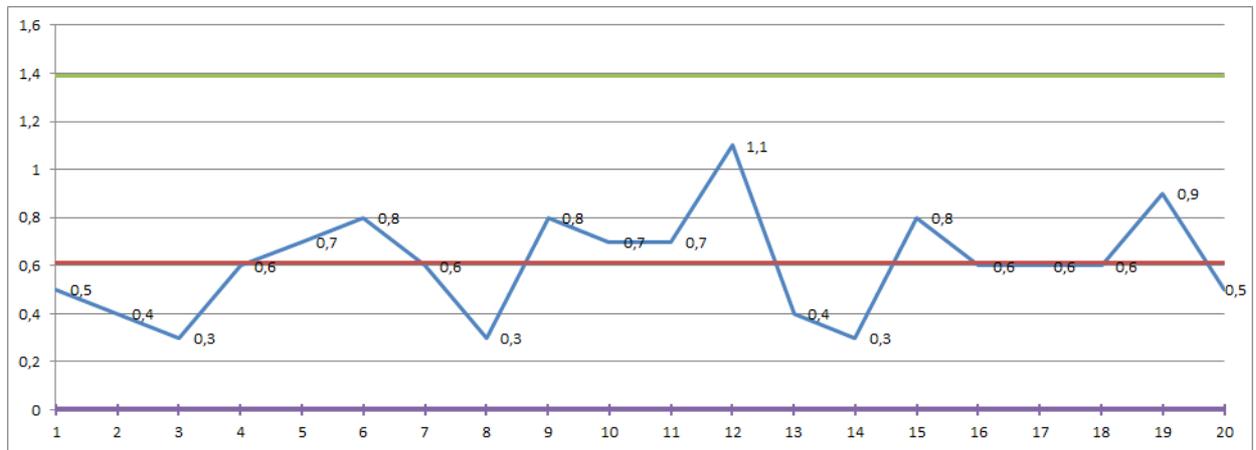
1. MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE **caracterizado por** ser utilizado para o monitoramento e ajuste do intervalo de calibração para qualquer instrumento de medição, sistema de medição, medida materializada ou material de referência, através do uso da carta de controle da amplitude, juntamente com o coeficiente de capacidade de processo  $C_g$  ou da utilização do coeficiente de capacidade  $C_{dl}$ .



**FIGURA 1** - método proposto.

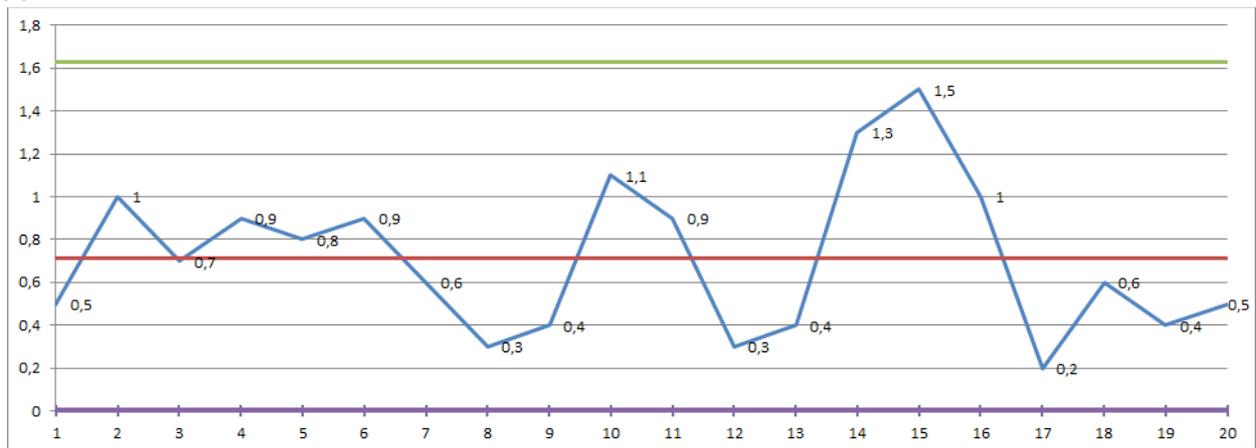


**FIGURA 2** - bancada de torque utilizada nos experimentos.

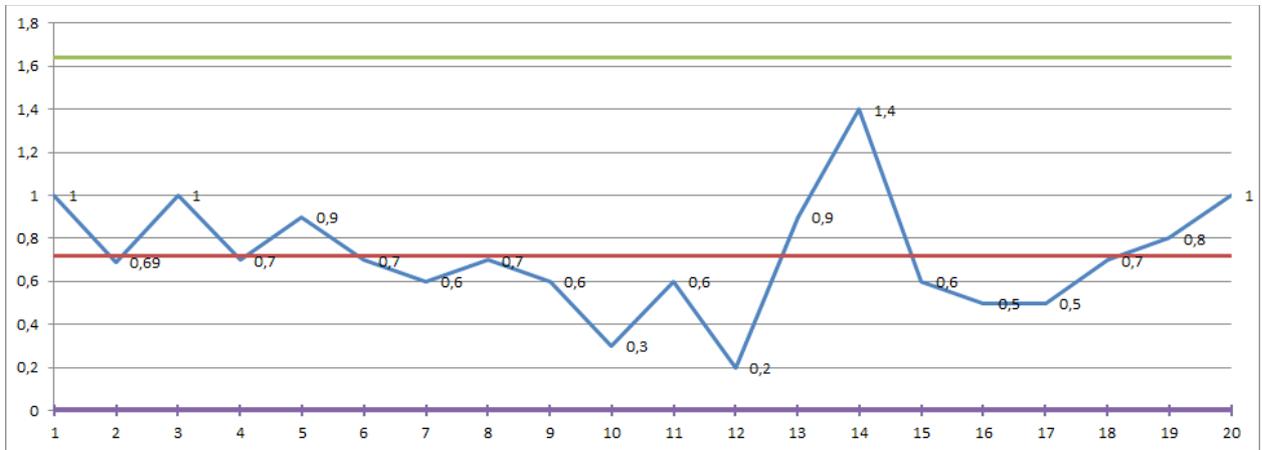


**FIGURA 3** - carta de controle da amplitude para o ponto de 20 N.m.

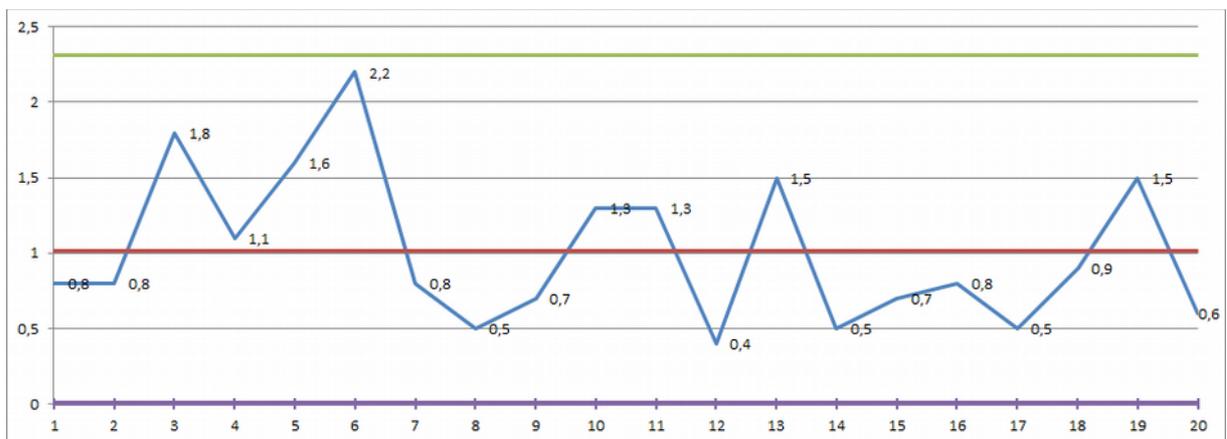
A



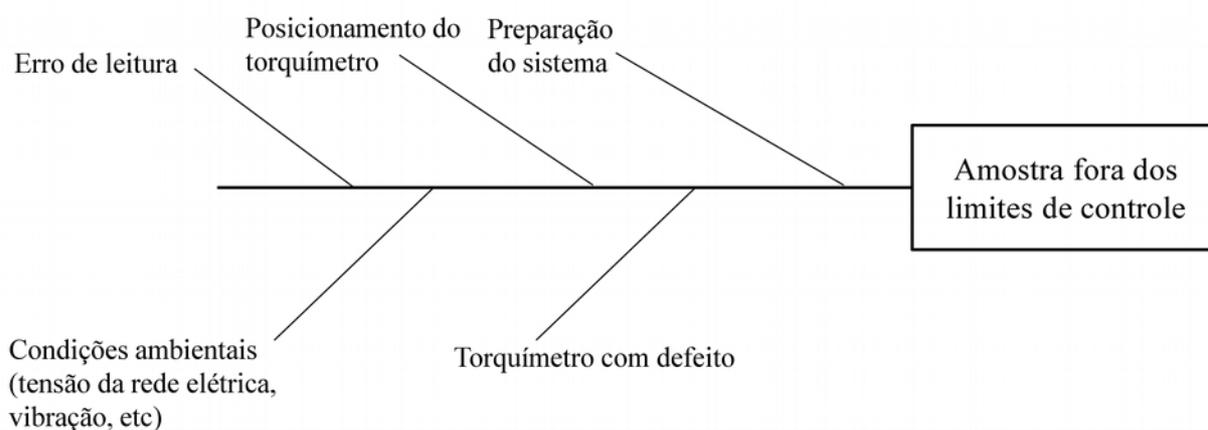
**FIGURA 4** - carta de controle da amplitude para o ponto de 40 N.m.



**FIGURA 5** - carta de controle da amplitude para o ponto de 60 N.m.



**FIGURA 6** - carta de controle da amplitude para o ponto de 80 N.m.



**FIGURA 7** - possíveis causas para uma dada amostra se apresentar fora dos limites de controle.

## MÉTODO PARA ACOMPANHAMENTO E AJUSTE DO INTERVALO DE CALIBRAÇÃO COM BASE NA CARTA DE CONTROLE DA AMPLITUDE E NA CAPABILIDADE

### RESUMO

Este método foi desenvolvido com o objetivo de proporcionar ao seu usuário a possibilidade de monitoramento e ajuste do intervalo de calibração. A base deste método consiste em se estabelecer um intervalo inicial para recalibração e, a partir daí, acompanhar a estabilidade do equipamento durante o período preestabelecido, através do uso da carta de controle da amplitude, juntamente com o coeficiente de capacidade de processo  $C_p$  ou da utilização do coeficiente de capacidade  $C_{pk}$ , o qual foi desenvolvido por nós. O método realiza este monitoramento em pontos distribuídos ao longo da faixa nominal do equipamento. Portanto, haverá uma carta de controle para cada ponto analisado. Além disto, considera um tamanho da amostra único e igual a 4. Através deste monitoramento e considerando-se os critérios de incerteza máxima admissível para o equipamento e dos erros (exatidão, repetitividade e/ou reprodutibilidade) máximos admissíveis, o usuário deverá elaborar uma curva de regressão linear ou polinomial para se chegar ao tempo em que, se não ocorrerem causas aleatórias significativas, tais erros e incerteza fossem alcançados para a partir daí, realizando-se o monitoramento se poder estabelecer um intervalo de tempo realístico e, sobretudo, confiável.