

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS DE PAQUÍMETRO E MICRÔMETRO DA DISCIPLINA DE METROLOGIA UTILIZANDO PLANILHAS COMO FERRAMENTA DE ENSINO

Kamila P. Lins – kamilalins@unifor.br
Universidade de Fortaleza, Engenharia Mecânica
Avenida Washington Soares, 1321
60811905 – Fortaleza – Ceará

Romário N. Monteiro – romariotecmec@gmail.com
Universidade de Fortaleza, Engenharia Mecânica

Clídio R. G. de Lima – clidio.lima@unifor.br
Universidade de Fortaleza, Engenharia Mecânica

Filipe B. Veras – filipeb.veras@gmail.com
Universidade de Fortaleza, Engenharia Mecânica

Augusto C. R. Araújo – aug_cesar@yahoo.com.br
Universidade de Fortaleza, Engenharia Mecânica

Átila G. de Oliveira – atilagirao@unifor.br
Universidade de Fortaleza, Engenharia de Controle e Automação

Resumo: *O presente artigo apresenta o desenvolvimento e implementação, por meio de um estudo de caso, de uma metodologia para otimizar e simplificar a avaliação do docente frente aos resultados obtidos pelos discentes durante as práticas de paquímetro e micrômetro da disciplina de metrologia da Universidade de Fortaleza. A partir de gabaritos obtidos das peças utilizadas nas práticas, foram elaboradas planilhas eletrônicas de registros e cálculos de parâmetros estatísticos. Foi desenvolvida uma metodologia para levantamento de dados, de modo a permitir comparações com o gabarito final. Para condensar as informações e obter um instrumento de auxílio à tomada de decisão do docente foi desenvolvido um modelo de demonstração de resultado de maneira que informações relevantes fossem facilmente visualizadas e avaliadas.*

Palavras-chave: *Ensino de Metrologia. Medições. Planilhas Eletrônicas. Estatística.*

1 INTRODUÇÃO

A ciência da medição e suas aplicações denomina-se metrologia. Ela engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo da aplicação (INMETRO, 2012).

A metrologia antes era vista simplesmente relacionada com padrões, a calibração e ao controle de medida, mas, atualmente seu conceito foi ampliado a partir do momento que se tornou de vital importância para que as indústrias mantivessem um padrão de trabalho garantido por um controle de qualidade e uma racionalização e controle de produção (FROTA & FINKELSTEIN, 2006).

Segundo Bernardes (2011), de maneira mais ampla, a metrologia é a sistematização do ato de medir, promovendo assim a confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medições, bem como facilitando o comércio, a produção industrial, os serviços, o manejo e proteção do meio ambiente, a saúde e a segurança dos cidadãos.

Hoje, o desenvolvimento da economia brasileira e mundial depende, em grande parte do potencial tecnológico das empresas e da capacidade das instituições de ensino e de pesquisa desenvolverem novos produtos. Em meio a esse cenário, é fundamental a participação efetiva do ensino e da pesquisa na área de metrologia, tendo em vista que a qualidade e a confiabilidade de um produto dependem, principalmente, da medição, da análise e da padronização que são todas inerentes à metrologia (NETO, 2010).

A metrologia é realmente uma linguagem universal. Tem sido assim devido principalmente ao amplo progresso industrial em todo o mundo, sendo também de fundamental importância tanto na ciência pura como na ciência aplicada. Não há como um pesquisador refazer um trabalho sem as medidas específicas. Isso é aplicável em todos os campos das ciências, da astronomia à biologia.

Quando se trata do ensino de metrologia os desafios são ainda maiores porque muitas vezes, os discentes não têm experiência necessária para entender essa importância. Com isso, o professor deve buscar metodologias adequadas para facilitar a aprendizagem dos discentes, visando à interdisciplinaridade de conteúdos diferentes e relacionando os mesmos com a metrologia (ALVES & PAULISTA, 2016).

As técnicas de ensino vêm evoluindo e, conseqüentemente, os discentes precisam de algumas alternativas para que a transmissão do conhecimento seja mais agradável.

- Considerando o ensino em engenharia, os métodos e técnicas tradicionais utilizados exigem um comportamento passivo do discente. Piletti (1988) apresenta os seguintes métodos: Aula expositiva onde o professor passa informações e o discente absorve a mesma e a transforma em conhecimento;
- Técnica de perguntas e respostas que consiste em o professor fazer perguntas ao aluno sobre um determinado assunto que os alunos estudaram ou tiveram algumas experiências no passado;
- Estudo dirigido.

Algumas das situações que os discentes, irão vivenciar numa atividade profissional não são frequentemente abordadas em sala de aula de forma prática, devido à falta da disseminação de conhecimentos contextualizados.

A abordagem inadequada dos conteúdos de metrologia, normalização e qualidade na formação de profissionais com curso superior torna-se graves visto que estes profissionais

necessitam realizar constantemente interpretações de resultados quantitativos como apoio de decisões (SANTOS, 2012).

Portanto, esse artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de planilhas de registro e cálculos utilizados nas práticas nas quais o enfoque é dado nos instrumentos convencionais mais utilizados na indústria metalmecânica: paquímetro e micrômetro. Tanto com o intuito de melhorar o ensino e aprendizagem como de otimizar o processo de entrega e correção dos relatórios realizados nas atividades laboratoriais (práticas).

Foi desenvolvida uma metodologia para levantamento de dados, de modo a permitir comparações com o gabarito final. Para condensar as informações e obter uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão, foi desenvolvido um modelo de demonstração de resultados de maneira que informações relevantes fossem facilmente visualizadas e avaliadas.

2 ASPECTOS TÉCNICOS E CONCEITUAIS

Neste tópico iremos abordar os parâmetros utilizados na análise estatística do processo de medição utilizando planilhas eletrônicas, alguns conceitos dos instrumentos utilizados na prática, o diagrama de Ishikawa do processo de medição e a grafia correta do resultado de medição.

2.1 Erro aleatório

É a parcela imprevisível do erro. É o agente que faz com que medições repetidas levem a resultados diferentes. O erro aleatório por si tem pouco interesse prático. A componente aleatória do erro de medição resulta da ação combinada e simultânea de diversos fatores aleatórios que agem sobre o processo de medição.

2.2 Incerteza-padrão

É uma medida da intensidade da componente aleatória do erro de medição. Corresponde ao desvio-padrão dos erros de medição.

O desvio-padrão de uma distribuição normal associada ao erro de medição é usado para caracterizar quantitativamente a intensidade da componente aleatória desse erro. Denomina-se incerteza-padrão o valor do desvio-padrão do erro aleatório de medição, sendo comumente representada pela letra “u”.

Na estatística “População” é o termo utilizado para descrever o número total de elementos que compõem o universo sobre o qual há interesse em analisar. Os elementos (indivíduos) de uma população não são necessariamente pessoas, mas podem ser objetos, números, entre outros. Há vários exemplos que envolvem populações finitas e outros com populações infinitas, este último pode até ser efetuada desde que exista tempo disponível e o sistema de medição sobreviva (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

Como na prática não se tem como efetuar infinitas medições repetidas, uma estimativa do desvio-padrão é obtida pelo desvio-padrão da amostra, calculado a partir de um número finito de medições repetidas do mesmo mensurando calculado pela Equação (1) (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Onde:

s desvio-padrão da amostra

I_i i-ésima indicação

\bar{I} média de “n” indicações

n número de medições repetidas efetuadas.

Portanto, o desvio-padrão da amostra (s) é uma estimativa do desvio-padrão da população (σ).

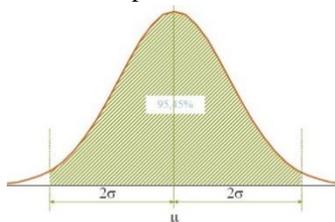
Quando calculada a partir de um conjunto de medições repetidas, a incerteza-padrão corresponde ao desvio-padrão da amostra. Deve ser associado à incerteza-padrão o número de graus de liberdade com que foi estimada. Comumente representado pela letra grega “v”, o número de grau de liberdade reflete o nível de segurança com que a estimativa do desvio-padrão é conhecida. Quando a incerteza-padrão é estimada a partir do “s” por meio da Equação (1), o número de grau de liberdade corresponde ao número de medições efetuadas menos um. No caso especial em que o desvio-padrão é conhecido exatamente, o número de graus de liberdade é considerado infinito (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

2.3 Repetibilidade

A repetibilidade corresponde à faixa dentro da qual as indicações do processo de medição são esperadas quando é envolvido um mesmo operador, medindo uma mesma característica do produto e em condições operacionais idênticas (INMETRO, 2012).

É a faixa de valores simétrica em torno do valor médio, dentro da qual o erro aleatório de um sistema de medição é esperado com uma certa probabilidade e representa metade do valor da largura da faixa simétrica em torno do zero, dentro da qual, para uma dada probabilidade, o erro aleatório é esperado. Por exemplo, se a probabilidade de 95,45% é adotada, a repetibilidade corresponde a 2σ , conforme pode ser observado abaixo na Figura 1.

Figura 1: Estimativa da repetibilidade a partir do desvio-padrão:
área hachurada corresponde a 95,45% da área total.



Fonte: (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008)

A incerteza-padrão e a repetibilidade são parâmetros com os quais é possível, de alguma forma, quantificar a intensidade do erro aleatório de um sistema de medição. São informações

importantes e que permitem uma expressão confiável para o resultado da medição. Pode ser calculado de acordo com a Equação (2).

$$Re = t \cdot u \quad (2)$$

Onde o coeficiente t de Student, algumas vezes denominado “fator de abrangência” é obtido pela tabela de Distribuição t de Student e u é a incerteza-padrão.

Efeitos da média sobre os erros de medição

Quando uma única medição é efetuada, a indicação obtida provavelmente estará afetada por erros sistemáticos e aleatórios do processo de medição. Os erros sistemáticos podem ser compensados somando a correção à indicação. Embora seja possível delimitar a faixa onde é esperado o erro aleatório, não é possível eliminá-lo por ele ser imprevisível, entretanto é possível reduzir as influências deste quando várias medições repetidas são efetuadas e é calculada a média das indicações obtidas. O erro aleatório da média é menor do que o erro aleatório das indicações individuais (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008).

A repetibilidade da média é calculada de acordo com a equação (3):

$$Re_{\bar{I}} = \frac{Re}{\sqrt{n}} = \frac{t \cdot u}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Sendo:

$Re_{\bar{I}}$ repetibilidade da média de “n” indicações de medições repetidas

t coeficiente de Student

u incerteza-padrão

n número de medições repetidas usadas para calcular a média.

2.4 Utilização de planilhas eletrônicas

Planilhas eletrônicas são bastante utilizadas em aplicações da metrologia como ferramenta de cálculos de incerteza de medição. Na nossa aplicação usaremos algumas fórmulas para facilitar os cálculos e que o discente possa se familiarizar com programa já que é bastante difundido em muitas empresas. A seguir na Tabela 1 são apresentadas as principais funções utilizadas nas práticas de paquímetro e micrômetro.

Tabela 1: Principais funções de planilhas utilizadas nas práticas de paquímetro e micrômetro.

Função estatística	Função planilhas eletrônicas
Média	=média(...)
Desvio-padrão	=desvpad(...)
t-Student	=invt(probabilidade; graus de liberdade)

Fonte: O autor.

2.5 Instrumentos convencionais na indústria metalmeccânica

Paquímetro e micrômetro são instrumentos convencionais comumente utilizados na indústria metalmeccânica para medições de comprimento em geral. A leitura com estes instrumentos são consideradas relativamente fáceis e seus custos não muito elevados.

Paquímetro e Micrômetro

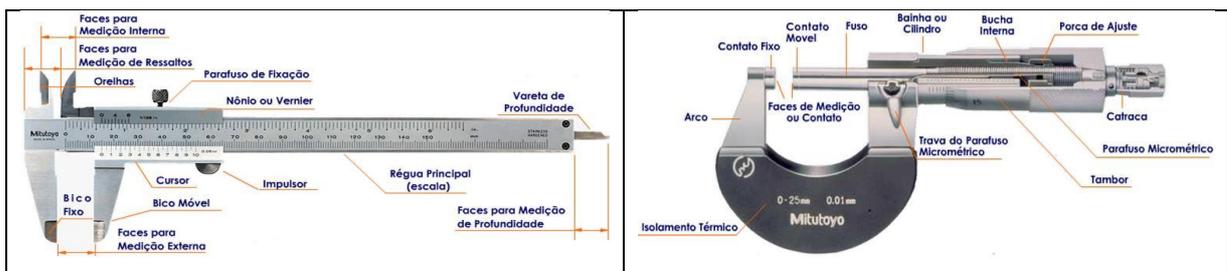
O paquímetro é um instrumento de medição que utiliza o princípio de “nônio” ou “vernier”. Consiste basicamente em duas partes principais: a régua (escala principal) e o cursor (onde se é gravada a escala secundária) e é utilizado para efetuar medições externas, internas, profundidade e ressalto.

O aço é o material normalmente empregado na sua fabricação sendo o aço inoxidável usado naqueles de melhor qualidade. Os aços são temperados e estabilizados para apresentarem as características adequadas de dureza, indeformabilidade em função do tempo e resistência ao uso. (MITUTOYO, 2003).

O micrômetro com o passar do tempo foi aperfeiçoado e possibilita medições mais exatas que o paquímetro. Consiste de um instrumento de dimensão variável que permite leituras com valores de divisão de escala de 0,01 mm e 0,001 mm.

O funcionamento do micrômetro assemelha-se ao sistema parafuso e porca. Assim, há uma porca fixa e um parafuso móvel que, ao dar uma volta completa provocará um deslocamento igual ao seu passo, ou seja, a menor divisão de escala principal. Na Figura 2, podem ser observadas as partes que compõe o paquímetro e o micrômetro.

Figura 2: Partes construtivas do paquímetro (à esquerda) e micrômetro (à direita).

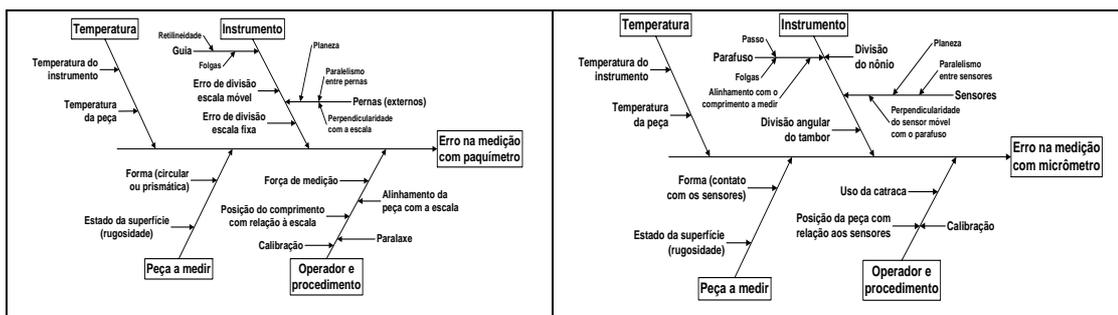


Fonte: (MITUTOYO, 2003)

2.6 Diagrama de Ishikawa

Denomina-se processo de medição o conjunto de métodos e meios que são utilizados para efetuar uma medição. Além do mensurando e do sistema de medição, fazem parte do mesmo o operador, os procedimentos de medição utilizados e as condições em que as medições são efetuadas. A Figura 3 apresenta modelos de diagramas de Ishikawa, comumente aplicados em processos de medição envolvendo paquímetros e micrômetros.

Figura 3: Diagrama de Ishikawa para medições com o paquímetro (à esquerda) e micrômetro (à direita).



Fonte: (DONATELLI; VERANCIO, 2004)

As condições em que o processo de medição é efetuado devem estar perfeitamente claras para que ele possa ser repetido sempre que necessário.

2.7 Grafia correta do resultado de medição

A aplicação do sistema de medição sobre o mensurando produz um número: a indicação. Porém, o trabalho de medição não se encerra com a obtenção da indicação. Em toda a medição efetuada, existem erros de medição. É necessário considerá-los, compensar o que for possível e apresentar a faixa de dúvida ainda remanescente no resultado de medição.

O resultado de medição é composto de duas parcelas: o resultado-base e a incerteza de medição. O resultado-base é a estimativa do valor do mensurando que, acredita-se, mais se aproxima do seu valor convencional e corresponde à posição central do resultado da medição. Já a incerteza de medição é a parcela de dúvidas associada à medição e corresponde à metade do comprimento da faixa simétrica e centrada em torno do resultado-base.

O resultado-base e a incerteza de medição devem ser escritos com cuidados para manter a legibilidade e não conter informações desnecessárias ou que levem à perda de informação. A incerteza de medição em um papel importante por estabelecer a posição do algarismo duvidoso do resultado-base. Assim, escrever de forma apropriada a incerteza de medição é então o ponto de partida. Não há necessidade de envolver mais que dois algarismos significativos (AS) para descrever suficientemente bem o tamanho da faixa correspondente à incerteza de medição. As seguintes regras devem ser usadas (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008):

- regra 1: a incerteza de medição deve ser arredondada para conter no máximo dois algarismos significativos, não importando quantas casas decimais resultem.
- regra 2: o resultado-base deve ser arredondado para conter o mesmo número de casas decimais da incerteza da medição, não importando quantos algarismos significativos resultem.

A Tabela 2 ilustra alguns exemplos de aplicações dessas regras:

Tabela 2: Exemplos de aplicações das regras de grafia correta do resultado de medição.

Grafia incorreta	Grafia correta com 1 AS	Grafia correta com 2 AS
(8,6124333 ± 0,01912) mm	(8,61 ± 0,02) mm	(8,612 ± 0,019) mm
(12,478892 ± 0,9111) kg	(12,5 ± 0,9) kg	(12,48 ± 0,91) kg
(256,12 ± 5,2456) mV	(256 ± 5) mV	(256,1 ± 5,2) mV

Fonte: (ALBERTAZZI & SOUSA, 2008)

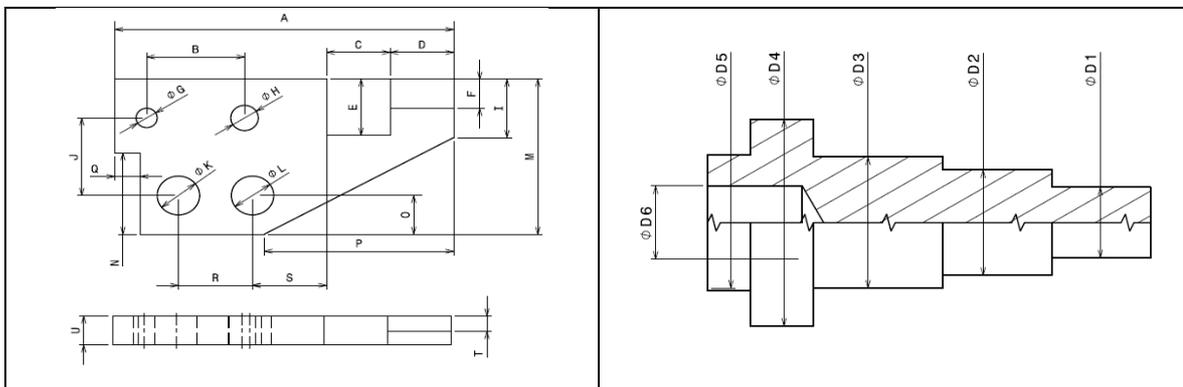
O uso dos parênteses da forma apresentada no quadro acima é recomendado para manter a clareza na grafia do resultado de medição.

3 METODOLOGIA

3.1 Relatórios das práticas – Paquímetro e Micrômetro

Nos relatórios das práticas utilizando paquímetro e micrômetro constam os objetivos gerais e específicos, fundamentos teóricos necessários para realização da mesma, alguns cálculos para encontrar o valor de divisão do instrumento bem como o procedimento a ser realizado e técnicas de medição. O discente de posse do instrumento e da peça fornecidos, ambos numerados, executa as medições das cotas indicadas como ilustrado na Figura 4. Ressalta-se que são 10 (dez) peças diferentes e é de extrema importância que o discente não esqueça de enumerar sua peça cuja identificação vem gravada na mesma.

Figura 4: Desenho das peças utilizadas nas práticas de paquímetro (esquerda) e micrômetro (direita).



Fonte: O autor.

Na Figura 5 são ilustrados os resultados das 3 (três) medições realizadas em cada cota. Posteriormente o discente calcula a média, a incerteza-padrão (desvio-padrão da amostra) e a repetibilidade da média.

Figura 2: Resultados das medições das práticas (tabelas): paquímetro (à esquerda) e micrômetro (à direita).

Tabela 2 – Resultados da medição com paquímetro.						
Cota	Leituras (mm)			Parâmetros calculados (mm)		
	1ª	2ª	3ª	Média	u	$\pm Re/\sqrt{n}$
A						
C						
E						
H						
T						

Tabela 2 – Resultados da medição com micrômetro externo com VD = 0,01 mm.						
Cotas	Leituras (mm)			Parâmetros calculados (mm)		
	1ª	2ª	3ª	Média	u	$\pm Re/\sqrt{n}$
D4						
D3						
D2						

Tabela 3 – Resultados da medição com micrômetro externo com VD = 0,001 mm.						
Cotas	Leituras (mm)			Parâmetros calculados (mm)		
	1ª	2ª	3ª	Média	u	$\pm Re/\sqrt{n}$
D2						

Tabela 4 – Resultados da medição com micrômetro interno com VD = 0,001 mm.						
Cota	Leituras (mm)			Parâmetros calculados (mm)		
	1ª	2ª	3ª	Média	u	$\pm Re/\sqrt{n}$
D6						

Fonte: O autor.

Em cada uma das práticas, solicita-se a explicação através do diagrama de Ishikawa de três variáveis que possam causar erros de medição com o paquímetro e o micrômetro. Por fim, solicita-se que o discente expresse corretamente o resultado de medição de todas as cotas medidas.

3.2 Otimizando o processo de entrega e correção dos relatórios

Até o início do primeiro semestre de 2015 os relatórios das práticas de paquímetro e micrômetro eram entregues via cópia física ao docente que no decorrer da semana realizava a correção dos mesmos. No entanto, esta correção era muito dispendiosa visto que o docente realizava a conferência de todos os cálculos e posteriormente a comparação com o gabarito.

Com a elaboração das planilhas para tais práticas os relatórios foram digitados e a sua entrega realizada por meio eletrônico via plataforma virtual online da Universidade de Fortaleza.

A utilização dessas planilhas avalia também os conhecimentos dos discentes adquiridos na disciplina de probabilidade e estatística (que é pré-requisito para a disciplina de metrologia) acerca da utilização de meio eletrônico para realização de cálculos estatísticos.

Após a inserção do relatório por meio eletrônico o docente passou a realizar a correção de forma otimizada visto que o mesmo já possuía uma planilha contendo fórmulas, gabaritos e os critérios de avaliação já preestabelecidos.

4 RESULTADOS E TRABALHOS FUTURO

A aplicação das planilhas eletrônicas como forma de metodologia de avaliação foi requisito principal desse trabalho, no qual os discentes da disciplina realizam medições com paquímetro e micrômetro como forma de coletar dados.

As planilhas preenchidas e enviadas pelos discentes facilitam o trabalho de avaliação dos docentes reduzindo o tempo de correção das mesmas, pois estas são comparadas às planilhas com fórmulas e gabaritos. Essas aplicações resultaram numa melhor avaliação das atividades laboratoriais bem como disseminação do uso de planilhas eletrônicas.

Como potenciais oportunidades de melhorias visando possíveis aplicações, recomenda-se o desenvolvimento e implementação de planilhas para as outras práticas da disciplina bem como o desenvolvimento de uma programação em VBA, o que tornaria o recurso de otimização um programa mais atrativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André R. de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. São Paulo: Editora Manole. 2008.

ALVES, R. A.; PAULISTA, P. H. **Promoção da interdisciplinaridade através de ensaios experimentais no laboratório de metrologia**. ConBRepro. Ponta Grossa – PR, 2016.

BERNARDES, A.T. *et al.* **A proposta do Inmetro para disseminação da metrologia e avaliação da conformidade na graduação em engenharia nas modalidades presencial e EAD**. COBENGE 2011. Blumenau – SC, 2011.

DONATELLI, G. D.; VERANCIO, E.T. **Paquímetro e Micrômetro**. Florianópolis, 13 de março de 2004, 33 slides. Notas de aula. Apresentação em Power Point.

FROTA, M.N.; FINKELSTEIN L. **Educação em metrologia e instrumentação: demanda qualificada no ensino das engenharias**. Revista de Ensino de Engenharia, v.25, n1, p. 49-65, 2006 – ISSN 0101-5001.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA - Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM)**. Duque de Caxias – RJ, 2012.

MITUTOYO, S. A. **Instrumentos para metrologia dimensional**. 2003. CD-ROM.

NETO, J. C. D. S. **Ensino de metrologia no curso de engenharia de automação industrial do CEFET-MG Campus Araxá**. COBENGE 2010. Fortaleza – CE, 2010.

PILETTI, C. **Didática Geral**. São Paulo – SP: Ática, 1988.

SANTOS, L. A. S.; ALVES, L. S. **A disciplina fundamentos da metrologia e da avaliação da conformidade: proposta para cursos de engenharia na Universidade Federal de São Carlos**. Anais do SIED:EnPED, v.1, n.1, 2012 – ISSN 2316-8722.

METHODOLOGY OF EVALUATION OF THE PACHYMETER AND MICROMETER PRACTICES OF THE METROLOGY DISCIPLINE USING SPREADSHEETS AS A TEACHING RESOURCE

Abstract: The present article presents the development and implementation, through a case study, of a methodology to optimize and simplify the evaluation of the teacher against the results obtained by the students during the practices of pachymeter and micrometer of the discipline of metrology of the University of Fortaleza. From the templates obtained from the pieces used in the practices, electronic spreadsheets of records and calculations of statistical parameters were elaborated. A methodology was developed for data collection, to allow comparisons with the final model. For condense the information and obtain an instrument to aid the decision-making of the teacher, a model of the results was developed so that relevant information could be easily visualized and evaluated.

Key-words: *Teaching of Metrology, Measurements, Electronic Spreadsheets, Statistics.*