

# Desenvolvimento de material didático para uso em aulas práticas de metrologia industrial

Fabio Luis Nardin <sup>[1]</sup>, Fabricio Tadeu Paziani <sup>[2]</sup>, Flavio Yuko Watanabe <sup>[3]</sup>,  
Rafael Vidal Aroca <sup>[4]</sup>

[1] nardin.fabiol@gmail.com. [2] fpaziani@ufscar.br. [3] fywatanabe@ufscar.br. [4] aroca@ufscar.br. Universidade Federal de São Carlos.

## RESUMO

No atual cenário econômico das universidades federais brasileiras, é um grande desafio adquirir equipamentos de alta resolução e alta exatidão para uso em aulas práticas de metrologia. Como alternativa, é comum o desenvolvimento de projetos e a construção de equipamentos didáticos de baixo custo dentro de atividades de extensão, com envolvimento de alunos de graduação. Este trabalho relata o desenvolvimento de dois equipamentos para uso em aulas práticas da disciplina “Princípios de Metrologia Industrial”, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). A atividade foi apoiada pela Pró-Reitoria de Extensão (ProEx) e teve como premissa a utilização de materiais e processos de fabricação de baixo custo. Dentro do escopo proposto, foram produzidas uma base de medição universal e uma máquina de medição linear. O processo construtivo permitiu verificar que o exercício de práticas simples é uma experiência motivadora tanto para o aluno diretamente envolvido na atividade quanto para os alunos usuários dos equipamentos produzidos.

**Palavras-chave:** Extensão universitária. Material didático. Metrologia industrial. Arduino

## ABSTRACT

*In the current economic scenario of the Brazilian federal universities, it is a great challenge to acquire high resolution and high accuracy equipment for use in metrology practical classes. As an alternative, it is common the development of projects aiming the design and construction of low-cost courseware equipment. They are built within extension activities involving graduation students. This paper reports the development of two pieces of equipment for use in practical classes of the discipline “Principles of Industrial Metrology”, of the Mechanical Engineering course at the Federal University of São Carlos (UFSCar). The activity was supported by the Extension Office (ProEx) and had, as a premise, the use of low-cost materials and manufacturing processes. Within the proposed scope, a universal measuring table and a linear measuring machine were developed. The constructive process allowed to verify that the exercise of simple practices is a motivating experience for the student who was directly involved in the activity and for the students who use the produced equipment.*

**Keywords:** *University extension, Courseware, Industrial metrology. Arduino*

## 1 Introdução

O controle dimensional é uma atividade fundamental para a indústria, pois sem a verificação da conformidade dimensional, não há garantias de que o processo empregado na fabricação de um produto esteja dentro das tolerâncias estabelecidas em projeto. Assim, não há como assegurar que o produto irá funcionar corretamente dentro das aplicações esperadas. Por exemplo, considerando um acoplamento entre um eixo e um mancal, quando o devido controle dimensional não é aplicado, não se pode afirmar se o encaixe apresentará folga excessiva ou interferência, podendo assim, prejudicar o funcionamento do equipamento.

Para garantir que as dimensões estejam de acordo com os requisitos do projeto, faz-se necessário a utilização de equipamentos adequados, possuindo especificações como faixa de medição, exatidão e tolerâncias dimensionais que podem variar para cada item a ser medido. Os custos desses equipamentos industriais estão diretamente relacionados a quão restritos estão os requisitos para os instrumentos empregados na medição.

No âmbito acadêmico, nem sempre é possível dispor desses equipamentos devido ao elevado custo. Contudo, desde a sua formação, um dos papéis do engenheiro é atuar buscando soluções alternativas para os problemas enfrentados utilizando os recursos disponíveis.

Visando a aplicação laboratorial e didática, não se faz necessário a utilização de equipamentos sofisticados, capazes de resistir a altas temperaturas ou poeira e água, coisas comuns em ambientes industriais. Dessa maneira, é possível construir um equipamento com microcontroladores de baixo custo, como a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino UNO e, também, utilizar sensores menos sofisticados como potenciômetros, porém que possuem níveis de exatidão compatíveis ao projeto.

Vários exemplos de desenvolvimento de material didático como alternativa para uso em atividades de graduação podem ser citados. Oliveira *et al.* (2015) desenvolveram o protótipo de um braço mecânico que também utiliza microcontrolador Arduino, como instrumento de divulgação de curso de Engenharia Elétrica para alunos de escolas de ensino médio.

O trabalho de Pocovi e Santos (2015) registra o desenvolvimento de uma guia linear de baixo custo com controle de posicionamento para uso em aulas de cursos de Controle e Automação.

O trabalho de Franco, Endo e Watanabe (2016) apresentou o desenvolvimento de material didático para o estudo de vibrações mecânicas, também no âmbito de atividade de extensão, para uso em disciplinas do curso de Engenharia Mecânica.

Evangelista *et al.* (2016) desenvolveram um dinamômetro de baixo custo, com uso de materiais de descarte, para ilustração da lei de Hooke, inclusive com uso de microcontrolador Arduino.

O trabalho de Aguiar *et al.* (2016) apresenta, como forma de sobrepor dificuldades em disciplinas de desenho técnico e outras relacionadas a projeto de arquitetura e engenharia, o desenvolvimento de modelos tridimensionais de peças mecânicas e de elementos arquitetônicos, como estruturas de telhados e coberturas.

Neste trabalho buscou-se desenvolver equipamentos para aplicação didática com o custo de construção significativamente reduzido. A viabilização desse projeto deu-se por meio de uma atividade de extensão apoiada pela Pró-Reitoria de Extensão (Pro-Ex) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Os equipamentos desenvolvidos foram disponibilizados para uso no curso de Engenharia Mecânica, com a finalidade de auxiliar em práticas da disciplina "Princípios de Metrologia Industrial", além do uso cotidiano no laboratório de Metrologia. O projeto também proporcionou o desenvolvimento de habilidades de desenvolvimento conceitual em ferramentas CAD (*Computer Aided Design*), processos de fabricação mecânica, circuitos eletrônicos e programação. Essa atividade de extensão originou uma orientação de iniciação científica e um trabalho de conclusão de curso subsequentes.

Os projetos se concentram em um tipo de medição denominado de medição linear, onde esse termo se aproxima mais de um assunto físico, do que a Engenharia propriamente dita. Esse tipo de medição compara a peça sendo medida com um padrão conhecido, como uma escala ou um bloco-padrão, porém não é um processo de medição simples. É necessário a aplicação correta de vários princípios, aproximações bem realizadas das medidas, além de técnicas adquiridas com prática e, sobretudo, paciência (GAYLER; SHOTBOLT, 1981).

Pode-se dividir as medições lineares em duas classes: as medições diretas e as indiretas. As medições indiretas são caracterizadas quando o valor do mensurando é calculado a partir de duas ou mais medidas associadas a diferentes características do

mensurando. Como exemplo a área de um terreno, toma-se a medida do comprimento e da largura do terreno e então se calcula a área referente a ele. Também pode-se usar como exemplo o cálculo da velocidade média de algum objeto em movimento, medindo-se o seu deslocamento e o tempo transcorrido para que isto ocorra; dividindo o deslocamento pelo tempo, tem-se a velocidade média obtida indiretamente (ALBERTAZZI JR; SOUSA, 2008).

As medições diretas, abordadas nos dois projetos deste trabalho, são aquelas às quais o sistema de medição já indica diretamente o valor do mensurando. Medidas como a tensão de uma pilha e o diâmetro de um eixo são exemplos de medições diretas (ALBERTAZZI JR; SOUSA, 2008).

## 2 Metodologia

Com o orçamento disponível, foi possível a construção de dois equipamentos. O primeiro é uma base universal de medição e o segundo, uma máquina de medição linear. A última foi base para desenvolvimento de um projeto de iniciação científica. Nas subseções 2.1 e 2.2 são descritos os procedimentos de concepção e construção de cada equipamento separadamente.

### 2.1 Base de medição universal

Esse equipamento possui uma função próxima a um desempenho, pois se trata de uma superfície com desvio de planicidade controlado na qual se deve apoiar a peça a ser medida, além de uma haste perpendicular a essa superfície e um suporte para instrumentos de medição como relógio comparador e apalpador, entre outros. A Figura 1 ilustra o exemplo de uma base de medição comercial.

Figura 1 – Base de medição comercial.



### Projeto Conceitual

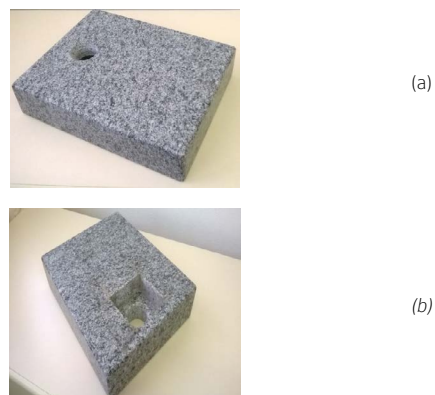
Para o desenvolvimento do projeto conceitual, foi empregada a ferramenta CAD Siemens NX. Cada peça constituinte foi modelada e uma montagem virtual do equipamento foi realizada. Esse processo se deu de maneira iterativa entre o aluno e o orientador até o projeto se mostrar em sua configuração final, possuindo uma pedra de granito, peças metálicas (uma haste de aço SAE 8620, uma bucha de bronze, porca e arruela) e um suporte para relógio comparador.

### Pedra de granito

As pedras comerciais para esse tipo de equipamento são submetidas a processos que garantem alta planicidade à superfície. Porém, para reduzir os custos para o projeto com fins didáticos, optou-se pela compra de uma peça de granito comum em uma marmoraria. O produto entregue já contemplava um furo cilíndrico passante, para montagem da haste e um rebaixo retangular na parte inferior para alojamento da porca que prende a haste à pedra. As Figuras 2a e 2b ilustram a vista superior e inferior da pedra.

A pedra foi avaliada quanto ao desvio de planicidade originalmente presente na face superior. A definição desse erro corresponde à distância entre dois planos paralelos entre os quais deve encontrar-se a superfície real (AGOSTINHO, 1977), esse experimento está ilustrado na Figura 3a.

Figura 2 – Vista superior (a) e inferior (b) da pedra de granito.



Sobre o desempenho, a pedra foi apoiada em três suportes de altura ajustável. O nivelamento da pedra foi conseguido com o auxílio de um relógio compa-

rador, ajustando-se a altura dos suportes para zerar a leitura do relógio nos três pontos selecionados. A varredura sobre a superfície com um relógio apalpador revelou uma diferença máxima de 40 µm em toda área útil da pedra.

Para conferir uma melhor qualidade à superfície, essa foi submetida a um processo manual de lapidação, ilustrado na Figura 3b. Após a lapidação, 100 pontos foram mapeados sobre a superfície da pedra e uma nova verificação de erro de planicidade foi realizada. As medições foram efetuadas quatro vezes em cada ponto e foi tomada uma média dos valores.

**Figura 3** – Medição de erro de planicidade inicial (a) e Lapidação da pedra (b)



(a)



(b)

### Peças metálicas

A haste da base de medição, ilustrada na Figura 4a, foi construída em aço SAE 8620 e usinada em torno mecânico convencional no Laboratório de Processos de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec) da UFSCar. A haste apresenta um rebaixo para assentamento sobre a bucha e rosca em sua extremidade inferior para colocação de uma porca que garantirá a montagem rígida do equipamento. Esta haste tem o papel de ser o suporte e guia dos instrumentos de medição.

Pelo fato de a pedra ter sido adquirida em marmoraria, não há garantias sobre o perpendicularismo do furo em relação à face superior, portanto, foi adotada uma bucha de bronze usinada no mesmo torno que a haste. Essa bucha foi construída para minimizar o erro de perpendicularismo entre a pedra e a haste, pois se apoiará na superfície plana polida da pedra e por se ajustar com folga em relação ao furo, confere uma perpendicularidade controlada da montagem. A Figura 4 ilustra a montagem com vista superior (a), a bucha (b) e vista inferior (c) do conjunto.

**Figura 4** – (a) Vista superior da montagem. (b) Foto da bucha de bronze usinada. (c) Vista inferior da Montagem.



(a)



(b)

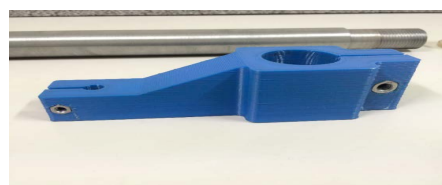


(c)

### Suporte para relógio comparador

Para a construção do suporte foi utilizado o processo de manufatura aditiva, por ser um recurso novo, disponível na universidade, de baixo custo e que é bastante versátil, além de cumprir com as exigências do projeto. Foi desenvolvido um modelo CAD da peça, prevendo os rasgos e alojamentos para parafusos e porcas. A Figura 5 ilustra o suporte desenvolvido. Nessa peça foram montados manípulos que são responsáveis pela fixação do suporte na haste e pela fixação do instrumento de medição.

**Figura 5** – Suporte construído por manufatura aditiva.

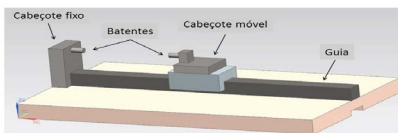


## 2.2 Máquina de medição linear

O segundo equipamento desenvolvido foi denominado de Máquina de Medição Linear (abreviada por MML). Trata-se de uma estrutura que permite a medição de distâncias em uma direção apenas.

Primeiramente, foram discutidas as melhores estratégias e soluções construtivas para a execução do projeto visando baixo custo, solidez do sistema e boa ergonomia. Um modelo CAD foi gerado para permitir o delineamento da proposta de funcionamento de construção das partes. A Figura 6 ilustra o modelo tridimensional inicial.

**Figura 6** – Modelo CAD inicial da máquina de medição linear.



Ao longo do desenvolvimento do projeto, os objetos conceituais foram tomando formas diferentes para possibilitar a construção da MML. Em seguida estão descritas as partes constituintes do sistema e como foi efetuada a sua construção.

### Processo construtivo mecânico

A MML possui uma base em granito de baixo custo, comprado em marmoraria, responsável por apoiar toda a estrutura da máquina. Essa estrutura garante uma massa adequada para conferir rigidez à máquina em sua operação, além de ser uma superfície suficientemente lisa e regular, na qual são apoiados os demais componentes do projeto.

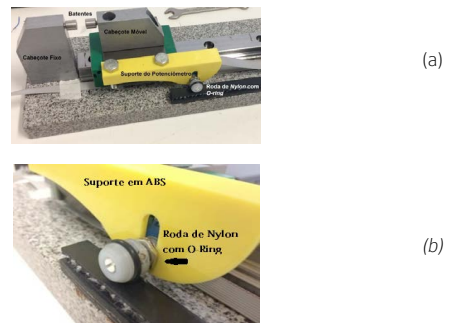
Sobre essa base foi construído um cabeçote fixo, que possui um batente para permitir que a peça sob inspeção seja encostada primariamente. Nesse batente é ajustada a leitura zero da medida, pois a medição é dada pela distância entre dois pontos, sendo o batente fixo a referência estacionária. Uma guia linear, colocada centralizada na base junto ao cabeçote fixo, possui papel fundamental para o projeto, pois sobre ela é montado o sistema de medição. Portanto, suas tolerâncias apertadas minimizam a propagação de erros do sistema como um todo. A guia linear foi adquirida como doação pela empresa Schaeffler para o projeto.

Sobre a guia, translada um carro que carrega um batente ajustado para ser coaxial ao batente do cabeçote fixo. O conjunto do carro, cabeçote e o batente sobre ele formam o cabeçote móvel da MML.

Dessa maneira, a distância entre esses dois batentes fornecerá a medição desejada.

Sobre o carro também foi montado um suporte para um potenciômetro, responsável por quantificar a distância entre os batentes. Esse suporte foi projetado e impresso por manufatura aditiva no Laboratório de Engenharia Aplicada do DEMec, possuindo furos para fixação no carro e um espaço para encaixe do potenciômetro com um ajuste de altura. A montagem do sistema mecânico pode ser observada na Figura 7a. O detalhe da montagem do potenciômetro e da roda pode ser observado na Figura 7b.

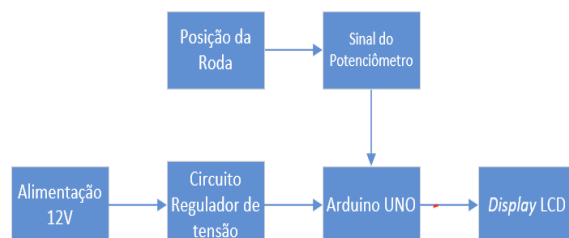
**Figura 7** – Sistema mecânico montado (a) e detalhe da montagem (b).



### Processo construtivo eletrônico

Para efetuar a medição da distância entre os batentes foi acoplado um sistema eletrônico à parte mecânica. O sistema é composto por um potenciômetro de múltiplas voltas, um sistema de aquisição de dados, um *display* digital, uma fonte de tensão e circuito regulador de tensão. Um diagrama de blocos simplificado do sistema eletrônico desenvolvido está ilustrado na Figura 8.

**Figura 8** – Diagrama simplificado da arquitetura do projeto do sistema eletrônico.



O potenciômetro foi montado no suporte e, em seu eixo, foi acoplada uma roda de *nylon* dotada de um anel de borracha, que gira sobre uma pista, também de borracha. A rotação do eixo provoca a variação da resistência do potenciômetro e, portanto, a tensão em seus terminais varia proporcionalmente. Essa variação de tensão é monitorada por um sistema de aquisição de dados e calibrada para fornecer o valor da medição.

Foi escolhido a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino UNO, que é um dos vários modelos Arduino disponíveis no mercado, por se tratar de uma tecnologia nova e de baixo custo, sendo uma plataforma amigável à ideia do “faça você mesmo”, para a aquisição dos dados de tensão do potenciômetro. Nessa plataforma é possível programar os sinais de entrada e saída facilmente com o auxílio de um computador (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Na plataforma Arduino Uno foram conectados o potenciômetro, a fonte de tensão e o *display* digital. Então foi desenvolvido um *software*, em linguagem C++, que permitiu a calibração do sistema e mostrar o valor da medição no *display* digital. O sistema é alimentado pela tensão da rede, com entrada bivolt alternada e saída 12 V contínua. Um circuito regulador de tensão, baseado em um transistor LM7809, foi incluído no sistema para reduzir ruídos presentes na rede e da fonte DC. Dessa maneira, o sinal de 12 V com ruído é transformado em um sinal de 9 V bastante constante e confiável.

Todo o sistema eletrônico foi montado dentro de uma caixa plástica, com entrada para os terminais do potenciômetro. Ainda há uma entrada para o conector da fonte DC, o *display* LCD e um botão para zerar a leitura.

### Calibração

Após finalizar a construção do sistema, esse foi submetido a um processo de calibração. O sinal apresenta um erro aleatório, oscilando após a terceira casa decimal, porém para resolução teórica desejada, de duas casas decimais, é possível considerá-lo estável e aplicar uma calibração estática. O processo foi realizado utilizando-se blocos padrão, com blocos de várias dimensões, começando pelos de menor dimensão e aumentando até atingir-se o número suficiente de pontos para análise. As medições da máquina foram comparadas às dimensões dos blocos, sendo possível levantar uma curva de calibração.

Porém, após a aplicação do procedimento de calibração, foi possível observar erros sistemáticos que mostraram valores precisos, porém com exatidão ruim. Com isso foi necessário aplicar um novo procedimento para correção dos valores, fazendo com que a curva de calibração levantada anteriormente fosse corrigida por outra curva, tornando as medições suficientemente exatas. Por fim, as curvas de calibração e de correção foram implementadas no algoritmo do microcontrolador e as medições foram refeitas.

## 3 Resultados

Nesta seção são descritos os resultados observados no desenvolvimento dos equipamentos propostos.

### 3.1 Base de medição universal

A montagem do equipamento foi realizada e a Figura 9 ilustra a sua configuração final, com a base de medição pronta para utilização.

Figura 9 – Base de medição universal finalizada.

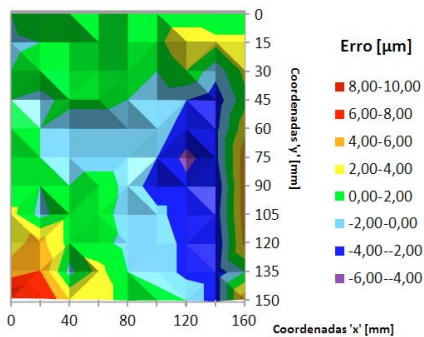


Como citado na subseção 2.1, a face superior foi verificada quanto aos desvios de planicidade após a lapidação. As medições foram efetuadas quatro vezes em cada ponto e foi tomada uma média dos valores. O gráfico da Figura 10 ilustra o mapeamento da superfície, mostrando, em código de cores, os valores medidos de erro de planicidade.

Como é possível observar na Figura 10, o erro absoluto de planicidade da superfície, que era de 40  $\mu\text{m}$  antes da lapidação, foi reduzido a menos da metade, sendo agora de apenas 16  $\mu\text{m}$ . Deve-se notar, entretanto, que região central da superfície, mais utilizada para medições, possui um erro absoluto de planicidade da ordem de 4  $\mu\text{m}$ .



**Figura 10**– Mapeamento do erro de planicidade da superfície da base de medição universal.



### 3.2 Máquina de medição linear

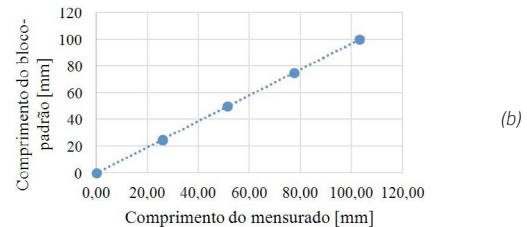
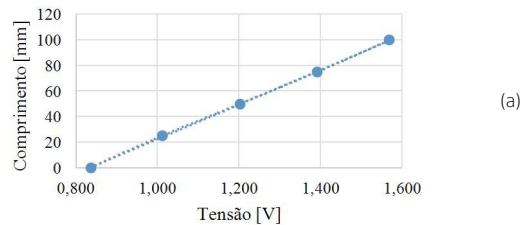
Primeiramente, foi levantada a curva de calibração do sistema. Para tal, foram utilizados blocos padrão com onze dimensões diferentes e para cada dimensão foram efetuadas cinco medições de tensão elétrica no potenciômetro. Dessas medições, foi calculada a média dos valores individuais e os pontos foram colocados em um gráfico de comprimento em função da tensão elétrica, e uma reta ajustada pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) foi traçada, determinando a equação que relaciona tensão e comprimento.

Uma série de medições foi realizada para testar a calibração. Inicialmente, os resultados não foram satisfatórios, apresentando exatidão muito ruim, com erros absolutos da ordem de cinco milímetros em algumas medições. Efetuando o mesmo procedimento de medição para diferentes pontos, foi observado que o erro absoluto de exatidão era maior quanto maior o comprimento mensurado. Então foi proposto realizar um ajuste efetuando medições de cinco dimensões diferentes, anotando-se os valores em milímetros em que foram medidos no sistema mecânico desenvolvido. Antes de cada medição, a leitura do equipamento foi levada a zero, por meio de um botão no *display* do microcontrolador. O procedimento foi repetido cinco vezes para cada dimensão e então foi tomada a média das medições.

Dessa forma, como resultado da nova medição, foi gerado o gráfico de tensão elétrica, em volts, em função do comprimento, em milímetros, com a reta MMQ ajustada. Essa reta foi utilizada para corrigir os valores medidos durante a aplicação do procedimento de medição. Com esse último ajuste, a exatidão do equipamento se mostrou satisfatória, obtendo valores de erro absoluto na casa de 0,5 mm. O gráfico da

Figura 11 ilustra a curva de calibração original (a) e a curva de correção (b).

**Figura 11** – Curvas do sistema mecânico automatizado. (a) Curva de calibração. (b) Curva de correção.



## 4 Considerações finais

Com um orçamento muito abaixo do custo de equipamentos comerciais, foi possível construir uma base universal de medição funcional com tolerâncias pequenas. Durante sua construção, foi possível aliar uma técnica tradicional, como a lapidação manual, a um processo de fabricação moderno e inovador, a manufatura aditiva. Ainda, o aluno desenvolveu habilidades quase não contempladas no ambiente acadêmico tradicional de sala de aula, como cotar e comprar materiais, fazer a gestão do tempo e dos processos e propor alternativas de projeto.

A MML inicialmente não atingiu as expectativas colocadas em projeto, porém constatou-se que o potenciômetro não possui tolerâncias resistivas que atendessem os valores esperados. Foi possível concluir que o melhor resultado possível foi atingido para a construção proposta. Neste trabalho também foi possível abordar propostas de calibração e identificação de erros e propor soluções, observando o contraste entre a teoria e a prática.

O aluno bolsista de extensão continuou o desenvolvimento da MML. A atividade de extensão originou um projeto de Iniciação Científica Voluntária, cujo objetivo foi propor a otimização do equipamento, como novo sistema de leitura com *encoder* no lugar

do potenciômetro e nova programação. As modificações propostas começaram a ser implementadas dentro do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno, que está em andamento, cujos resultados serão publicados em novo artigo, após sua conclusão.

A formação em Engenharia pressupõe o desenvolvimento de inúmeras habilidades, competências, valores e atitudes que capacitem os futuros engenheiros a enfrentar desafios profissionais multidisciplinares, mas embasados em conhecimentos básicos e específicos sólidos. Em um mercado globalizado e cada vez mais competitivo, o exercício da criatividade e a adoção de soluções inovadoras, mas com custos reduzidos, devem balizar as decisões dos futuros profissionais. Nesse sentido, as atividades relatadas no presente trabalho e apresentadas aos estudantes, exemplificam e evidenciam a necessidade de se buscar soluções de engenharia simples, inovadoras e eficientes, sempre que possível e necessário.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Pró-Reitoria de Extensão (ProEx) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pelo auxílio financeiro que viabilizou a construção dos materiais didáticos descritos neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, O. L. **Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões**. São Paulo: Blücher, 1977.

AGUIAR, V. N. *et al.* Dificuldades dos discentes de engenharia em representação gráfica – diagnóstico e desenvolvimento de materiais. In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2016). **Anais...** Natal, 2016.

ALBERTAZZI JR, A.; SOUZA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri (Brasil): Manole, 2008.

EVANGELISTA, T. S. *et al.* Protótipo de um dinamômetro usando Arduino e material de sucata para aulas de laboratório de física como estudo de caso da ABP. In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2016). **Anais...** Natal, 2016.

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec, 2013.

FRANCO, V. R.; ENDO, M. T.; WATANABE, F. Y. Desenvolvimento de material didático para uso na disciplina “vibrações mecânicas”. In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2016). **Anais...** Natal, 2016.

GAYLER, J. F. W.; SHOTBOLT, C. R. **Metrology for engineers**. 4. ed. Londres: Cassell, 1981.

OLIVEIRA, E. C. L. *et al.* Desenvolvimento de braço mecânico com controle digital para apresentação em escolas do ensino médio: a atuação do engenheiro em sistemas controle. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2015). **Anais...** São Bernardo do Campo, 2015.

POCOVI C. S.; SANTOS, M. S. Desenvolvimento de uma guia linear com controle eletrônico analógico de posicionamento em malha fechada. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2015). **Anais...** São Bernardo do Campo, 2015.