

Tendências, Expectativas e Possibilidades no Cenário Contemporâneo em Educação Profissional e Sistemas Produtivos.

Sistema de aquisição de dados usando Arduino como interface para análise de esforços e corte na furação

Kleberson Cartolari de Souza¹, Felipe Ribeiro Toloczko², José Augusto Martins Garcia³, Vitor Marcelo Costa Halcsik⁴, Humber Furlan⁵

Resumo - Este trabalho apresenta um estudo sobre a aquisição de dados de esforços de corte durante a furação de peças em uma liga de alumínio AA2011F, com uma broca de ponta intercambiável. Para o ensaio experimental foi utilizado um torno mecânico adaptado a um aquisitor construído com uma plataforma Arduino, uma interface de baixo custo para aquisição de dados experimentais. Neste experimento utilizou-se de um transdutor de força (célula de carga) que gera um sinal de baixa tensão em sua saída onde a força ou momento torsor é convertida por meio de uma programação inserida no Arduino e enviada a um microcomputador através da porta USB. Foram obtidos resultados satisfatórios com medidas precisas e exatas comparáveis a instrumentos convencionais, resultados que comprovam a utilização da interface sugerida, como meio para aquisição de dados.

Palavras-chave: Furação, Esforços de corte, Transdutor de força, Aquisição de dados, Arduino.

Abstract - This paper presents a study on the acquisition of cutting forces during drilling data pieces in a AA2011F aluminum alloy, with an interchangeable tip drill. For the experiment was used a lathe adapted to a logger constructed with an Arduino system, a low cost interface for acquisition of experimental data. In this experiment we used a force transducer (load cell) that generates a low voltage signal at its output where the torsional force or moment is converted by means of an inserted programming the Arduino and sent to a computer via the USB port. Satisfactory results were obtained with accurate and precise measurements comparable to conventional instruments, results that demonstrate the use of the suggested interface as a means for data acquisition.

Keywords: Drilling, Cutting forces, Force transducer, Data acquisition, Arduino.

1. Introdução

O processo de furação é o um dos métodos de usinagem mais utilizado pela indústria mecânica. Praticamente todas as peças possuem ao menos um furo, conforme DINIZ, MARCONDES e COPPINI (2013).

Conforme norma alemã DIN 8589-2, a furação é definida como um processo de usinagem com movimento rotativo principal ou corte circular, onde a ferramenta apresenta movimento de avanço apenas na direção do seu eixo de rotação.

Para DINIZ, MARCONDES e COPPINI (2013), as análises dos esforços de corte são feitas com base no material usinado, na geometria e material da ferramenta e também nas condições de usinagem que são os parâmetros de corte. Este pode ser definido como grandezas inseridas pelo operador e ajustadas no equipamento, para determinar a maneira como o processo de corte será realizado.

Alguns autores (DINIZ, MARCONDES e COPPINI, 2013; FERRARESI, 2006; MACHADO et al, 2009) concordam que a definição incorreta dos parâmetros de corte é considerada uma das principais razões dos problemas relacionados ao desgaste prematuro e ruptura da ferramenta, e que por sua vez, podem causar no furo erros de forma, irregularidades na superfície e vibração. Por isso estimar e analisar os esforços é muito importante, pois a otimização dos parâmetros de corte influencia no aumento da taxa de remoção de cavaco que pode elevar a produção, proporcionando redução de custos.

Segundo PINTO (2015), em virtude do avanço na tecnologia das máquinas e dos materiais, tanto de produtos quanto de ferramentas, os procedimentos de ensaio de usinagem são cada vez mais frequentes o que gera uma grande quantidade de dados experimentais, porém isso dificulta a coleta e análise destes dados, por isso há anos se faz a aquisição automática de dados, que se por um lado facilita o trabalho, por outro aumenta o custo do ensaio, já que sistemas de aquisição tem um custo elevado. Por isso paralelamente ao estudo de esforços decidiu-se por desenvolver um sistema de aquisição de baixo custo utilizando a plataforma Arduino, pois suas características de hardware livre e placa única o torna uma opção atraente para o projeto.

O principal objetivo deste trabalho é a análise dos esforços no processo de furação de peças em alumínio, utilizando uma broca com ponta intercambiável de carboneto metálico, com diâmetro de 29 mm em um torno mecânico, utilizando – se para isso um transdutor de força (célula de carga) capaz de converter as forças medidas em sinais elétricos, estes por sua vez são enviados e tratados por um sistema de aquisição de dados baseado na plataforma Arduino e um sistema comercial conhecido, que conectados através de porta USB a um microcomputador, permitem o registro e visualização das informações obtidas.

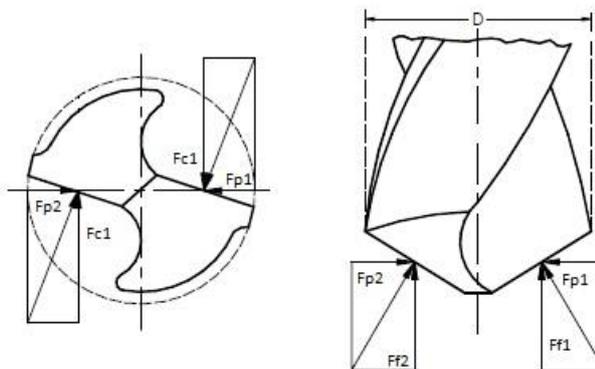
A análise dos dados coletados será feita através da comparação entre o sistema de aquisição de dados comercial pré calibrado e certificado, e o sistema com Arduino, esta análise além de estabelecer a correlação entre as variáveis utilizadas, validará a utilização do sistema proposto.

2. Referencial Teórico

2.1 Determinação dos esforços de corte.

As forças de usinagem que agem na aresta de corte de uma broca durante o processo de corte podem ser divididas em três componentes: Força de corte (Fc), Força de avanço (Ff) e Força passiva (Fp). A Figura 1 mostra essas Forças. A Força de corte Fc está relacionada diretamente à resistência do material ao corte, tendo grande influência sobre o momento torsor. A Força de avanço Ff é decorrente da atuação na aresta transversal de corte e da resistência à penetração do material usinado. Já a Força passiva Fp atua em uma parcela da aresta principal. As forças passivas atuantes nas arestas tendem a se anular mutuamente e são desprezíveis quando comparadas com as forças de corte e de avanço. Portanto para a furação as forças mais importantes são o Momento torsor e a força de avanço. (STEMMER,2005)

Figura 1 – Forças atuantes na aresta de corte



Fonte: adaptado de STEMMER (2005)

Para DINIZ, MARCONDES e COPPINI (2013) no processo de furação a ferramenta é submetida a esforços de torção e esforços de compressão relacionados aos movimentos de rotação e avanço respectivamente.

Então para se estimar os esforços é necessário que se calcule o momento torsor e a força de avanço, considerando os fatores de influência de forma implícita, através da fórmula de Kienzle para determinação da força de corte na Eq. (1), determinação do momento torsor Eq. (2) e determinação da força de avanço Eq. (3) no processo de furação em cheio. (STEMMER, 2005)

Eq. (1)

$$F_c = K_{s1} \times \frac{D}{2 \times \sin \frac{\sigma}{2}} \times \left(\frac{f}{2} \times \sin \frac{\sigma}{2} \right)^{-z} \text{ [N]}$$

D – Diâmetro da broca [mm]

f – avanço [mm/volta]

σ - ângulo da ponta da broca

onde: Ks1 e -z – constantes empíricas do material da peça (conforme tabela 1)

Eq. (2)

$$M_t = \frac{F_c \times D}{2000} \text{ [Nm]}$$

onde: D – Diâmetro da broca [mm]

Eq. (3)

$$F_f = \frac{1}{2} \times K_s \times f \times D \times \sin \frac{\sigma}{2} \text{ [N]}$$

D – Diâmetro da broca [mm]

f – avanço [mm/volta]

 σ - ângulo da ponta da broca

onde: Ks – constantes empíricas do material da peça (conforme tabela 1)

Tabela 1 – Coeficiente para cálculos de esforços na furação em cheio

Material	σ_r [N/mm ²]	K _s [N/mm ²]		K _{s1}	-z
		Avanço [mm/rot]			
		0,1	0,2		
Ligas de alumínio	170	1150	840	400	0,73

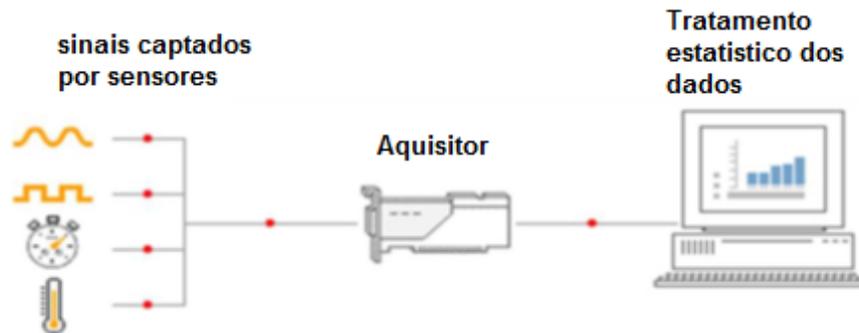
Fonte: adaptado de STEMMER (1993)

2.2 Medição de forças

A estimativa de forças oferece referências teóricas para a operação de furação, mas a determinação das forças de corte durante a usinagem ainda é muito importante para obtenção de dados mais exatos e precisos. Estas forças podem ser medidas através de sistemas com transdutores de força (célula de carga), elementos sensíveis, por um membro elástico (extensômetro) que converte as grandezas mecânicas como deflexão ou deformação em variações na resistência elétrica do material, aplicando o princípio da Ponte de Wheatstone, onde a variação da resistência elétrica gera uma diferença de potencial entre os braços da ponte, com consequente variação de tensão elétrica conforme a tensão mecânica é a ele aplicada, (Machado et al, 2009).

O sistema de aquisição coleta os sinais elétricos do transdutor (0V a 5V) e através de software converte esses sinais em valores digitais de 0 a 1024 bits, que por sua vez são convertidos através de um software na grandeza que está sendo medida e em seguida esses valores são armazenados em arquivo que posteriormente são tratados, gerando gráficos e determinando curvas de ajustes. O computador fornece excelente suporte agilizando processos de medição através da gravação de dados e recuperação dos mesmos de forma rápida e confiável. (PINTO, 2015)

Figura 2 – Representação de sistema de aquisição de dados com tratamento em computador.



Fonte: adaptado de PINTO (2015)

3. Método

Para a realização dos experimentos, foram utilizados: um torno modelo Nodus 220 da Nardini com potência de 7 cv, ajustado com os parâmetros de corte: $V_c = 137$ m/min e $f = 0,063$ mm/rot; uma broca de ponta intercambiável de carboneto metálico com 29mm de diâmetro, fixada a um adaptador confeccionado especificamente para o experimento afim de acopla-la a célula de carga; Corpos de prova em alumínio AA2011F com as dimensões de 38 mm de diâmetro por 38 mm de comprimento. Na tabela 2 é demonstrada a composição química do material:

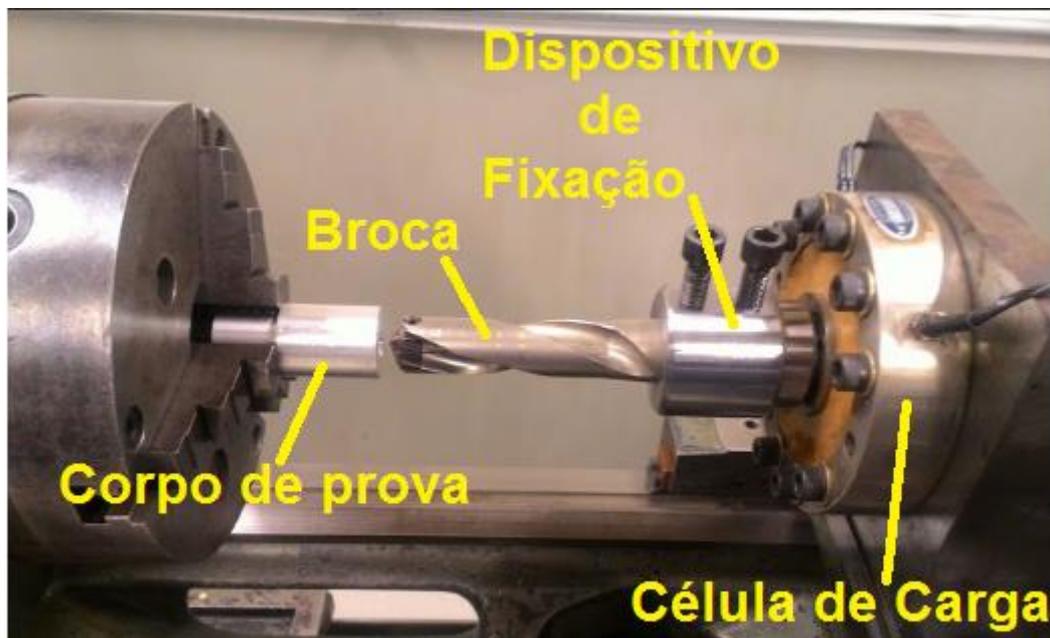
Tabela 2 - Análise espectrométrica da liga AA2011F.

Composição química do aço SAE 1030					
	%Al	%Cu	%Fe	%Pb	%Si
Tolerância	balanço	5,0 a 6,0	$\leq 0,7$	0,2 – 0,6	$\leq 0,4$
Analisado	-	7,13	0,57	0,41	0,26

Fonte: própria autoria

Um dinamômetro adaptado ao torno mecânico foi utilizado para a coleta dos dados referentes as forças e momento torsor. Na figura 3 é possível ver o sistema montado:

Figura 3 – Arranjo físico do dispositivo utilizado para fixação do corpo de prova no torno e fixação da ferramenta junto célula de carga.

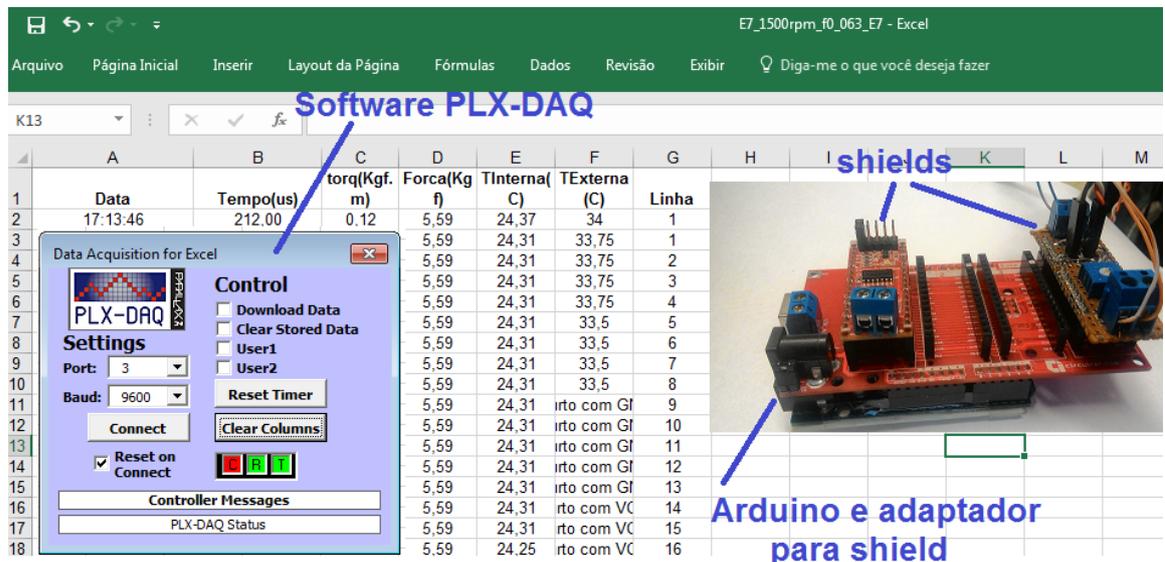


Fonte: própria autoria

3.1 Sistema de aquisição de dados

Para o experimento foi utilizado um sistema no Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, sendo a interface baseada no trabalho de PINTO (2015). O sistema de aquisição construído é constituído por quatro componentes: uma placa Arduino Uno, um adaptador para *shields* (placa dedicada a uma finalidade específica) e um conjunto de *shields* apropriados para a coletar sinais de baixa tensão como os dos extensômetros do dinamômetro (figura 4). A interface entre a célula de carga e o computador foi feita através do software de comunicação com o Arduino e um outro software denominado Parallax / PLX-DAQ, que faz a conversão dos dados para uma planilha do excel.

Figura 4 – Sistema de aquisição de dados.



Fonte: Própria autoria.

Para a coleta simultânea dos dados um programa foi criado na interface de comunicação do Arduino, onde o mesmo foi adaptado para converter os dados da célula de carga em bits, que por sua vez eram transformados em valores de força e momento tursor. Esta adaptação foi baseada na tabela de calibração, onde foram levantados valores crescentes a fim de criar uma curva de relação da força encontrada no indicador comercial (previamente calibrado e certificado) com os dados em bits. Na tabela 5 é demonstrado os dados referentes a curva levantada.

Tabela 2 – Relação entre os dados em bits para os valores de força e momento tursor.

Valor digital (bits)	Força (Kgf)	Valor digital (bits)	Momento tursor (Kgf.m)
20	53	441	17,27
41	104	602	23,23
81	200	790	30,80
125	305	900	35,11
164	398	1013	39,51

Fonte: Própria autoria.

Com base na tabela 2, foi feita uma regressão linear com os dados, possibilitando a obtenção de uma equação para representar os pontos. Esta foi inserida na programação do Arduino a fim de reproduzir as informações coletadas. A seguir é possível ver a equação ajustada:

Eq. (4)

$$y = 2,39451 * x + 5,593242$$
 onde: $y = \text{força (kgf)}$
 $x = \text{valor digital (bits)}$

Eq. (5)

$$y = 0.03900852 * x - 0.02118338$$
 onde: $y = \text{momento tursor (kgf.m)}$
 $x = \text{valor digital (bits)}$

3.2 Calibração do sistema de aquisição

Para a aferição do sistema criado foi utilizado um indicador para células de carga modelo GI-4910 (Panantec), disponível junto com o dinamômetro e calibrado por uma empresa certificada, no qual foram comparados a fim de obter uma curva de erros. Por fim a equação obtida foi utilizada de modo a corrigir os valores experimentais referentes a força e o momento torsor.

4. Resultados e Discussão

Com base nos ensaios realizados foi feito um estudo para ajustar os dados ao sistema construído e obter os desvios oriundos das diferenças das medições em comparação ao sistema calibrado.

O primeiro passo foi quantificar as diferenças entre o sistema de referência e o aquisitor construído com Arduino. Para isso foi realizada coleta de diversos pontos em diferentes medidas, conforme é possível verificar na tabela 3. Para verificar a diferença entre os dois sistemas foi calculado o erro relativo percentual com base na seguinte equação:

Eq. (6)

$$E\% = \frac{|M_A - M_c|}{M_c} \cdot 100 \text{ onde } M_A = \text{medição no Arduino}$$

$$M_c = \text{medição no indicador digital (sistema de referência)}$$

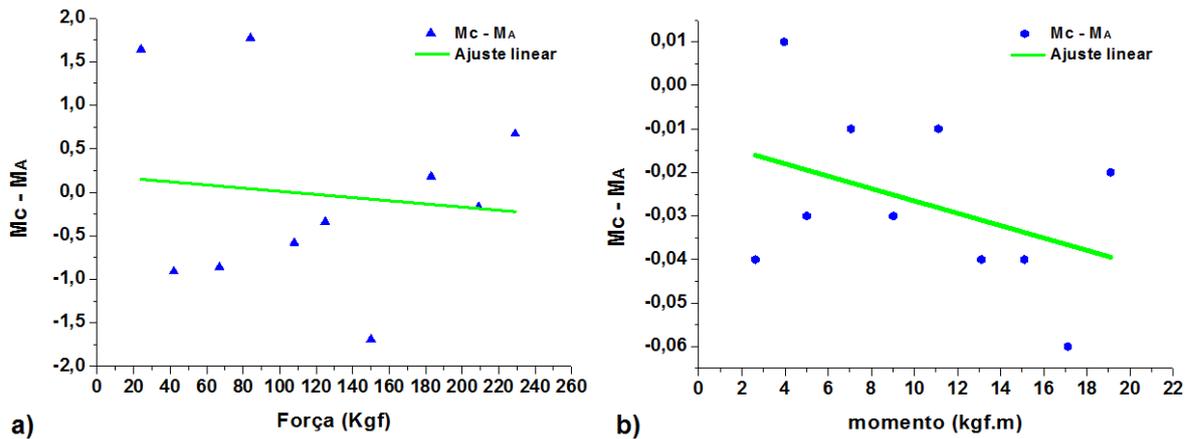
Tabela 3 – Diferença entre os dois sistemas de aquisição utilizados.

Indicador calibrado	Arduino	$M_c - M_A$	$E\%$	Indicador calibrado	Arduino	$M_c - M_A$	$E\%$
				Momento (Kgf.m)			
Força (Kgf)				Momento (Kgf.m)			
24	22,36	1,64	6,83	2,62	2,66	-0,04	1,53
42	42,91	-0,91	2,16	3,96	3,95	0,01	0,25
67	67,86	-0,86	1,28	5,01	5,04	-0,03	0,60
84	82,23	1,77	2,11	7,06	7,07	-0,01	0,14
108	108,58	-0,58	0,54	9,02	9,05	-0,03	0,33
125	125,34	-0,34	0,27	11,11	11,12	-0,01	0,09
150	151,69	-1,69	1,13	13,11	13,15	-0,04	0,31
183	182,82	0,18	0,10	15,10	15,14	-0,04	0,26
209	209,17	-0,17	0,08	17,11	17,17	-0,06	0,35
229	228,33	0,67	0,29	19,10	19,12	-0,02	0,10
Média			0,83	Média			0,29

Fonte: Própria autoria.

Na tabela 3 nota-se que o maior erro foi de 6,83% para a força e 1,53% para o momento torsor, isso pode ser explicado em ambos os casos pelo fato das primeiras medições serem referentes a cargas pequenas em relação a escala total dos extensômetros do dinamômetro.

Figura 5 – Gráfico da diferença entre o sistema calibrado e proposto com Arduino com ajuste linear.

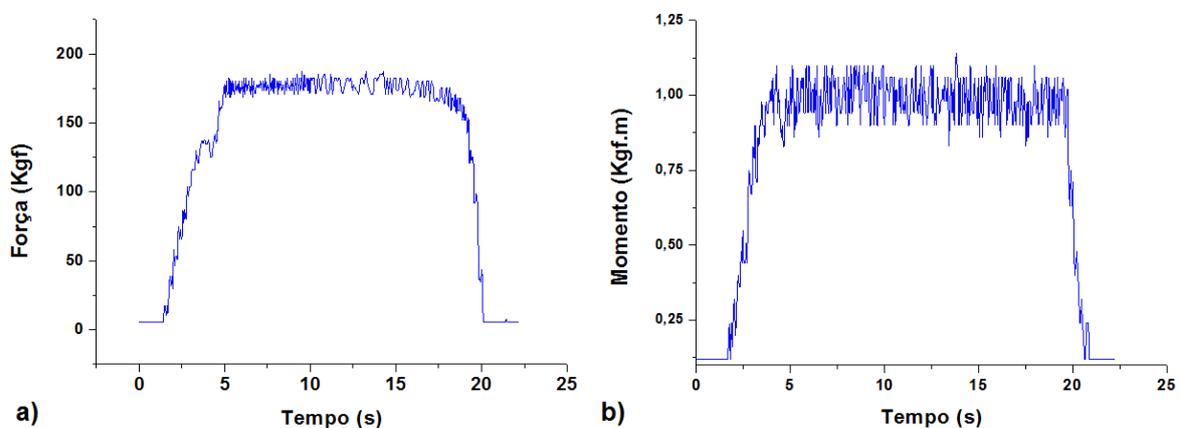


Fonte: Própria autoria.

Conforme constatado na tabela 3, nota-se uma diferença maior no início do ajuste, a queda na reta representa a diminuição do erro. Também se observa que a diferença entre os dois é pequena e não é possível notar uma tendência significativa. Deste modo a correção das curvas experimentais serão corrigidas com base na média do erro para as duas variáveis. Assim serão adotados os valores de correção de $\mp 0,83\%$ para a força e $\mp 0,20\%$ para os pontos do momento torsor.

Com a finalidade de testar o sistema de aquisição construído foi realizado um ensaio de furação com uma liga de alumínio. O experimento permitiu verificar o desempenho.

Figura 6 – Gráfico da relação a) Força x tempo e b) Momento torsor x tempo.



Fonte: Própria autoria

O método apresentou desempenho satisfatório, aquisitando os dados com boa exatidão e precisão, permitindo o tratamento dos sinais e inserção das informações diretamente em um sistema computadorizado.

5. Considerações finais

- O sistema de aquisição desenvolvido exibiu resultados interessantes com um baixo erro para as duas variáveis.
- O aquisitor construído revelou ser solução com uma boa relação custo benefício, uma vez que o Arduino é uma plataforma aberta e de baixo investimento.
- Devido à natureza flexível do Arduino, o mesmo permite a obtenção de diferentes dados apenas com a inserção de placas dedicadas (*shields*) e um conhecimento prévio em programação básica.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo e a empresa ISCAR Brasil Ferramentas de Corte pelo apoio na realização deste trabalho.

7. Referências

DIN 8589-2: Fertigungsverfahren SpanenTeil 2: Bohren - Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin, Alemanha: BeuthVerlagGmbH, 12p, 2003

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais*. 8ª edição. São Paulo: Artliber, 2013. 248 p.

FERRARESI, Dino. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. 5ª edição. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. P. 751.

MACHADO, Alisson Rocha et al. *Teoria da usinagem dos metais*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2009, p. 372.

PINTO, Claudemir Santos. *Desenvolvimento de uma interface para aquisição e tratamento de dados experimentais*. 2015. 100 p. Dissertação (Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2015.

STEMMER, Caspar Erich. *Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos*. 6ª edição. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005, p. 314.

STEMMER, Caspar Erich. *Ferramentas de corte I*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1993, p. 249.