

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA MEDIÇÃO DIMENSIONAL SEM CONTATO

André Gehring de Paula Corrêa, Luan de Campos Corrêa²

andre18_correa@hotmail.com¹, luan.correa@satc.edu.br²

**¹²Faculdade SATC, Engenharia Mecânica – Rua Pascoal Meller, 73 – CEP 88.805-380 –
CP 362 - Criciúma – SC – Brasil**

Resumo:

Os processos de medições estão incorporados em todas as áreas da produção, controlando a qualidade dos produtos manufaturados, identificando erros durante e após a fabricação. As principais vantagens dos sistemas automatizados são a segurança e a precisão durante a medição, sendo possível sua utilização em inúmeros tipos de processos. O presente trabalho tem como objetivo o estudo da medição dimensional sem contato de peças, com baixo custo de implantação e manutenção, sendo medidas através do *software* LabVIEW® e de uma bancada didática formada por uma esteira, instrumentada com sensores ópticos para a aquisição e análise de dados durante e após os ensaios. Os dados adquiridos durante os ensaios são a velocidade da esteira e os valores do tempo de presença da peça mensurada, que quando se correlacionam podem determinar uma dimensão da mesma. Após os ensaios, a bancada de testes se mostrou apta a identificar uma dimensão da peça medida em aplicações que não exijam resultados de medições com baixos erros de medição. Com os ensaios realizados, os erros de medição observados na bancada foram inferiores a 1,3%.

Palavras-chave: Medição, Bancada Didática, Sensores, LabVIEW®.

1.Introdução

As ferramentas de medições são componentes de grande importância dentro da área industrial metal mecânico moderna, sua função é de avaliar, testar ou mensurar os produtos recém manufaturados, a fim de determinar a conformidade com as especificações exigidas.

A demanda por peças cada vez mais precisas e a alta velocidade de produção vem exigindo uma constante ampliação dos critérios de medição e interpretação de medidas. Sem a evolução e sem o desempenho adequado destes critérios, a produtividade e a competitividade industrial estariam comprometidas.

Estima-se que de 4 a 6% do produto interno bruto (PIB) nacional dos países industrializados sejam dedicados aos processos de medição (*National and International Needs in Metrology*, BIPM, 1998).

Atualmente, são utilizados dois modelos de ferramentas para a obtenção de medidas, as manuais e as eletroeletrônicas. As ferramentas manuais dependem da habilidade do operador, como os paquímetros, micrômetros e relógios comparadores. Já as ferramentas eletroeletrônicas são controladas por um programa computacional que gerenciam um sistema, utilizando sensores dos mais variados tipos. Esses sensores podem tocar na peça, como exemplo os apalpadores industriais ou pode funcionar sem a necessidade de toque onde são utilizados sensores do tipo indutivos, capacitivos, ópticos ou câmeras de alta resolução, cada um deles empregados com uma funcionalidade diferente dentro da indústria.

No meio industrial, é esperado que a realização das medições ocorra com menor tempo possível. Além disso, busca-se o desenvolvimento e a aplicação de sistemas de medição que tenham baixo custo de implantação e manutenção.

Portanto, buscou-se o desenvolvimento e a execução de um método automatizado de medição de peças de seção constante (perfil), em movimento, onde se utilizou uma bancada formada por uma esteira instrumentada por dois sensores, sendo um sensor óptico por difusão (para a identificação da peça que vai ser mensurada) e um sensor óptico *encoder* (para determinar a velocidade da esteira), proporcionando assim as leituras necessárias que serão interpretadas e demonstradas pela *interface* do programa LabVIEW® (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*).

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são apresentados conceitos para a compreensão do presente trabalho, descritos da seguinte forma: medição, bancada didática, sensores, velocidade angular de um movimento circular uniforme, velocidade tangencial, LabVIEW®.

2.1 Medição

A medição tem como objetivo determinar o valor de uma grandeza específica, dependendo de sua quantidade e devida unidade de medida (ISO GUM, 2008)

O processo de medição segundo a norma ISO/TS 16949 (2002) é composto pelo operador, ambiente, sistemas de medição e procedimento de medição; e quando correlacionados com as atividades, recursos e influências, fornecem uma medição.

A função de selecionar corretamente os sistemas de medição, inspeção e ensaios, requer conhecimentos sobre a técnica de medição e suas condições de contorno (França, Flesch, 1993).

Segundo Holman (1994), o sistema de medição é dividido em três partes, que devem ser classificadas exercendo as seguintes atividades: transdutor propriamente dito, sendo a ligação entre o sistema fonte e o de medições; estágio intermediário onde o sinal é alterado, amplificando, filtrando ou tratando o sinal para que uma saída apropriada seja alcançada; estágio final, com a finalidade de indicar, registrar ou controlar a variável, torna disponível ao operador o valor da grandeza física que está sendo medida.

2.2 Bancada Didática

Segundo Rodrigues *et al*, (2003) as bancadas didáticas são mecanismos de apoio para a realização de experimentos, tornando possível ao operador construir inúmeros sistemas variando seus parâmetros, colocando na prática a teoria vista em aula.

Segundo Barroso apud Thomas *et al*, (2010), a razão para o desenvolvimento de uma bancada didática é a ligação de instrumentos como sensores e controladores programáveis a partir de uma rede com o objetivo de controlar e supervisionar um processo através de uma *Interface Homem Máquina (IHM)*, demonstrando os sistemas com dinâmica linear, sistemas variantes no tempo e os vários tipos de problemas de controle.

Para obter as variáveis físicas do ambiente a ser monitorado é necessário o uso de sensores, transformando a forma de energia presente no ambiente, podendo ser luminosa, cinética, entre outras em informações de grandezas físicas que podem ser medidas como corrente elétrica, velocidade, etc. (Unesp, 2010).

2.3 Sensores

Existe uma série de particularidades associadas aos sensores que devem ser consideradas no momento de sua aplicação, uma dessas características é o tipo de saída do sensor podendo ser analógica ou digital. Os sensores analógicos possuem uma saída contínua, buscando uma variação relacionada à grandeza física, já os sensores com saída digital, só assumem valores de “0” ou “1” lógicos, sendo capaz de determinar se a grandeza física atingiu um valor predeterminado, (Unesp, 2010). A Fig. 1 mostra a saída do sensor digital de acordo com a variação da entrada ao longo do tempo (Unesp, 2010).

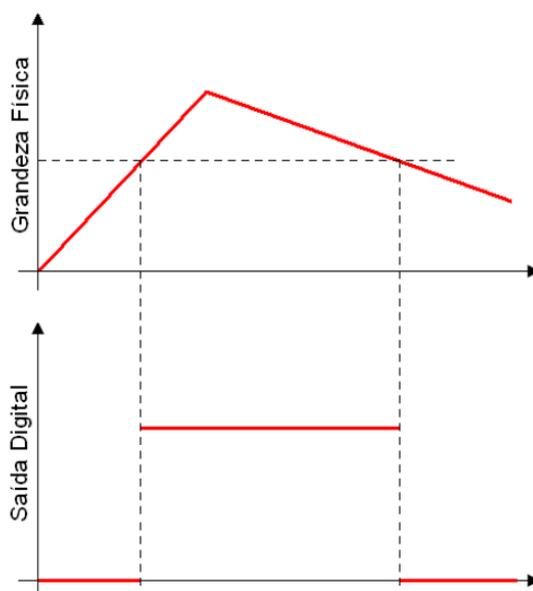


Figura 1 – Saída digital de um sensor em relação à grandeza física (Unesp, 2010).

Segundo Silva e Costa (2009), entre os mais variados tipos de sensores, os ópticos de presença são constantemente utilizados, pois dispensam o contato físico com o objeto detectado, apresentando longa vida útil e pouca manutenção.

Outro aspecto positivo é a velocidade de medição, que é extremamente rápida, inclusive para a medição de peças em movimento, viabilizando aquisição de um grande volume de dados em intervalos de tempo muito curtos (Albertazzi *et al*, 2003).

2.3.1 Sensor Óptico por Difusão

Os sensores ópticos com sistema por difusão funcionam através de elementos de emissão e recepção de um sinal infravermelho, sendo montados lado a lado em um único conjunto óptico direcionado para a face sensível do sensor. A Fig. 2 mostra o sensor através do diagrama de blocos (Mecaweb, 2018).

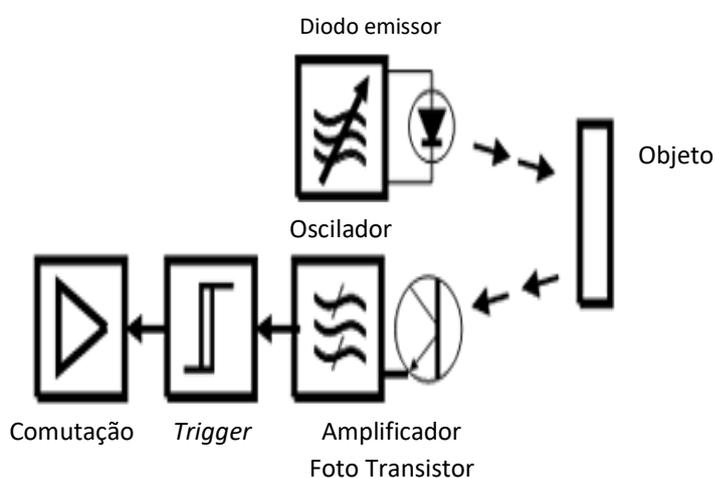


Figura 2 – Esquema elétrico do sensor óptico por difusão (Mecaweb, 2018).

Conforme mostrado na Fig. 2, os raios infravermelhos emitidos pelo transmissor refletem na superfície do objeto e retornam em direção ao receptor provocando o chaveamento eletrônico do sensor (Mecaweb, 2018).

2.3.2 Sensor Óptico *Encoder*

Segundo Ribeiro (2009), o sensor óptico *encoder* é um dos equipamentos mais utilizados na automação industrial, pois faz à conversão de movimentos angulares em informações necessárias determinando velocidade, taxa de aceleração, rotação e posição. A Fig. 3 mostra o sistema básico de um sensor *encoder*.

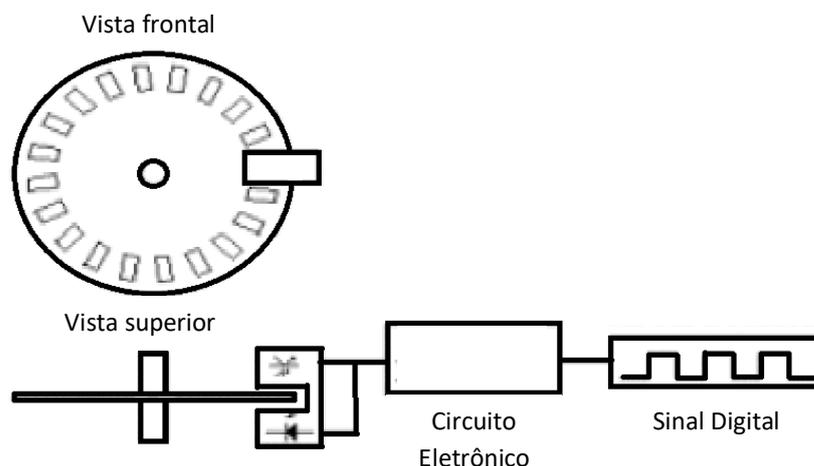


Figura 3 – Sistema básico do sensor *encoder* (Andrade., 2008).

Seu princípio de funcionamento é através de um disco formado por janelas radiais alternadas que é iluminada por uma fonte de luz infravermelha. Com o eixo em rotação, essa luz pulsa através das janelas do disco sendo projetada em um receptor, convertendo esses pulsos luminosos em pulsos elétricos, gerando os dados de rotação do objeto aferido (Ribeiro, 2009).

2.4 Velocidade Angular de um Movimento Circular Uniforme (MCU)

Para calcularmos a velocidade de um eixo motriz, utilizamos a equação da velocidade angular onde, segundo Mors e Veit (2004), no movimento circular uniforme, ω é a medida do deslocamento angular por unidade de tempo, exemplificado na Eq.1 e Eq.2.

$$\omega = 2\pi \cdot f \text{ [rad/s]} \quad (1)$$

$$f = 1/T \text{ [Hz]} \quad (2)$$

Onde:

ω [rad/s]: Velocidade Angular

f [Hz]: Frequência

T [s]: Período

2.5 Velocidade Tangencial

Segundo Silva (2017), a velocidade tangencial é a velocidade instantânea de um corpo que está em movimento circular uniforme e velocidade constante, sendo definida pela Eq.3.

$$V = \omega \cdot r \text{ [m/s]} \quad (3)$$

Onde:

V [m/s]: Velocidade Tangencial

ω [rad/s]: Velocidade Angular

r [m]: Raio

2.6 LabVIEW®

A fabricante *National Instruments*® (2014) define o programa LabVIEW® (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) como instrumentos virtuais (VIs) por serem similares em aparência e modo de operação a instrumentos físicos.

Segundo Oliveira e Russi (2017), o LabVIEW® é um importante ambiente de desenvolvimento para análise de medidas, apresentação e aquisição de dados, elaborado especificamente para engenheiros e cientistas, onde utiliza um modelo de fluxo de dados ao invés de uma sequência de linhas de texto.

O programa LabVIEW® é dividido por dois painéis, o painel frontal que contém a *interfacedo* programa, e pelo diagrama de blocos contendo o código gráfico do programa que ao invés de ser processado é compilado gerando linguagens de programação em alto nível. O painel frontal é simples de ser manuseado, sendo capaz de construir programas com uma boa qualidade gráfica de fácil compreensão (Souza, 2018).

3. Procedimento Metodológico

Após realizar a revisão bibliográfica na literatura técnica especializada, com o objetivo de reunir informações sobre o assunto abordado no trabalho, deu-se início a montagem física da bancada. Nesse tópico serão apresentados os materiais envolvidos e a sequência das etapas de desenvolvimento deste trabalho, sendo elas: bancada de testes, cálculo da dimensão da peça e sistema de medição da bancada.

3.1 Bancada de Testes

Após a aquisição dos componentes, deu-se início a montagem da parte estrutural da bancada de testes utilizando como base uma esteira de 2,30 m. de comprimento por 0,35 m. de largura, composta de dois rolos de 0,04 m. de diâmetro, sendo que no rolo motriz está acoplada uma polia de 0,17 m. de diâmetro. Na parte inferior da esteira, quatro pés de 0,038 m. de diâmetro por 0,30 m. de altura foram soldados para a instalação da parte motora da esteira, apresentada no projeto Fig.4.

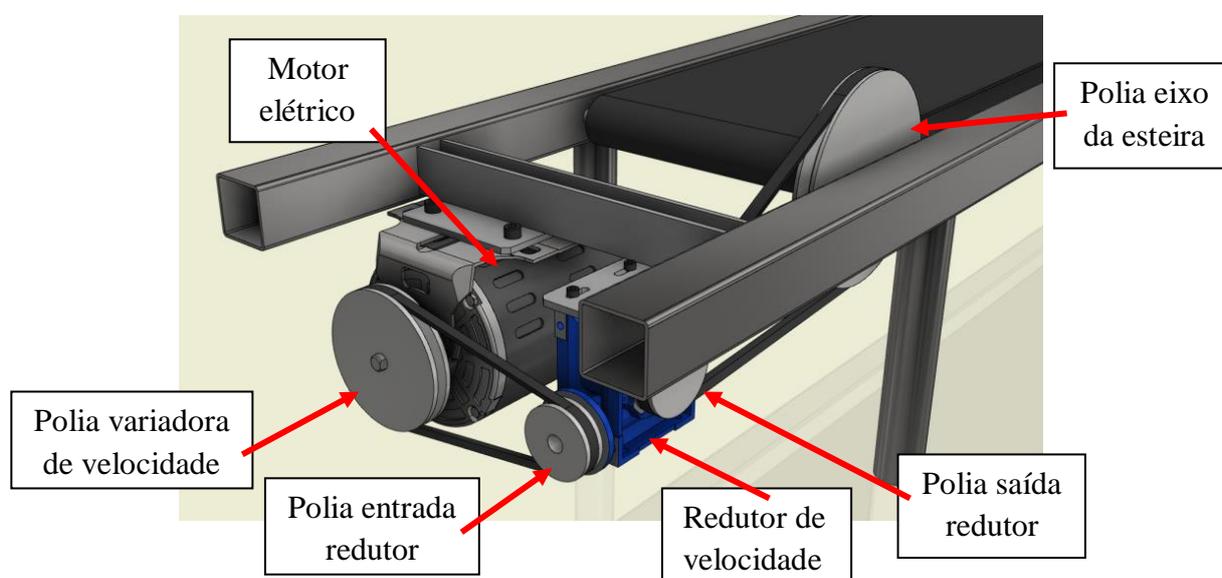


Figura 4 – Acionamento motor da esteira

A montagem da parte motora da esteira mostrada na Fig. 4 iniciou com a fabricação dos suportes necessários para a fixação do motor elétrico de 380 Watts de potência e o redutor de velocidade com relação de 23 para 1. Em seguida, os suportes foram soldados na estrutura da esteira e posteriormente furados, podendo assim fixar o motor elétrico e o redutor de velocidade na parte inferior da mesma.

Para transmitir a velocidade entre os equipamentos motores, utilizou-se três polias do tipo perfil A, sendo no motor elétrico utilizado uma polia variadora de velocidade de 0,107 m. de diâmetro e no redutor duas polias anteriormente furadas em um torno mecânico Nardini® ND 250, sendo uma instalada na entrada do redutor de 0,05 m. de diâmetro e uma de 0,06 m. de diâmetro na saída do redutor. Finalizada a montagem da bancada, foram instaladas duas correias em “V” de perfil A ligando uma polia a outra.

3.2 Cálculo da Dimensão da Peça

Pode-se encontrar o valor de uma dimensão da peça a ser medida utilizando a definição de velocidade tangencial, representada pela Eq. 4.

$$V = d/t \text{ [m/s]} \quad (4)$$

Onde:

d [m]: Distância percorrida

t [s]: Tempo

À distância percorrida da Eq. 4 é equivalente a uma dimensão da peça, o tempo é referente ao tempo de detecção da peça ao passar por uma referência (sensor), e por fim, a velocidade é equivalente à velocidade tangencial da esteira.

Sendo assim, a bancada de testes deve fornecer os valores de velocidade e de tempo, possibilitando a obtenção do valor de uma dimensão da peça.

Para isso, são utilizados dois sensores com a finalidade de medir:

- a velocidade da esteira;
- o tempo em que uma referência detecta a passagem da peça.

3.3 Sistema de Medição da Bancada

Posteriormente ao término da parte estrutural e mecânica da esteira, deu-se início ao desenvolvimento do sistema de medição da bancada. Resumidamente, os principais componentes necessários são: sensor *encoder* para medir a velocidade de esteira, sensor óptico para medir o tempo de passagem da peça por um referencial, uma placa de aquisição de dados e um programa desenvolvido especificamente para a bancada para adquirir e tratar os sinais dos sensores.

3.3.1 Velocidade da Esteira

Para medir a rotação da esteira, visando o baixo custo de implantação foi escolhido um sensor do tipo *encoder* mostrado na Fig. 5. Este sensor opera com tensão de alimentação entre

3,3 V a 5,0 V, possuindo uma saída digital e uma analógica, um microchip comparador LM393 de 660 kHz de frequência e um opto-interruptor MOHC22A de 66 kHz de frequência.

Foi adicionado ao sensor um disco perfurado que interrompe a emissão da luz infravermelha emitida por um LED e recebida por um opto-receptor, gerando assim pulsos luminosos que são convertidos em pulsos elétricos.

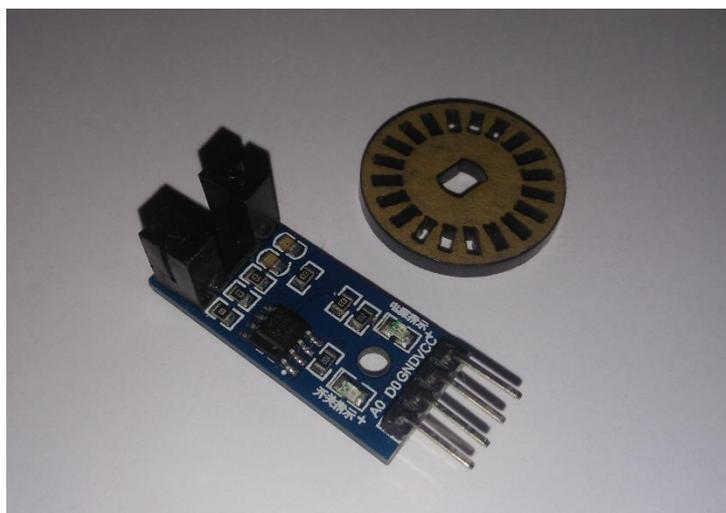


Figura5 – Sensor *encoder* e o disco utilizado para contar os pulsos.

Tratando os sinais, estes pulsos fornecem o equivalente à uma frequência de rotação, que posteriormente são relacionados aos raios envolvidos na esteira, fornecendo o valor da velocidade tangencial da mesma.

3.3.2 Tempo de Passagem da Peça por uma Referência

Para identificar a presença da peça que passa sobre a esteira, foi utilizado um sensor óptico por difusão da marca BALLUFF® modelo BOS 18M-PH-1HA-S4-C. Sua tensão de alimentação varia de 10 V a 30 V e sua frequência de operação é de 600 Hz. Este sensor pode detectar objetos dentro de uma faixa, que varia entre 40 mm a 120 mm com um *time delay* de 0,8 ms. Seu funcionamento é através de uma fonte de luz formada por um semicondutor de estado sólido LED que emite uma luz infravermelha. Esta luz emitida trabalha em um comprimento de onda que é detectada por um receptor, formado por um foto transistor que altera a corrente conduzida e identifica a passagem da peça. A Fig. 6 mostra o sensor utilizado.



Figura 6 – Sensor óptico difusão.

O sinal do sensor óptico tem uma frequência de amostragem de 1000 Hz, onde o intervalo entre cada amostra é equivalente a 0,001 segundo. Sendo assim, fazendo uma análise do sinal, é possível detectar o tempo em que a peça passa por um referencial (no caso, o próprio sensor).

3.3.3 Placa de Aquisição dos Sinais

Para a aquisição dos dados do sensor óptico difuso e do sensor do tipo *encoder* foi utilizada uma placa de aquisição de dados multifuncional *NI USB-6001* da *National Instruments®*, Fig. 7.



Figura 7 – Placa de aquisição de dados

A placa de aquisição oferece funções básicas de aquisição de dados, sendo muito utilizada em experimentos de laboratórios e na área de pesquisa e desenvolvimento em grandes empresas e instituições de ensino.

4. Análise e Resultados

Os resultados a seguir são dos procedimentos realizados e dos ensaios realizados na bancada de testes. Para a apresentação será seguido à ordem em que foram realizados os procedimentos: testes preliminares dos sensores, programa desenvolvido para a bancada, peças utilizadas nos ensaios, ensaios na bancada de testes.

4.1 Testes Preliminares dos Sensores

Inicialmente os ensaios dos sensores foram realizados separadamente para evitar que houvesse interferências de um sensor sobre o outro, tanto na parte elétrica como na parte de programação, garantindo o correto funcionamento dos mesmos.

A Fig. 8 mostra o ensaio do sensor de velocidade, onde um suporte de alumínio foi fabricado para a fixação deste sensor na parte superior da esteira.

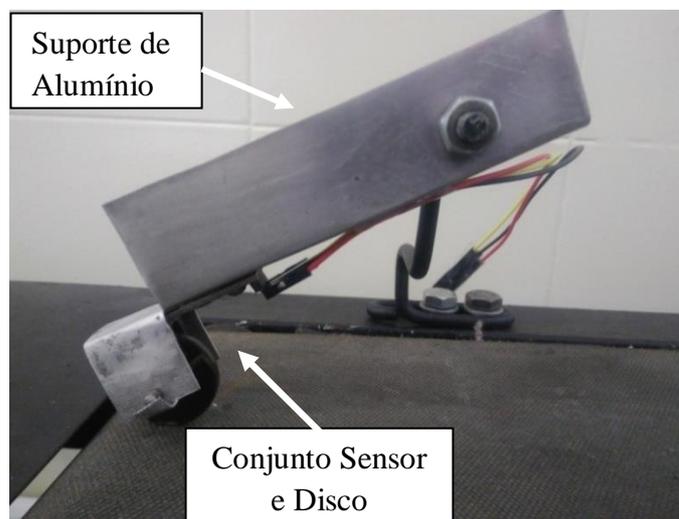


Figura 8 – Fixação do sensor *encoder*.

Logo após, o *encoder* foi conectado a placa de aquisição de dados da *National Instruments®* e a placa conectada ao computador através de um cabo USB. A Tab. 1 demonstra a ligação do sensor com a placa de aquisição.

Tabela 1 – Ligação entre a placa de aquisição e o sensor de velocidade (*encoder*).

Componente	Placa de aquisição	Sensor
Terminais	5 V	VCC +
	GND	GND
	3	Digital A0

Após a ligação do sistema, foi criado no *software* LabVIEW® uma programação para a leitura, cálculo, aquisição e demonstração de dados da velocidade da esteira. O programa foi montado de acordo com a necessidade do projeto, sendo configurado para a leitura de dois sinais de pulso a cada rotação e utilizando a Eq. 1 e a Eq. 2 de velocidade angular de um (MCU) citado por Mors e Veit, (2004), e a Eq. 3 de velocidade tangencial citada por Silva (2017).

Para validar a leitura encontrada no sensor *encoder*, utilizou-se um tacômetro digital de contato da marca *Instrutherm*®, modelo TDR-100, tendo como características uma velocidade de rotação máxima de 19.999 RPM e precisão de $\pm 0,1\%$ +1 dígito. O tacômetro foi posicionado na superfície da esteira informando a rotação da mesma.

Foram realizadas 3 medições em 12 rotações diferentes obtendo uma média dos resultados a fim de determinar se havia variação entre a rotação do sensor *encoder* e o tacômetro utilizado.

Os dados dos dois resultados de rotação foram tabelados através do *software* Microsoft *Excel* e corrigidos pelas relações entre o diâmetro da roda de cada sensor e o eixo motriz da esteira, pois as rodas dos sensores possuíam diâmetros diferentes. A tabela 2 mostra os valores das rotações encontradas.

Tabela 2- Resultado das Rotações

Ensaio	RPM Corrigido pela relação	
	<i>Encoder</i> X Eixo esteira	Tacômetro X Eixo Esteira
1	26,95	27,06
2	29,06	28,86
3	32,23	31,46
4	34,88	33,91
5	36,99	36,87
6	39,63	39,98
7	42,80	42,43
8	98,81	97,98
9	113,24	112,89
10	120,12	119,41
11	133,69	133,49
12	144,26	144,32

Os resultados da Tab. 2 demonstram que as rotações encontradas no sensor *encoder* e no tacômetro digital depois de corrigidas estão muito próximas, sendo que a maior diferença de rotação altera a velocidade em 0,001 m/s, confirmando que o sensor estava realizando as leituras corretas de rotação da esteira e validando o seu funcionamento nos ensaios.

Depois de realizada a validação do *encoder*, deu-se início aos ensaios para a validação do sensor óptico por difusão, instalando-o em um suporte fixado sobre a estrutura da esteira, mostrada na Fig. 9.

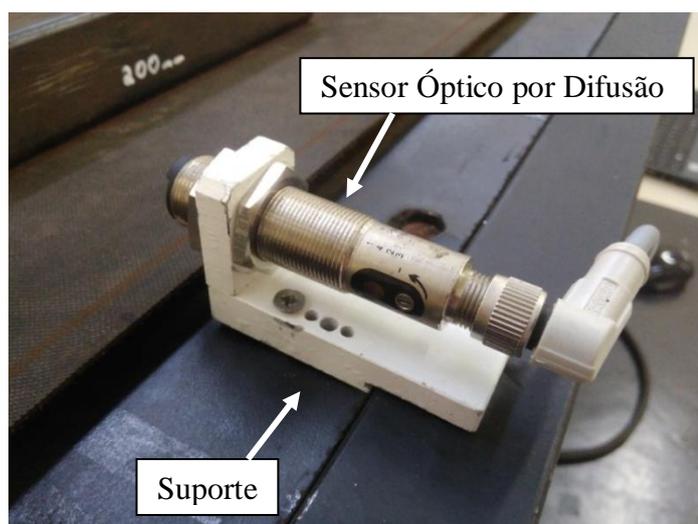


Figura 9 – Fixação do sensor óptico por difusão.

Em seguida, foi realizada a ligação elétrica do sensor. Como o sensor trabalha com uma tensão mínima de alimentação de 10 V, foi utilizada uma fonte de alimentação MINIPA modelo DC MPS-3005 para ligar o sensor, e para a aquisição de dados foi utilizado à placa da *National Instruments*® modelo NI USB-6001. As características das ligações entre os componentes são demonstradas na Tab. 3.

Tabela 3 – Ligação do sensor com a placa de aquisição e com a fonte de alimentação.

Componente	Placa de aquisição	Sensor	Fonte de alimentação
Terminais	-	1	Positivo
	-	2	-
	A1	3	Negativo
	0	4	-

Concluída a ligação elétrica do sensor óptico por difusão, realizou-se da mesma forma que no sensor *encoder* uma programação no LabVIEW® para aquisição e demonstração de dados via interface.

Para a validação, foram realizados ensaios verificando se o sensor detectava a presença do bloco que passava na esteira. A Fig. 10 mostra a presença da peça pelo programa LabVIEW®. É possível identificar o momento exato em que o sensor óptico por indução detecta a passagem da peça, onde sua tensão é alterada de 0 V para 8,4 V, confirmando o funcionamento do sensor.

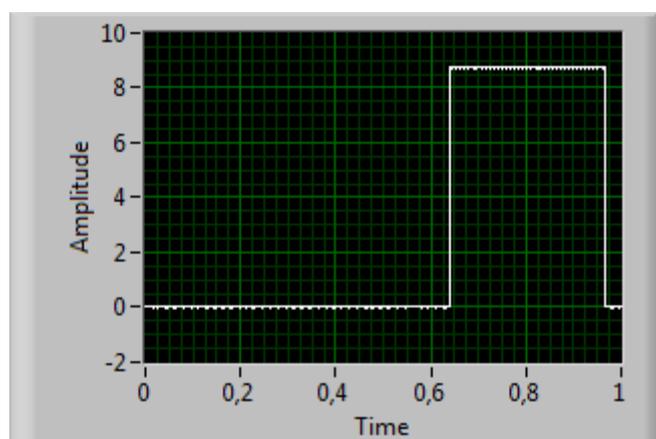


Figura 10 – Gráfico do Ambiente LabVIEW®.

Durante a análise do funcionamento do sensor óptico, percebeu-se que devido à distância entre o receptor e o emissor (Fig. 11), o valor obtido na bancada deve ser corrigido.

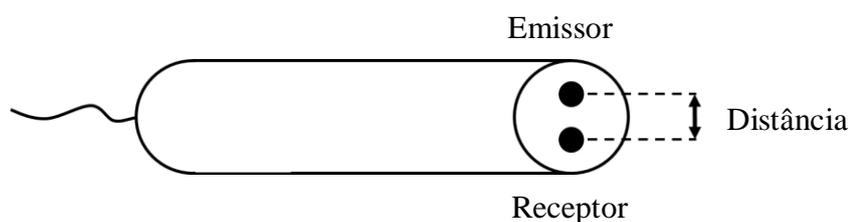


Figura 11 – Representação da distância entre o emissor e o receptor do sensor óptico.

4.2 Programa Desenvolvido para a Bancada

Após os ensaios individuais dos sensores, foi realizada a programação final no LabVIEW®, juntando as leituras dos dois sensores em um mesmo programa para o

processamento, demonstração e aquisição de dados, podendo assim iniciar os ensaios na bancada.

A Fig. 12 mostra o diagrama de blocos, que contém o código do programa. A figura foi dividida em três partes, sendo o bloco 1 responsável por adquirir os dados obtidos nos ensaios. O bloco 2 exibe e salva os dados do sensor óptico. E por fim, o bloco 3 trata o sinal proveniente do *encoder*, de forma a obter a velocidade da esteira, já a Fig. 13 mostra o painel frontal do programa.

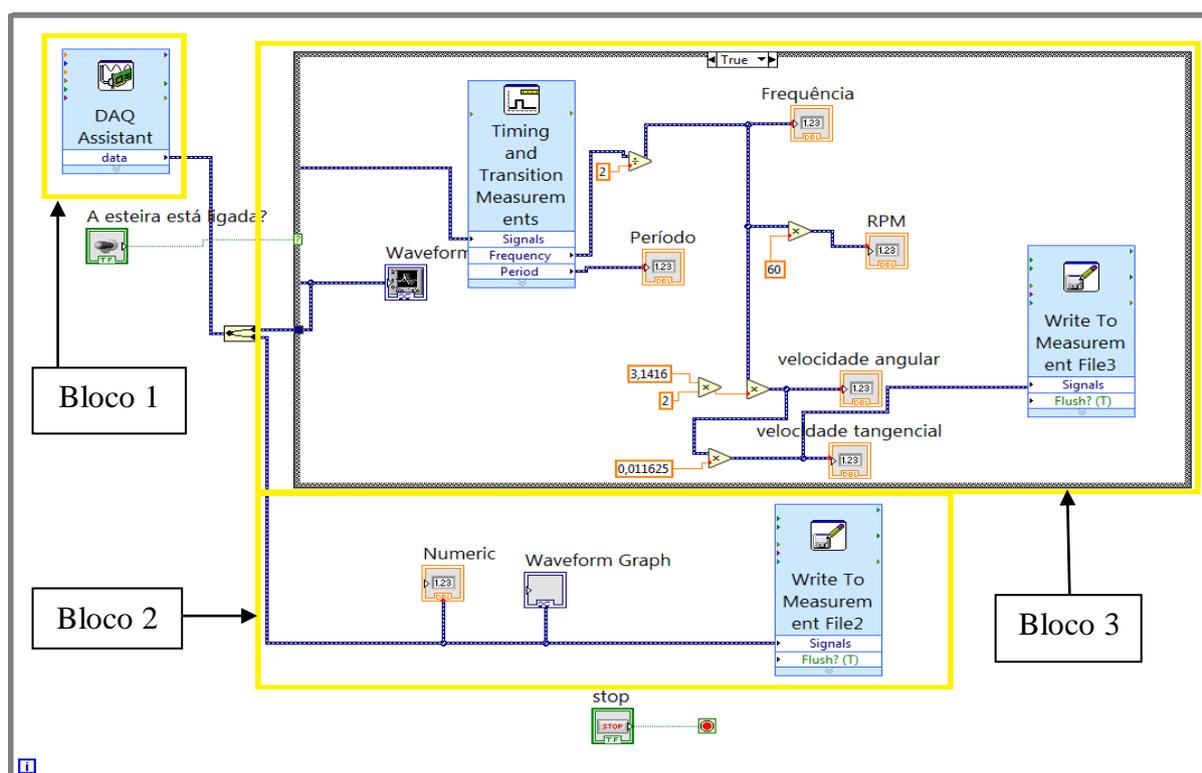


Figura 12 – Diagrama de blocos no painel do LabVIEW®.

O painel frontal do LabVIEW® é a IHM do programa, nela é possível fazer o controle de todo o sistema montado, além de mostrar em tempo real gráficos e dados de leitura do sensor *encoder* e do sensor óptico por difusão.

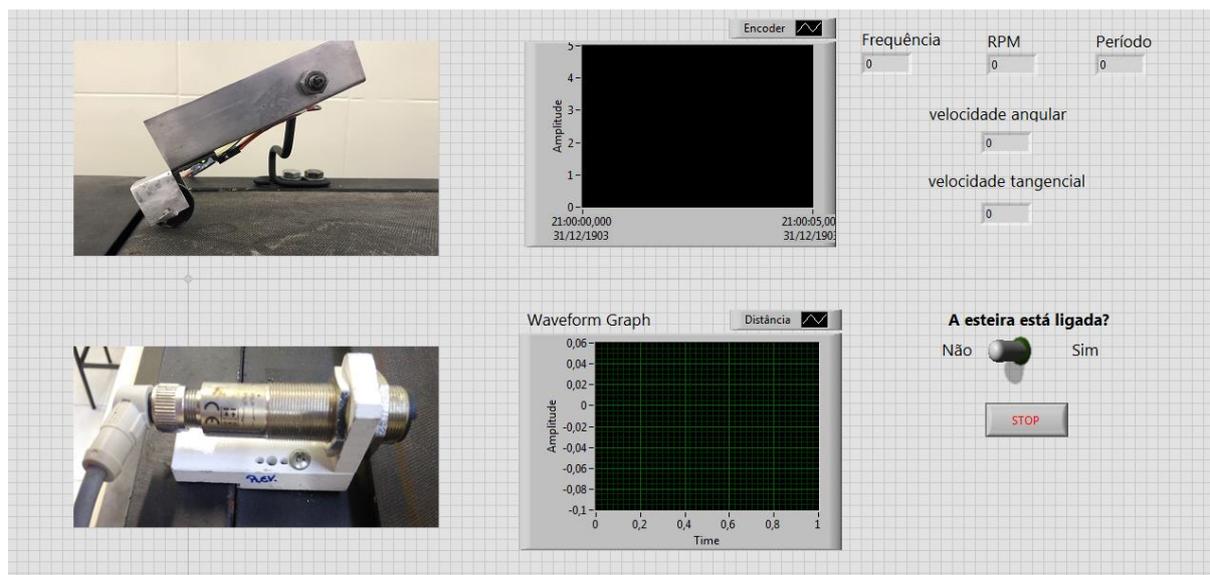


Figura 13 – Painel frontal do LabVIEW®.

4.3 Peças Utilizadas nos Ensaios

Para a realização dos ensaios, foram produzidos na oficina da instituição SATC (Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina) três blocos feitos a partir do Metalon. Os blocos apresentados na Fig. 14 foram cortados numa serra policorte e seu acabamento feito em um esmeril de bancada.



Figura 14 – Peças utilizadas nos ensaios realizados na bancada.

Após a produção das peças, as mesmas foram medidas em uma Máquina de Medição por Coordenadas (M.M.C.). As medições serão utilizadas como referências, ou seja, como o valor real das peças, com a finalidade de se comparar com os valores obtidos com o sistema de medição desenvolvido no presente trabalho.

A máquina de medição por coordenadas utilizada está presente no LAMETRO (Laboratório de Metrologia) da SATC. Em trabalhos internos realizados no LABICOM (Laboratório de Instrumentação, Controle e Metrologia), também da mesma instituição, as incertezas expandidas das medições realizadas em um único eixo do sistema apresenta valores de $\pm 0,003$ mm.

As medições realizadas na M.M.C. resultaram nos seguintes valores para as três peças: 99,837 mm; 198,969 mm e 298,590 mm.

De acordo com os testes preliminares, e com os valores que se consegue obter através da bancada de testes, a resolução do sistema encontra-se em 0,01 mm. Sendo assim, os três blocos que serão utilizados nos testes tem os valores de referência adotados como: 99,84 mm; 198,97 mm e 298,59 mm. A partir destes valores, é possível estimar o erro proveniente das medições realizadas na bancada.

4.4 Ensaio na Bancada de Testes

Com a programação final do LabVIEW® e os valores de referência da dimensão analisada das peças devidamente determinados, foram realizados os ensaios na bancada de teste, mostrada na Fig. 15.



Figura 15- Bancada de teste pronta para os ensaios

O procedimento adotado foi de realizar 3 ensaios para cada peça (99,84 mm, 198,97 mm e 298,59 mm). Em cada ensaio, a operação foi repetida 10 vezes, obtendo um valor médio e um desvio padrão destas 10 repetições.

As Tab. 4, 5 e 6 representam os ensaios realizados, assim como os valores da velocidade média da esteira em cada ensaio.

Tabela 4 – Medições (em mm) da peça de 99,84 mm realizadas com a bancada.

Medição	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
01	98,20	98,79	99,77
02	97,97	98,71	99,31
03	98,50	98,71	99,99
04	98,20	98,19	98,93
05	98,95	99,02	99,77
06	99,33	97,96	99,31
07	98,05	98,41	99,99
08	98,57	98,71	99,00
09	99,10	97,96	98,70
10	98,12	99,24	99,23
Média	98,50	98,57	99,40
Desvio padrão	0,48	0,43	0,46
Velocidade média (mm/s)	75,42	75,50	76,30

Tabela 5 – Medições (em mm) da peça de 198,97 mm realizadas com a bancada.

Medição	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6
01	202,43	201,50	202,26
02	201,22	200,60	201,65
03	202,13	201,35	201,04
04	201,37	201,35	201,34
05	201,00	201,80	201,95
06	201,68	201,73	201,19
07	201,07	201,28	201,19
08	200,92	201,43	201,42
09	201,83	200,90	201,42
10	202,21	201,10	201,34
Média	201,59	201,30	201,48
Desvio padrão	0,55	0,36	0,38
Velocidade média (mm/s)	75,50	75,60	76,10

Tabela 6 – Medições (em mm) da peça de 298,59 mm realizadas com a bancada.

Medição	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9
01	301,10	300,02	300,37
02	300,10	300,17	300,22
03	300,96	299,80	300,82
04	299,90	300,02	300,44
05	300,88	299,35	301,10
06	300,65	299,65	300,74
07	300,42	299,87	300,52
08	300,50	299,72	299,77
09	301,10	299,72	300,29
10	301,10	299,72	299,84
Média	300,67	299,80	300,41
Desvio padrão	0,43	0,23	0,42
Velocidade média (mm/s)	75,30	75,00	75,00

A Tab. 7 apresenta os resultados de forma resumida, permitindo a comparação entre os valores obtidos através da bancada de testes desenvolvida no presente trabalho com os valores de referência provenientes das medições realizadas em uma máquina de medição por coordenadas (M.M.C.).

Tabela 7 – Comparação entre os valores obtidos para as peças.

Ensaio	Média das medições (mm)	Referência M.M.C. (mm)	Diferença (mm)	Diferença (percentual)
1	98,50	99,84	-1,34	-1,3
2	98,57	99,84	-1,27	-1,3
3	99,40	99,84	-0,44	-0,4
4	201,59	198,97	2,62	1,3
5	201,30	198,97	2,33	1,2
6	201,48	198,97	2,51	1,3
7	300,67	298,59	2,08	0,7
8	299,80	298,59	1,21	0,4
9	300,41	298,59	1,82	0,6

Analisando os resultados, percebe-se que a diferença entre os valores de referência e os obtidos com a bancada não ultrapassam o valor de $\pm 1,3\%$, em alguns ensaios há um valor positivo, e em outros, negativo.

Também se pode perceber que não há um comportamento sistemático das diferenças encontradas. Sendo assim, trata-se de um comportamento aleatório do resultado da medição que a bancada consegue obter.

Para uma melhor caracterização e definição da qualidade da medição proveniente da bancada, é aconselhável repetir mais ensaios, com mais peças (com dimensões diferentes). Porém, através dos resultados obtidos nos ensaios do presente trabalho, pode-se assumir que a bancada apresenta um erro total de $\pm 1,3\%$ do valor medido.

Conclusão:

Com os ensaios da bancada de testes, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A bancada de testes e sua instrumentação se mostraram uma ferramenta eficaz para a realização de ensaios, proporcionando resultados de medições que não exijam baixos erros de medição. Sendo sua maior variação na medição de $\pm 1,3\%$ do valor real.
- As medições tiveram o maior desvio padrão de 0,55 mm, provando que mesmo com resultados de comportamento aleatórios não há grandes divergências nas medições da bancada de testes.
- Como demonstrado nos ensaios de velocidade, a maior variação foi de 1 mm/s sendo o maior causador de diferenças nas medidas entre o valor de referência utilizado e a medição obtida na bancada. Essa diferença na velocidade ocorre pela variação na tensão de alimentação do motor elétrico usado, sendo um motor de corrente alternada ligado diretamente à rede e não há um *nobreak* o que corrigiria sua tensão.
- O sensor óptico por difusão usado para detectar a presença da peça se mostrou eficiente, podendo adquirir uma grande quantidade de dados por segundo.
- O programa desenvolvido no LabVIEW® foi apropriado para o projeto, mostrando o comportamento dos sensores graficamente e medidas como frequência, período, RPM, velocidade angular e velocidade tangencial, além de salvar os dados para análise posterior das medições.
- Para projetos futuros, é possível realizar ensaios com blocos de diferentes medidas pretendendo encontrar um comportamento sistemático nas diferenças das medidas encontradas, também pode se instrumentar a bancada de testes com novos sensores, para realizar além de leituras de uma dimensão (por exemplo, comprimento), leituras de duas dimensões (por exemplo, comprimento e altura) e peso da peça aferida.

- Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se realizar a troca do sensor óptico *encoder* por outro sensor para a leitura de velocidade da bancada de testes para uma maior aquisição de dados de velocidade.

Referências:

Albertazzi, A., Sousa, A., Pezzota, C., “Controle Geométrico Através da Metrologia Óptica: Chegando onde nenhum outro meio de medição consegue chegar. Florianópolis,SC, 2003.

Andrade, H. P., “Sensor de Velocidade”, 2008, “Sensor de Velocidade” – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Elétrica, Natal-RN.

Barroso, H., Euzebio, T., Barros, P., “Desenvolvimento de atividades experimentais em uma planta didática”. In: XVIII Congresso Brasileiro de Automática – CBA, Bonito, MS, 2010.

Flesch, C. A., França, L. R. G., “Sistema de Gerenciamento de Instrumentos de Controle Geométrico: Caracterização e Desenvolvimento de um Protótipo”. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1993, Brasília, DF.

Holman, J. P., 1994, “Experimental Methods for Engineers”. 6th edition, New York.

Intergovernmental Organization of the Convention of the Metre, “National and International Needs Relating to Metrology: International Collaborations and the Role of the BIPM, Junho de 1998.

ISO GUM, “Avaliação de dados de Medição - Guia para a expressão de incerteza de medição”, 1ª edição brasileira, 2008.

ISO/TS 16949. Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations. V.2, 2002.

Mors, P. M.; Veit, E. A., “Física Geral Universitária: Mecânica. Porto Alegre, RS, 2004, 85 p.

Mecaweb Education Site. Sensores Ópticos. Disponível em: <http://www.mecaweb.com.br/electronica/content/e_sensor_optico> Acesso em: 01 de Maio de 2018.

National Instruments. O que é LabVIEW®. Disponível em: <<http://www.ni.com/pt-br/shop/labview.html>> Acesso em: 05 de Maio de 2018.

Ribeiro, B. P., Manual Encoder, disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAaVUAB/manual-encoder>> Acesso em: 03 de Abril de 2018.

Rodrigues, M. J., Jurach, P. J., Giordani, R. E., “Bancada Didática de Pneumática”. Rio Grande do Sul, RS, 2003.

Russi, J. L., Oliveira, C. R., “Estabelecimento de Comunicação Serial entre Arduino e Labview”. In: Anais do 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – Universidade Federal do Pampa, 2017.

Silva, D.C.M., “Definindo a velocidade tangencial de um corpo”, disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/definindo-velocidade-tangencial-um-corpo.htm>> Acesso em: 12 de Fevereiro de 2018.

Silva, R. F. A., Costa, J. A. D., “Sensor Óptico por Reflexão Difusa com Múltiplas Faixas de Detecção e com Saída Binária Sequencial”, João Pessoa-PB, 2009.

Souza, V. A., “Artigo Sobre LabVIEW®”. Disponível em: <http://www.cernectec.com.br/artigo_labview.pdf> Acesso em: 05 de Maio de 2018.

Wendling, M., 2010, “Sensores” – Apostila Curso Técnico, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Guaratinguetá-SP.