



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

JOÃO GUSTAVO BASTOS DE SOUZA

***RETROFITTING* DE UMA MÁQUINA DE MEDIR FORMAS PARA
AVALIAÇÃO DA CIRCULARIDADE**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**

**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

JOÃO GUSTAVO BASTOS DE SOUZA

***RETROFITTING* DE UMA MÁQUINA DE MEDIR FORMAS PARA
AVALIAÇÃO DA CIRCULARIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro em Mecatrônica.

Orientador:
Prof. Gregory Chagas da Costa Gomes, Me.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Souza, João Gustavo Bastos de
Retrofitting de uma máquina de medir formas para avaliação da circularidade / João Gustavo Bastos de Souza; orientação de Gregory Chagas da Costa Gomes. - Florianópolis, SC, 2022.
70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.
Inclui Referências.

1. Readequação Tecnológica. 2. Aquisição de Dados.
3. Erro de Circularidade. I. Chagas da Costa Gomes, Gregory. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. **Retrofitting de uma máquina de medir formas para avaliação da circularidade.**

RETROFITTING DE UMA MÁQUINA DE MEDIR FORMAS PARA AVALIAÇÃO DA CIRCULARIDADE

JOÃO GUSTAVO BASTOS DE SOUZA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de agosto, 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Gregory Chagas da Costa Gomes, Me.

Prof. André Roberto de Sousa, Dr, IFSC

Prof. Nelso Gauze Bonacorso, Dr, IFSC.

AGRADECIMENTOS

Quando olho para trás e vejo o caminho que trilhei durante todos esses anos sinto que não há arrependimento seja das decisões que tomei, das pessoas que conheci e dos desafios que me deparei. A realização de ter alcançado os meus objetivos e ultrapassado os obstáculos.

Na trajetória acadêmica pude experimentar o trabalho em equipe na Empresa Júnior, a indissociabilidade da pesquisa, ensino e extensão no PET e a desenvolver as habilidades interpessoais e profissionais no período de estágio na Automatiza e Lógica-e. Experiências que agradeço imensamente.

A estrada da vida não foi uma via solitária assim agradeço a todos os meus familiares, amigos e colegas acadêmicos. Sem o incentivo de todos vocês eu não teria ido tão longe por isso sou eternamente grato a todos.

*“Não importa o que você seja, quem
você seja, ou que deseje na vida, a
ousadia em ser diferente reflete na sua
personalidade, no seu caráter, naquilo
que você é. E é assim que as pessoas
lembrarão de você um dia.”*

Ayrton Senna

RESUMO

A empresa Scitec trabalha com a realização de ensaios de qualidade para a homologação de produtos em diferentes áreas. Para tanto, os ensaios de desvio de circularidade são essenciais para essa atividade, bem como para a emissão de certificados e validação de processos de fabricação. Para a demonstração é preciso apresentar um valor da distância mais o erro encontrado em cada ponto da seção do cilindro e construir um gráfico polar. A empresa em questão possui um equipamento defasado tecnologicamente e com algumas funcionalidades inoperantes. É necessário avaliar o que está inoperante e fazer a readequação tecnológica visando a total operação automática e integrada da máquina. Analisar quais sensores são essenciais para o processo. Verificar em que ponto os sinais dos sensores devem ser colhidos e montar fisicamente a solução adequada. Então devido aos requisitos e restrições foi escolhido o sistema de aquisição de dados da National Instruments MyDAQ com interface do Labview e também capaz de exportar um documento dos resultados dos ensaios.

Palavras-chave: Readequação Tecnológica; Erro da circularidade; Aquisição de dados.

ABSTRACT

The company Scitec works with the performance of quality tests for the approval of products in different areas. Therefore, the roundness deviation tests are essential for this activity, as well as for the issuance of certificates and validation of manufacturing processes. For demonstration purposes it is needed to show a distance value plus an error value found in each point of the cylinder's section and plot a polar graph. The company in question has technologically outdated equipment with some inoperative features. It is necessary to assess what is inoperative and perform retrofitting aiming at the fully automatic and integrated operation of the machine. To verify at which point the sensor's signal must be collected and physically assemble the most suitable solution. Then, due requirements and restrictions is chosen to use the National Instruments MyDAQ data acquisition system with Labview interface and also capable of exporting a document of the test results.

Keywords: Retrofitting; Roundness error; Data acquisition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Roundtest RA-1600 Série 211, Similar a Talyrond	15
Figura 2 - Leitz PMM	21
Figura 3 - Definição da zona de desvio da circularidade	21
Figura 4 - Medição do desvio da circularidade	22
Figura 5 - Gráfico do desvio da circularidade	23
Figura 6 - Fluxo do sinal através do DAQ	24
Figura 7 - Sinal analógico e digital	25
Figura 8 - Amplificação	25
Figura 9 - Filtragem	26
Figura 10 - Conversão analógica para digital	27
Figura 11 - Talyrond 252 - Foto por inteiro	32
Figura 12 - Talyrond 252 - Computador Próprio - frente	32
Figura 13 - Talyrond 252 - Computador próprio - atrás	33
Figura 14 - Talyrond 252 - Placa Driver	33
Figura 15 - Talyrond 252 - Armário	33
Figura 16 - Talyrond 252 - Medição de forma	34
Figura 17 - Talyrond 252 - Mesa rotacional em foco	34
Figura 18 - Talyrond 252 - Redutor/Encoder em foco	35
Figura 19 - Talyrond 252 - Coluna milimétrica em foco	35
Figura 20 - Talyrond 252 - Braço milimétrico em foco	36
Figura 21 - Talyrond 252 - Apalpador em foco.....	36
Figura 22 - Talyrond 252 - Painel de controle.....	37
Figura 23 - Local de aquisição dos dados - Encoder.....	38
Figura 24 - Osciloscópio - Análise do encoder.....	38
Figura 25 - Local de aquisição dos dados - Apalpador.....	39
Figura 26 - Osciloscópio - Apalpador.....	39

Figura 27 - Material adicional - Pacote do software, manual e folder	40
Figura 28 - Software - Pasta de instalação	40
Figura 29 - Software - Erro 1 de comunicação	41
Figura 30 - Software - Portas seriais	41
Figura 31 - Software - Erro 2 de comunicação	42
Figura 32 - Software - Erro 3 de comunicação	42
Figura 33 - Software - Tela principal	43
Figura 34 - Software - Ensaio de circularidade	44
Figura 35 - Software - Tela de configurações	44
Figura 36 - Software - Tela de calibração	45
Figura 37 - Software - Tela de impressão	45
Figura 38 - Software - Sniffing da comunicação	46
Figura 39 - Conceitos no Tratamento dos Dados	48
Figura 40 - MyDAQ da NI	51
Figura 41 - Montagem - Micrômetro	52
Figura 42 - Gráfico variação de posição por tensão	52
Figura 43 - Montagem - MyDAQ	53
Figura 44 - Conexão com MyDAQ	53
Figura 45 - Fluxograma do programa principal	55
Figura 46 - Fluxograma da Sub-rotina	56
Figura 47 - Assistente DAQ - Aquisição analógica	57
Figura 48 - Assistente DAQ - Escala	57
Figura 49 - Assistente DAQ - Contador de pulsos	58
Figura 50 - Diagrama de blocos Labview	59
Figura 51 - Conexão com MyDAQ	59
Figura 52 - Labview - Bloco Office Report	60
Figura 53 - Labview - Bloco geração de imagem	61

Figura 54 - Gráfico transformado em imagem	61
Figura 55 - Ensaio de Circularidade	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Simbologia	21
Quadro 2 - Especificações do MyDAQ	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação brasileira da indústria elétrica e eletrônica
ADC	Conversor analógico para digital
CP	Computador próprio
DAS	Sistema de aquisição de dados
DAQ	Aquisição de dados
GND	Ground
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
Hz	Hertz
LAM II	Laboratório de Acionamentos Mecânicos II
PC	Computador pessoal
PDF	Formato de Documento Portátil
V	Volts
VM	Máquina Virtual

LISTA DE SÍMBOLOS

○	Desvio (erro) da circularidade.
↗	Erro de batimento.
E	Erro da medição
∠	Inclinação
R	Raio

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
Objetivo Principal	16
Objetivos Específicos	16
Justificativa e Relevância	16
Condições Práticas e de Factibilidade da Pesquisa	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
Processo de Retrofitting	18
Medição da Circularidade	20
Aquisição e Tratamento de Dados	23
Condicionamento de sinal	25
Conversão de analógico para digital	26
METODOLOGIA	28
Abordagem	28
Etapas	29
DESENVOLVIMENTO	30
Avaliação da Talyrond 252	30
Avaliação dos Componentes Mecânicos e suas Funções	30
Avaliação dos Sensores	36
Avaliação da Comunicação e Software	38
Avaliação dos Requisitos e Restrições	45
Levantamento Conceitual do Retrofitting	47
Implementação de Hardware e Software do Sistema	49
RESULTADOS.....	57
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE	64
ANEXO	65

1. INTRODUÇÃO

Na empresa Scitec, que atua no mercado Catarinense oferecendo serviços de certificação de componentes como rodas automotivas, coroas de motocicleta entre outros, são desenvolvidos diversos tipos de ensaios mecânicos que dão certificação acreditada pelo Inmetro. Dentre eles, há o ensaio de desvio de circularidade, o qual possui grande importância na homologação de produtos cilíndricos de precisão.

Há um equipamento metrológico, na Scitec, chamado de circularímetro seu modelo é da marca Talyrond 252 que efetua este tipo de ensaio, mas que precisa ser atualizada, com o intuito de atender as demandas necessárias e que possa trabalhar integrada a um sistema que apresenta os dados colhidos. Assim, com a volta de sua operação, será possível emitir certificados a respeito do erro encontrado nestas medições.

O ensaio de desvio de circularidade também é realizado por outras marcas como a Roundtest da Mitutoyo que tem por objetivo, o mesmo resultado, fornecer um gráfico polar (erro de circularidade por graus) que mostra o erro da seção circular de um perfil cilíndrico ao usuário sendo que é possível fazer algumas comparações a respeito das funções disponíveis. O modelo do aparelho é visto na figura 1 sendo similar a uma Talyrond 252.

Figura 1 - Roundtest RA-1600 Série 211, Similar a Talyrond 252



Fonte: Mitutoyo (2022).

1.1. Objetivo Principal

Atualizar máquina de medição de circularidade, integrando os sensores necessários para a coleta dos dados essenciais, no caso encoder e apalpador, a um sistema de aquisição de dados com interface para o usuário.

1.2. Objetivos Específicos

Avaliar o estado atual de funcionamento da máquina.

Buscar soluções tecnológicas para atender aos requisitos de projeto.

Garantir o funcionamento da máquina diante das adições propostas.

Colher os dados medidos pelo dispositivo atualizado e os apresentar ao usuário.

1.3. Justificativa e Relevância

A atualização de maquinário se faz necessária quando este já não atende mais a especificidade, está defasado tecnologicamente e/ou possui déficit de desempenho. Por seu turno, a empresa Scitec tem realizado diversos ensaios de qualidade para a homologação de produtos, dentre eles, o ensaio de desvio de circularidade. Neste caso, mesmo que o hardware esteja operacional, o seu software foi feito para sistemas 32bits com base em DOS, o qual não funciona nos computadores atuais, o que impossibilita o acesso às medições e tira a máquina de operação.

Analisando máquinas disponíveis no mercado, como a RA-1600 da Mitutoyo, mostrada na figura 1, é possível afirmar que o seu custo de aquisição quando a empresa já possui um modelo custeado que é similar e por haver toda uma mecânica funcional, existe uma grande potencialidade para atualização tecnológica por um valor abaixo do de uma máquina nova. O Circularímetro pode ter uma faixa de preço ampla dependendo da quantidade de funções executadas sendo que os mais recentes além da análise de erros da forma também podem inferir a geometria 3D do sólido analisado o que é muito interessante porém excede o escopo deste projeto.

Dentro dos laboratórios da Scitec a utilização desta máquina vai trazer agilidade aos processos de medição, ajudando a criar uma data base de dados de relatórios que pode ser comparada sendo uma ferramenta muito útil no dia a dia do técnico responsável.

Diante de tudo isso, é de suma relevância a conclusão deste projeto, cujo objeto é justamente o ajuste da máquina destinada a reinserção do circularímetro na Scitec para geração de ensaios de desvio de circularidade, que atualmente está defasada tecnologicamente.

1.4. Condições Práticas e de Factibilidade da Pesquisa

O escopo do projeto leva em conta que a máquina já está operante. Por este motivo, será desenvolvida uma solução específica para atender as demandas da empresa Scitec, a respeito da operação e apresentação dos dados colhidos pelo equipamento. Também foi levado em consideração que o maior gasto do projeto é a compra do sistema de aquisição de dados (DAQ) comercial. Assim como as horas no desenvolvimento da interface ao usuário utilizando o Labview.

Os conhecimentos técnicos necessários estão ligados a:

- Protocolos de comunicação;
- Medição de sistemas por forma;
- Metrologia; e
- Programação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Processo de *Retrofitting*

O processo de readequação tecnológica de equipamentos mecatrônicos começa com a seguinte indagação: Quando um retrofit de um equipamento desatualizado vale a pena? A resposta é o trinômio: baixo custo, execução rápida e a confiabilidade, ou seja, a boa qualidade do resultado. Além disso, a sua implementação depende de fatores de ambiência como o porte da empresa, produto, lugar, época e importância social.

Segundo Aldebrand (2019 *apud* Pansiera, 2002) “A solução mais buscada pelas empresas na execução deste procedimento de readequação passa pelo trinômio: qualidade com garantia do serviço, prazo curto de entrega e baixo custo”. Entende-se que em uma qualidade de serviço tem-se a confiança que a máquina readequada vai continuar funcionando por vários ciclos repetindo o seu resultado de maneira satisfatória atendendo as necessidades da empresa. Assim como a execução deste serviço deve ser ágil pois no ambiente industrial já que o tempo é escasso uma rápida implementação reduz a queda da produção. E o baixo custo propicia uma situação favorável à sua adaptação economizando recursos.

A realidade é que nem toda a empresa estará na vanguarda da tecnologia com equipamentos prontos para se comunicar com outros sistemas, ou terá o recurso financeiro para investir na compra de um novo maquinário quando já existe um chão de fábrica montado, mesmo que sem a capacidade de colher e processar dados. Com o surgimento da indústria 4.0, que trouxe o sensoriamento em tempo real assim como o gerenciamento de informações na nuvem, foi possível criar um caminho mais benéfico para a resolução de problemas da comunicação entre diferentes sistemas e melhor controle de contratempos. Para manter a competitividade com grandes corporações, as empresas de pequeno e médio porte veem o *retrofit* como uma opção de acesso às tecnologias IOT que equilibram o jogo (KOLLA et al., 2022).

A respeito das ponderações que devem ser consideradas quanto ao produto na implementação do *retrofit*. Dois produtos podem ter custos de manufatura diferentes, apesar de serem feitos dos mesmos materiais - seja aço, plástico, madeira e afins - dependendo da parte do mundo em que são produzidos. Então, pode haver casos em que o preço de um serviço de *retrofit* seja menor que comprar um novo equipamento nacional porém maior que

comprar um internacional, sendo que uma opção mais barata e mais viável pode ser a compra de um novo produto similar chinês ao invés de modernizá-lo dentro do país.

A comparação direta entre dois produtos, vendidos pelo mesmo fornecedor, com uma diferença de quarenta anos, vai demonstrar que o produto mais novo apresenta novas tecnologias, mais funções e uma qualidade maior, o que justificaria uma troca ao invés de um conserto. Entretanto, nem todas essas novas adições são importantes para o funcionamento padrão da máquina. No ambiente industrial um mecanismo pode ter continuado o mesmo na geração nova, já que os princípios mecânicos são os mesmos. Desse modo, é preciso analisar com cautela as necessidades da empresa e quais as funções realmente essenciais para a sua operação, pois pode ser que a máquina não precise ser modernizada em todos os aspectos que seu similar atual para atender os requisitos.

Em meio a uma época de crises de nível global, as relações de consumo podem mudar e o retrofitting se tornar essencial, principalmente quando não é possível comprar novos equipamentos. É exemplo desse cenário a escassez de semicondutores. Conforme sondagem realizada pela ABINEE em maio do corrente ano “[...] 88% dessas [empresas] entrevistadas atribuem à crise global de semicondutores acentuada na pandemia como o principal responsável pelas dificuldades na aquisição destes itens” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2022).

Ainda, há casos em que a revitalização de um projeto é válida mesmo quando é a opção mais cara. Se possuir um valor sentimental para o indivíduo, como um carro antigo, ou possuir um valor para a sociedade, igual um patrimônio histórico. No caso da Ponte Hercílio Luz, por exemplo, gastou-se uma enorme quantidade de recursos e, segundo o Secretário de Estado da Infraestrutura e Mobilidade, Carlos Hassler, salientou que “[...] a restauração exigiu um empenho comparável ao de construir uma ponte do zero. Mais da metade das peças foram trocadas [...]”(ENGEPLUS, 2019).

Outra razão pode ser a mudança da consciência social de uma empresa. Esta pode perceber um processo fabril poluente ao meio ambiente ou uma máquina que utiliza muitos recursos energéticos, a qual precisa de um serviço de retrofit para modernizar seus meios de produção e seu chão de fábrica. Assim, economizaria recursos energéticos, diminuiria a emissão de carbono na atmosfera e deixaria ambientes de trabalho menos perigosos e insalubres para seus funcionários.

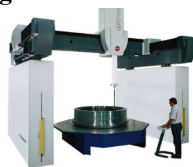
Trazer um equipamento fora de operação de volta às suas funções é uma tarefa custosa, pois envolve muitas horas de trabalho mental, a fim de buscar soluções que tornem economicamente viável a reinserção de partes velhas funcionais ou simplesmente a substituição por novas peças. Isso sem falar de horas gastas na montagem destes componentes, além de integração ou substituição de softwares antiquados que já não são mais utilizados.

De acordo com Kolla *et al.* (2022) existe uma estrutura generalista para seguir no processo de retrofitting. No início, deve-se definir o problema da empresa e que o equipamento não está mais apto para o tratamento dos dados. Partindo desse pressuposto, é preciso implementar uma solução que reduza os custos. Para isso, é necessário observar a máquina existente e descobrir se é possível torná-la inteligente, isto é, implementar um sistema de aquisição de dados por meio de sensoriamento de diferentes variáveis essenciais associadas ao processo. Após, a pesquisa a respeito de seu funcionamento, e de que parte é possível colher estes sinais. Por fim, é feita a escolha comercial do *hardware* e *software* que atende aos requisitos e a solução é montada, testada e validada pelo cliente.

2.2. Medição da Circularidade

A medição do desvio da circularidade pode ser apurada por várias máquinas de diferentes formas na indústria. Neste trabalho foi utilizado um circularímetro, que é uma máquina de medição de forma, mas também pode-se usar uma máquina de medição por coordenadas para chegar no mesmo resultado. Para entender os resultados obtidos no processo ao utilizar a Talyrond 252 é necessário saber quais os desvios de forma em questão, a sua notação e a maneira que estes dados são coletados.

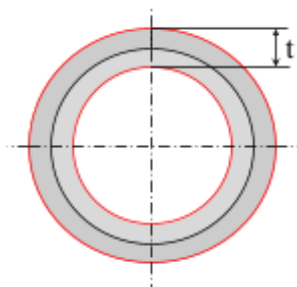
Uma máquina de medição por coordenada registra pontos dentro de um sistema de coordenadas utilizando, por exemplo, a Leitz PMM na figura 2. Os pontos salvos no programa são apresentados com características (x,y,z) e é possível registrar uma quantidade finita de pontos movendo-se ao redor da peça. Já em máquinas de medição de forma a superfície que é analisada e acompanhada para recriar sua geometria.

Figura 2 - Leitz PMM

Fonte: Hexagonmi (2022).

Segundo a ISO 1101 (2017), há uma nomenclatura para os desvios de forma que são os erros geométricos associados a medição de superfícies, assim como a simbologia utilizada para se referir a tolerância permitida desses termos. Para cilindros, a circularidade é aplicada na seção transversal perpendicular ao eixo longitudinal que passa pelo centro dele. É associada pelo símbolo $\bigcirc$ demonstrado na figura 3.

Dentre as tolerâncias geométricas, o erro de circularidade é a condição pela qual qualquer círculo deve variar na faixa definida entre o círculo mínimo e máximo dado por dois círculos concêntricos, distantes no valor da tolerância t de acordo com a ISO 1101 (2017) especificada na figura 3.

Figura 3 - Definição da zona de desvio da circularidade

Fonte: Elaboração própria (2022).

No quadro 1 estão presentes a simbologia das outras grandezas envolvidas na análise dos erros de forma.

Quadro 1 - Simbologia

(continua)

Características afetadas pelas tolerâncias e sua simbologia	
Retilinidade	—
Planeza	∇
Circularidade	$\bigcirc$
Cilindricidade	⌒

Quadro 1 - Simbologia

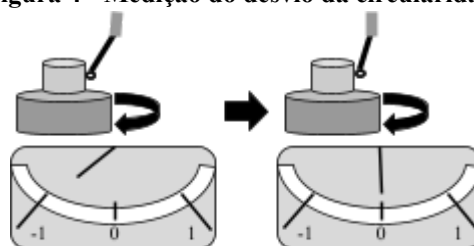
(conclusão)

Características afetadas pelas tolerâncias e sua simbologia	
Forma de uma linha	$\frown$
Forma de uma superfície	$\smile$
Paralelismo	$\backslash \backslash$
Perpendicularidade	$\perp$
Inclinação	$\angle$
Posição de um elemento	$\oplus$
Concentricidade	$\odot$
Simetria	$\div$
Batimento	$\nearrow$

Fonte: Adaptado de ISO 1101 (2017).

É necessário destacar a maneira com que os dados sensíveis são coletados pela máquina e detalhar o procedimento dessa medição. De função análoga a um paquímetro digital, a medição que é realizada pelo apalpador indica a distância a partir da circunferência padrão. Com base no erro apontado pela medição, pode-se inferir o desvio da circularidade.

Como é possível ver na figura 4, o apalpador é um relógio comparador que se encontra na posição -1, então aproxima-se da superfície da peça que oscila até chegar novamente à posição 0. A partir desse padrão é possível visualizar o seu desvio deste padrão na superfície, em que quanto mais o apalpador se afastar da posição 0 maior é o desvio da circularidade. Também é necessário colher o tempo por amostra, é preciso colher amostras em uma taxa que assegure o formato da onda.

Figura 4 - Medição do desvio da circularidade

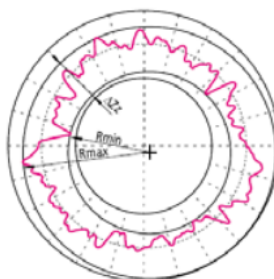
Fonte: Elaboração própria (2022).

Ainda na figura 4, tem-se a mesa giratória que possui um encoder responsável por medir o ângulo do giro no sentido horário. Com esta informação é possível associar cada medição do apalpador com um grau e construir um gráfico radial de pontos.

Após a fase de ajuste manual o usuário deixa a máquina pronta para a fase de coleta dos dados e posterior avaliação dos resultados. A apresentação deste ensaio completo pode ser analisada no Anexo A, que mostra mais informações, além do erro de circularidade e do plot do gráfico polar que são as informações essenciais para este trabalho. Como pode ser visto no Anexo A, o procedimento do ensaio utilizou uma outra máquina para fazer a medida longitudinal em 3 pontos do calibrador e em duas posições diferentes e depois foi medido o erro de circularidade no meio do calibrador o qual possui uma incerteza de $\pm 0,0010$ mm.

Como demonstrado abaixo na figura 5, é possível descrever um gráfico polar similar ao do ensaio no Anexo A em que a amplitude do sinal, que corresponde ao erro de circularidade, é associado ao ângulo medido em cada ponto da circunferência. Neste gráfico a linha vermelha representa o erro de circularidade no ponto, Segundo Sui e Zhang (2012) “o erro de circularidade presente está na faixa entre os dois círculos.”

Figura 5- Gráfico do desvio da circularidade



Fonte: Sui e Zhang (2012).

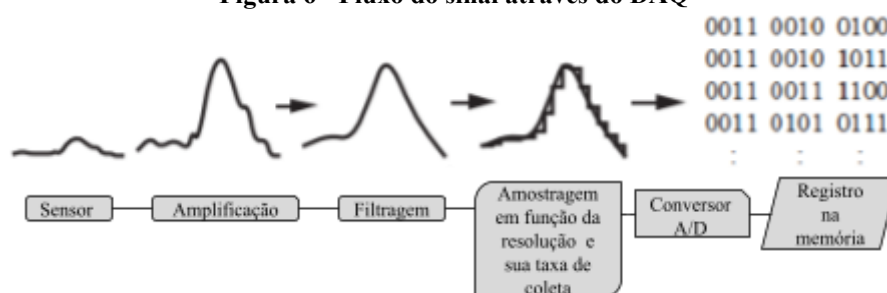
2.3. Aquisição e Tratamento de Dados

Um sistema de aquisição de dados (DAQ/DAS) é composto de uma placa eletrônica que por sua vez tem a capacidade de realizar sensoriamento de grandezas como da tensão, corrente, temperatura, torque e afins. Então, a partir da sua comunicação com um computador por meio de um *software* pode-se quantificar a ocorrência desses fenômenos dentro da precisão do equipamento. De acordo com a National Instruments (2022) “A precisão da medição é sem dúvida uma das considerações mais importantes no projeto de qualquer [aplicação no processo] de aquisição de dados.” Já que um processo de aquisição de

dados (DAQ) diz respeito à coleta de informações e tem por objetivo fazer análises da grandeza dos sinais e ao tratá-los obter resultados.

O processo segundo Alciatore e Histan (cap 8,p 342-369, 2012) no livro Introdução à Mecatrônica “[...] A ideia desse processo é atribuir um valor numérico discreto para o sinal em instantes de tempo.”. No intuito de exemplificar as principais técnicas de tratamento de dados, suas etapas e como transformar as grandezas obtidas. Elabora-se então o acompanhamento deste caminho desde o sensoriamento até o valor numérico discreto gerado no final como pode ser observado na figura 6.

Figura 6 - Fluxo do sinal através do DAQ

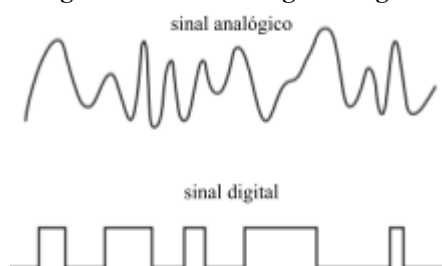


Fonte: Adaptado de Alciatore e Histan (2012).

O processo de mensurar e tratar dados começa com a colheita de um sinal a fim de monitorar um sistema. Para compreender isso é necessário entender seu tipo e o que é coletado: um analógico e o outro digital, respectivamente do apalpador e encoder, o que significa que será preciso de um conversor analógico para digital para um deles.

Sinais analógicos, como o demonstrado na figura 7, são contínuos e variam em função da amplitude e frequência, de maneira que qualquer valor pode ser mostrado. Pode-se trabalhar com três variáveis para analisar este tipo de sinal: amplitude, frequência e formato de onda, caso tenha uma forma conhecida.

Sinais digitais, como o demonstrado na figura 7, variam em função da amplitude e frequência, de maneira que na conversão para um valor discreto é atribuído 0 ou 1. A partir de um registro acima do threshold, o que é muito mais simples que sua contrapartida analógica. Geralmente conta-se o nível a partir da borda ascendente. Também pode-se trabalhar com três variáveis para analisar este tipo de sinal: amplitude, frequência e formato de onda, nesse caso uma onda quadrada.

Figura 7 - Sinal analógico e digital

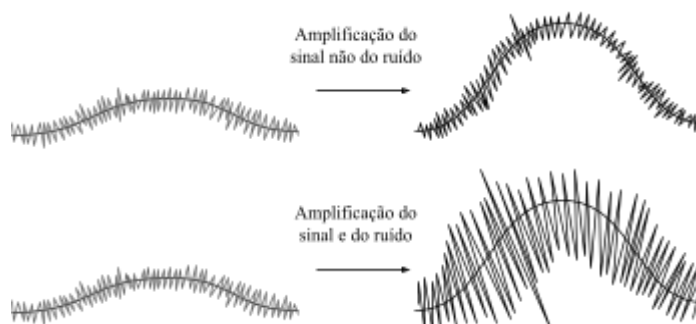
Fonte: Adaptado de Alciatore e Histan (2012).

2.3.1. Condicionamento de sinal

As etapas de condicionamento de sinal variam de acordo com as necessidades mas geralmente o sinal não se apresenta da forma ideal sendo muito pequeno, normalmente por causa da escala em milivolts ou com muito ruído devido a interferência eletromagnética, muitos desses problemas podem ser reduzidos e a informação do sinal desejado extraída através do apropriado condicionamento de sinal.(Alciatore e Histan,cap 4,p 161-181).

A mais simples e mais comum forma de condicionar um sinal é através da amplificação em que a magnitude da tensão do sinal é aumentada. Outras formas incluem a inversão, diferenciação, integração, adição, subtração e comparação do sinal.(Alciatore e Histan,cap 4,p 161-181).

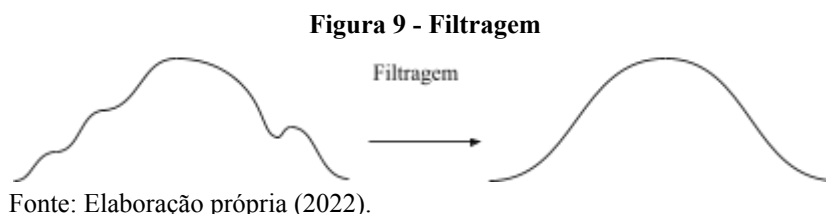
A amplificação é usada para alterar a baixa intensidade de um sinal, ao aumentar sua amplitude amplifica-se por inteiro, isso acaba também aumentando o ruído. “[...]Contudo, os amplificadores podem ser projetados intencionalmente para amplificar certas frequências, resultando em uma filtragem.”(Alciatore e Histan,cap 4,p 161-181). Como demonstrado na figura 8.

Figura 8 - Amplificação

Fonte: Elaboração própria (2022).

A filtragem deste sinal para retirada de outras ondas pode ser feita de diversas formas, como demonstrado na figura 9. A mais comum adiciona um filtro passa-baixa que

funciona de maneira que, a partir de um valor de frequência, outros sinais de maior frequência são barrados e isso passa a não interferir no resto da onda. Outro método amplamente utilizado é fazer uma operação de comparação de amostras no mesmo ponto sendo que sua média diminui este tipo de erro de medição.



2.3.2. Conversão de analógico para digital

Existem questionamentos importantes para se fazer quanto ao conversor analógico para digital (ADC), e para saber quais fatores influenciam nessa conversão é importante escolher de maneira adequada o sistema de aquisição de dados. Os fatores de consideração para uma boa conversão de um sinal analógico são a resolução do aparelho, a escala de alcance dele e a taxa de amostragem.

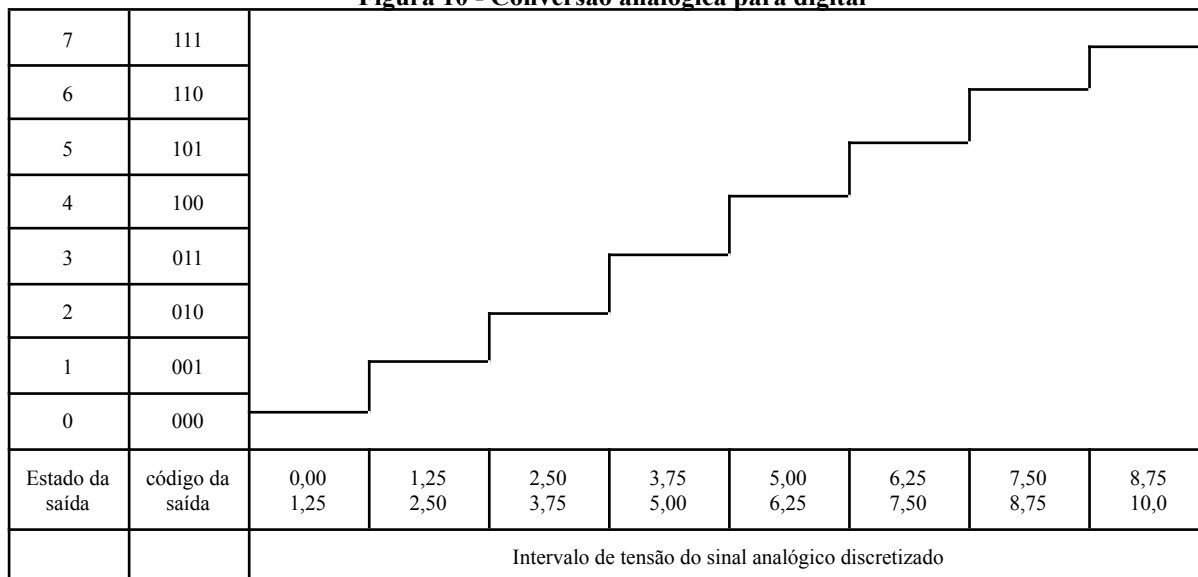
Quanto ao processo de quantização, segundo Alciatore e Histan (cap 8,p 342-369, 2012) “[...] é definido como a transformação de uma entrada analógica contínua em um conjunto de estados discretos de saída.”. É onde ocorre a divisão de bits em que cada estado corresponde a um intervalo de tensão analisado. Quanto mais bits de resolução houver, mais degraus tem esse sinal e maior é a qualidade. Depois é associado a cada estado um código digital que pode ser lido facilmente por equipamentos eletrônicos.

No que diz respeito à resolução do ADC, segundo Alciatore e Histan (cap 8,p 342-369, 2012) “[...] é o número de bits usado para aproximar digitalmente o valor analógico do input.”. Então quando um sistema de aquisição de dados em sua especificação tem uma resolução de 3 bits isso significa que o ADC possui um número de estados possíveis de 2 elevado na n sendo que n é o número de bits. Tem-se 2^3 ou 8 estados de saídas, portanto cada estado de saída carrega um intervalo da tensão transformada.

É preciso também notar que ao dividir a escala total pelo intervalo de tensão obtém-se o tamanho da quantização analógica, então de acordo com Alciatore e Histan (cap 8,p 342-369, 2012) “[...] a amplitude do sinal digital tem um erro máximo do tamanho da quantização analógica sendo assim o ADC só consegue transformar as amostras para valores

exatos dentro do intervalo de tensão.”. No exemplo onde ocorre a divisão de 10V por 8 estados tem-se um valor de 1,25. está presente na figura 10 a visualização deste caso.

Figura 10 - Conversão analógica para digital



Fonte: Adaptado de Alciatore e Histan (2012).

Dependendo do equipamento escolhido vai existir um alcance máximo, por exemplo, um alcance de 0 a 10 V. Então, para o sinal analisado ter uma boa resolução precisa que sua amplitude de sinal esteja compreendida dentro deste alcance. Ademais, deve-se utilizar grande parte deste alcance, pois no caso de uma entrada de 0 a 5v parte da resolução perde-se. Uma solução pode ser amplificar o sinal assim utilizando toda a sua amplitude. Também pode-se mudar a escala do equipamento por meio de software para chegar mais perto da amplitude do sinal analisado.

A taxa de amostragem do sinal é a frequência em que se colhe os dados de um sinal, a fim de capturar todas as suas características. É possível usar uma certa frequência maior que a do sinal original. Se a amostragem não for recolhida rápido o suficiente ocorre um efeito aliasing, quando os pontos colhidos não representam o formato da onda. Sob efeito do aliasing pode ser encontrada uma pseudo frequência que segundo Alciatore e Histan (cap 8,p 342-369, 2012) não apenas resulta em erros mas cria informação que não existe. De acordo com Alciatore e Histan (cap 8,p 342-369, 2012) o teorema de Shannon apresenta a mínima taxa de coleta que ainda pode manter toda a informação importante e afirma que é necessário que a taxa de amostragem seja duas vezes maior que a frequência da componente da entrada analógica.

A National Instruments é uma das principais fabricantes de sistemas de aquisição em todo o mundo com uma extensa linha de produtos para atender diferentes usos como, automotivo e industrial, disponibilidade de conexão com PC *express* ou até USB. Entre os seus produtos, o MyDAQ atende uma faixa de tensão maior e valores negativos de tensão, no caso -10 a 10V em seus inputs analógicos, com resolução de 12-bits. Arduinos, ESP, RasPi e afins aceitam uma faixa de 0 a 5V, além de que a resolução deles chegar em no máximo 10-bits, isso justifica a escolha de DAQ comercial para resolver as situações devido aos requisitos que não são atendidos pelas placas convencionais. O *software* recomendado para integração pela própria NI é o Labview. Utilizá-lo proporciona um desenvolvimento mais rápido já que possui instrumentação virtual nativa e também é uma ferramenta disponível à comunidade com tutoriais disponíveis na *web*.

Diante do exposto, para uma correta escolha de um sistema de aquisição de dados, é necessário saber de todos os aspectos mencionados, como também saber exatamente as características dos sensores que são fontes do sinal utilizado, que no caso deste trabalho são o apalpador e o encoder. É preciso ter certeza que o equipamento escolhido possui a resolução compatível com as necessidades do projeto, tem a capacidade de colher amostras rápido o suficiente para descrever as suas características, tem o alcance para medir a faixa de tensão estipulada e por fim, escolher o melhor software disponível para analisar estes dados colhidos.

3. METODOLOGIA

3.1. Abordagem

Foi feito o uso de artigos científicos, dissertações e outras monografias e trabalhos correlatos relacionados a aquisição de dados, funcionamento do ensaio de circularidade e desenvolvimento do mesmo. Além dos conhecimentos práticos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecatrônica a respeito de atualização e integração de máquinas.

Após a análise das referências bibliográficas e revisão de conhecimentos sobre a atuação da máquina, foram definidos os entregáveis do projeto que comprovam os resultados esperados, que é deixar a Talyrond 252 totalmente operacional e integrar com os ensaios e emissão dos resultados.

No entanto, "a bibliografia existente relacionada ao retrofitting deixa algumas lacunas. A maioria dos artigos científicos não apresenta na prática a implementação da metodologia proposta"(KOLLA et al., 2022). Sem um padrão para seguir foi adotado a maneira mais lógica de divisão do trabalho por etapas e resolução de problemas.

3.2. Etapas

A fase seguinte foi a avaliação da situação em que se encontrava a máquina. Por meio de um estudo do seu funcionamento foi possível garantir o funcionamento da parte de operação manual; ligar a mesa rotacional, ajustar o local do apalpador nos eixos X e Z por meio de um *joystick*, assim como observar a variação causada pelo apalpador no display analógico.

Foi possível identificar os principais componentes eletromecânicos e dividir as partes em subsistemas para ficar mais fácil de encontrar uma solução para as partes que não funcionam sem alterar o funcionamento das que já estão operacionais. Depois disso foi colhida a maior parte das informações visíveis por meio de fotos para identificar os modelos dos sensores.

Na próxima etapa foi analisado o tipo de sinal enviado pelo apalpador por meio de um osciloscópio e escolhido um *hardware* disponível no mercado que consiga fazer a aquisição deste sinal assim como o sinal do encoder. Junto ao *hardware* também foi escolhido um *software* que pudesse atuar ao mesmo tempo como um driver para o equipamento, uma

aplicação e interface para o usuário além de poder conectar a internet e mandar os resultados. O desenvolvimento desta aplicação foi elaborada de maneira experimental a fim de receber as informações de ângulo e desvio de circularidade para entregar ao usuário um gráfico radial da circunferência encontrada.

Por fim, "foi estabelecido uma arquitetura geral que pode ser usada para o retrofit da maioria [de máquinas similares]" (KOLLA et al., 2022). Com esta solução implementada na Talyrond 252 houve a discussão dos resultados obtidos em comparação com os objetivos estipulados no início do projeto, assim como o feedback da empresa da solução e ideias para outros trabalhos que expanda o campo desta pesquisa.

4. DESENVOLVIMENTO

O primeiro procedimento após a validação do projeto foi preparar um local dentro do IFSC para servir de base de operações. Com a chegada da Talyrond 252 já havia um espaço alocado dentro do LAM II para começar com a etapa de avaliação preliminar do circularímetro. Após a instalação do equipamento foi necessário avaliar seu funcionamento total, assim como avaliar as restrições de projeto e os requisitos para alcançá-lo. A partir disso, levantar as opções de implementação do *retrofitting* e definir a solução encontrada.

4.1. Avaliação da Talyrond 252

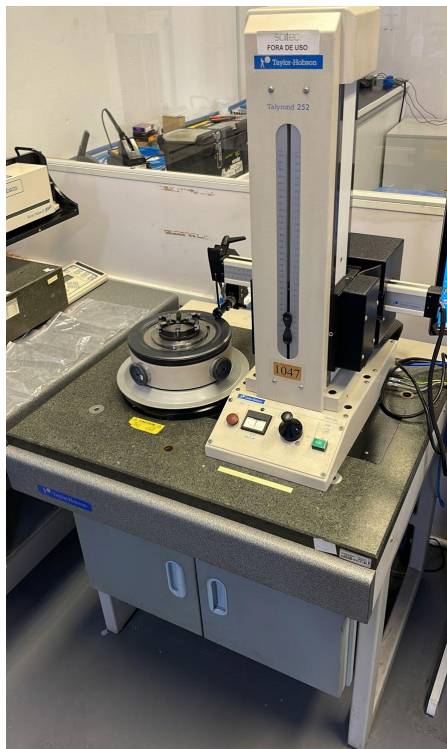
Em um primeiro momento após a instalação do equipamento foi necessário avaliar a integridade dos elementos mecânicos, detalhar a função de cada parte e definir os elementos que não estavam presentes para o seu funcionamento total. Além da descrição deles foi elaborado testes utilizando o osciloscópio para validar os sensores e outros métodos para analisar sua comunicação através de um *software*.

4.1.1. Avaliação dos Componentes Mecânicos e suas Funções

Os elementos que compõem a máquina podem ser divididos em diferentes aspectos. A Talyrond 252 possui um computador próprio (CP) que gerencia a coleta de dados, operação manual e possui conexão via interface serial para comunicação com outro computador. Este CP fica dentro do armário próprio da máquina e a ligação dos componentes passa por dentro da mesa de granito e se conecta nele. Ainda no armário está presente a placa de controle dos drivers dos motores. Em cima da mesa fica a parte responsável pela medição da forma sendo composta pela mesa rotacional, conjunto de movimentação do apalpador, painel de controle e placa de controle da lógica e nos próximos parágrafos segue a descrição destes elementos com mais detalhes.

Na visão geral da Talyrond 252 que pode ser observada na figura 11 pode-se observar alguns dos elementos descritos no parágrafo anterior e os outros estão ocultos devido ao local, seja dentro do armário ou da própria carenagem metálica.

Figura 11 - Talyrond 252 - Foto por inteiro



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Na figura 12 abaixo é possível observar a frente do CP que possui da esquerda para a direita: um botão verde de retenção que, ao se manter pressionado, liga a máquina e, ao seu lado, leds que indicam o status de operação do apalpador. É interessante salientar que existe um sistema de intertravamento que corta a movimentação do apalpador e giro da mesa em certos casos como quando o apalpador é movimentado a uma posição que excede sua escala. Quando isso acontece é preciso reinicia-lo através do botão verde.

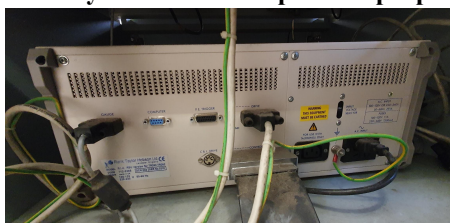
Figura 12 - Talyrond 252 - Computador Próprio - frente



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Pode-se observar na figura 13 na parte de trás do CP em que todas as conexões estão disponíveis. Para o funcionamento correto deve-se plugar os conectores da parte de “drive” que leva a placa de controle dos motores e “control” que leva a placa de controle de sua lógica de acionamento assim como o conector “gauge” que leva o sinal do apalpador. A entrada “computer” serve para a comunicação com um PC externo por meio de um plug DB9. Na parte da direita há seleção de tensão, entrada de fonte de alimentação e aterramento.

Figura 13 - Talyrond 252 - Computador próprio - atrás



Fonte: Elaboração própria (2022).

A placa de controle dos drivers dos motores pode ser vista na figura 14. seu local é de difícil acesso sendo preciso retirar alguns parafusos na parte posterior do armário dentro de uma caixa metálica. Também é importante complementar que devido a composição eletrônica da máquina, a qual é muito antiga e baseada em lógica combinacional e controle analógico que existe uma complexidade maior em integrá-los com novos elementos. Além disso, todos os circuitos e placas (incluindo os drivers), são de elaboração própria da fabricante, dificultando a sua integração.

Figura 14 - Talyrond 252 - Placa Driver



Fonte: Elaboração própria (2022).

A base é composta por uma mesa de granito, com ajustes, e um armário como é mostrado na figura 15. A mesa possui uma boa rigidez devido a sua estrutura de granito.

O armário possui o fundo aberto e abriga no seu interior o CP e a placa de drivers, além do conjunto máquina mais móvel requerer um espaço alocado de 76 por 76 cm de largura e 1,5 m de altura.

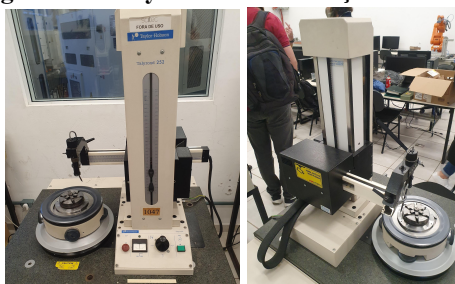
Figura 15 - Talyrond 252 - Armário



Fonte: Elaboração própria (2022).

Sob o móvel ficam os elementos responsáveis pela medição da forma, assim como mostra a figura 16. Pode-se ainda dividir esta parte em movimentação do apalpador, placa de controle, painel de controle e mesa rotacional.

Figura 16 - Talyrond 252 - Medição de forma



Fonte: Elaboração própria (2022).

A mesa rotacional, mostrada na figura 17, possui uma castanha com seis pontas para a fixação de cilindros que pode ser retirada para o caso de peças maiores. Ao girar o círculo cinza escuro exterior tem-se o aperto de peças maiores e a castanha possui um disco com ranhuras que faz a mesma função de aperto seja exterior a peça ou interior.

Figura 17 - Talyrond 252 - Mesa rotacional em foco



Fonte: Elaboração própria (2022).

O ajuste manual é feito usando os dois discos pretos e dois manípulos que dizem respeito à inclinação da mesa para que o eixo longitudinal seja coaxial ao cilindro, e ao batimento para que o cilindro não gire fora do seu centro. A rotação acontece apenas no sentido horário. Por baixo da mesa de granito possui uma redução no motor, protegida por uma carenagem de metal, que ocultam as partes mecânicas como a correia, acoplamentos de eixo e também um encoder marcado com um círculo vermelho na figura 18.

É importante acrescentar que por causa da carenagem metálica que recobre todo o motor assim como a redução do mesmo não é possível obter informações do mesmo. E como optou-se por não interferir na parte mecânica do equipamento para não comprometer seu

funcionamento total, não foi adicionado um controle do acionamento deste motor assim não sendo necessário especificá-lo neste trabalho. O encoder não está fixado diretamente sobre o eixo do motor e a sua contagem de pulsos não coincide com uma volta da mesa.

Figura 18 - Talyrond 252 - Redutor/Encoder em foco



Fonte: Elaboração própria (2022).

O sistema de movimentação do apalpador funciona de maneira manual em que o operador estipula um nível em Z para fazer a medição observando a escala milimétrica fixa na coluna a mostra na figura 19. Existem dois anteparos pretos que estipulam valores máximos e mínimos e se o cursor com a linha branca chegar em algum dos dois ocorre a interrupção da sua operação sendo necessário reiniciar o equipamento.

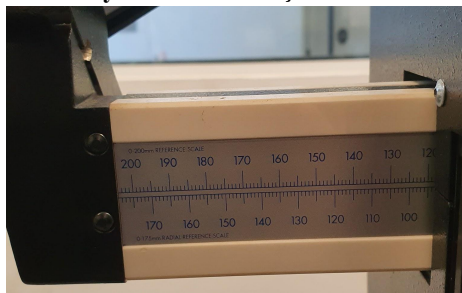
Figura 19 - Talyrond 252 - Coluna milimétrica em foco



Fonte: Elaboração própria (2022).

Em seguida, o usuário movimenta o braço no eixo x a fim de aproximar o apalpador da superfície do cilindro que pode ser visto na escala milimétrica fixa a ele como dá para perceber na figura 20. Entretanto, a partir desta escala não é possível determinar o diâmetro aproximado da peça sendo necessário medi-la de outra forma e adicionar este valor ao ensaio. Também a partir disso dizer que o tamanho máximo do cilindro que pode ser medido teria um diâmetro de 300mm.

Figura 20 - Talyrond 252 - Braço milimétrico em foco



Fonte: Elaboração própria (2022).

O apalpador, a mostra na figura 21, apresenta a possibilidade de fazer vários pequenos ajustes. Seja na posição de encontro com o cilindro no sentido vertical ou horizontal com angulação e em rotação no próprio eixo sendo que para medir o interior dele pode-se girar sua base em 180 graus. Pode-se alterar o ajuste fino do seu sensor além de poder retirar a ponteira para fora. Quando inclinada a superfície diminui-se a pressão na ponta.

Figura 21 - Talyrond 252 - Apalpador em foco



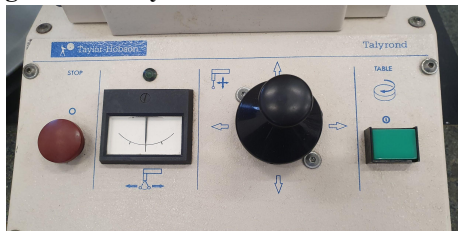
Fonte: Elaboração própria (2022).

O painel de controle do operador possibilita o acesso à manipulação do equipamento e, como demonstra a figura 22, da esquerda para direita, tem-se o botão de parada de emergência que quando acionado interrompe a operação da máquina e para voltar a utilizá-la deve-se girar o botão para destrava-lo e reiniciar o equipamento.

Em seguida tem-se o indicador do desvio da circularidade que por meio de um mostrador analógico sem escala mostra a variação do apalpador com um led verde em cima que indica que o apalpador está conectado. Ao lado tem-se o manipulador que opera o apalpador, em que move-se para cima e para baixo para o movimento da coluna no eixo Z e para a esquerda e direita no eixo X para mover o braço. O botão verde ativa a giro no sentido

horário da mesa rotacional. Na etapa de avaliação dos sensores foi retirada a tampa do painel para obter acesso aos seus componentes como o mostrador analógico.

Figura 22 - Talyrond 252 - Painel de controle



Fonte: Elaboração própria (2022).

A verificação de cada subsistema citado no subtópico anterior realizou-se e com isso foi possível chegar à conclusão de que toda a parte mecânica estava funcionando, além de todos os botões, leds, sensores e seu manipulador. A talyrond gira sua mesa sem problemas e dá para ajustar a movimentação do apalpador com relação aos eixos X e Z, além de poder verificar no mostrador analógico a sua oscilação.

No entanto, não é possível ter um acesso ao valor da medição já que o mostrador não apresenta números. A peça está dentro da tolerância quando o indicador no mostrador não ultrapassa os limites indicados nele, porém sem poder saber seu valor em algarismos. Como não possui um computador conectado a ela, também não se pode enviar dados coletados, nem existe condição para gerar um ensaio. É importante salientar também que o circularímetro não estava calibrado.

4.1.2. Avaliação dos Sensores

Diversos sensores trabalham em conjunto neste aparelho, porém, nem todas as funções da máquina são utilizadas. Assim, é necessário descrever quais são os sensores essenciais para a coleta dos dados críticos ao projeto, além de descrever o comportamento observado desse tipo de dado.

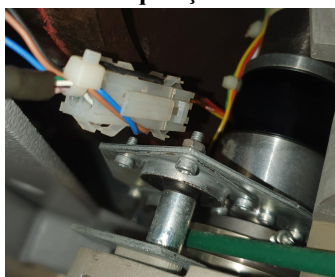
Utilizando as coordenadas polares é possível descrever uma circunferência pelo seu raio vezes seu ângulo. O sensor responsável pelo ângulo é o encoder da mesa giratória e o sensor responsável pelo raio é o apalpador. Como os dados necessários são esses o ensaio da circularidade tende a ter menos informações que o do Anexo A.

Com o auxílio de um osciloscópio efetuou-se a análise dos sinais em questão. Começando pelo sinal do encoder. Este sensor está posicionado junto a correia no sistema de

redução do motor que gira a mesa rotacional. Porém como não está instalado diretamente no eixo de rotação da mesa giratória, uma volta dela não coincide exatamente com o valor de uma volta registrado na contagem dado pela soma de pulsos do encoder devido a esta redução do motor sendo requisitado um ajuste descrito abaixo.

Sem a informação da redução utilizada foi encontrado o datasheet de um modelo similar ao sensor em que ao contar o valor de 4000 pulsos marca uma volta e usando um cronômetro foi medido a duração de uma volta da mesa rotacional em aproximadamente 10 segundos assim foi feito uma relação entre o valor de uma volta do encoder com o da mesa. Para fazer a medição foi necessário instalar dois fios no plug do encoder, como pode ser observado na figura 23.

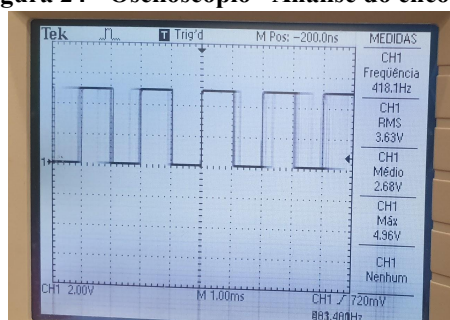
Figura 23 - Local de aquisição dos dados - Encoder



Fonte: Elaboração própria (2022).

Em seguida foi possível observar o comportamento da onda pelo osciloscópio representado na figura 24. Nele é possível notar o formato quadrado dessa onda assim como sua tensão máxima de 4,96V. Sendo possível contar seus pulsos que por volta de 4040 contam uma volta da mesa rotacional.

Figura 24 - Osciloscópio - Análise do encoder

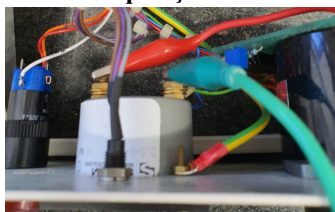


Fonte: Elaboração Própria (2022).

As características desse sinal permitem fazer a conexão por meio da entrada digital do sistema de aquisição de dados já que é um sinal de próximo a 5V e por meio do tratamento dele é possível chegar na informação essencial com o propósito de associar cada ponto da amostragem com um grau.

O outro sinal analisado é o do apalpador que indica a amplitude do erro de circularidade. O local de coleta desse sinal deu-se a partir do display indicador presente no painel de controle. A montagem de fios de banana-jacaré pode ser vista na figura 25.

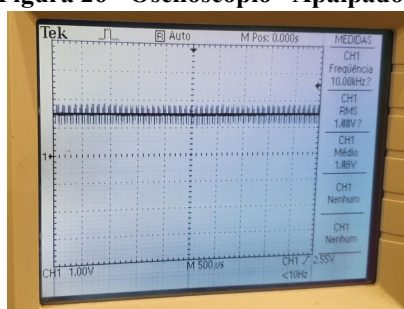
Figura 25 - Local de aquisição dos dados - Apalpador



Fonte: Elaboração própria (2022).

O mostrador analógico presente no painel de controle possui a escala central com três marcas em sua escala que representa a faixa de medição usual da máquina. O osciloscópio, presente na figura 26, capturou a natureza analógica do sinal em duas situações na escala total e na escala central que varia respectivamente de ± 3 Volts e de -1,3 a +1,7 Volts dentro do espaço compreendido entre os dois marcadores equidistantes do mostrador e com uma frequência de 10kHz.

Figura 26 - Osciloscópio - Apalpador.



Fonte: Elaboração própria (2022).

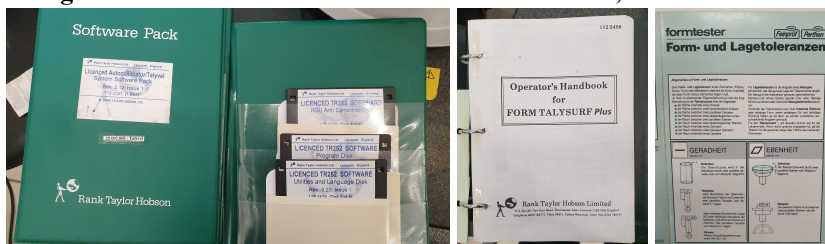
Todas as características colhidas a partir deste teste são importantíssimas para a escolha adequada de um sistema de aquisição de dados. Como foi abordado no referencial teórico é necessário escolher um equipamento que tenha uma resolução que suporte este intervalo da tensão possa adicionar um ganho no sinal e que consiga registrar um número de amostras que descreva o comportamento do sinal.

4.1.3. Avaliação da Comunicação e Software

Junto à entrega do equipamento foi também entregue um manual do operador por escrito, quatro disquetes contendo o *software* e licença dele e um folder com descrições e especificações dos erros de forma, que estão presentes na figura 27. Contudo, o formato de disquete dificultou sua instalação, o manual é sobre a máquina Talysurf que não funciona de

maneira análoga a Talyrond e o folder está escrito em alemão o que dificultou sua leitura. Todavia, mesmo com essas dificuldades foi possível ter algum proveito deste material já que utilizando o *software* Google Lens o folder foi traduzido e também utilizando um processo descrito nessa seção obteve-se acesso aos conteúdos do seu programa e após isso foi explorada uma maneira de estabelecer uma comunicação entre esse *software* e a Talyrond.

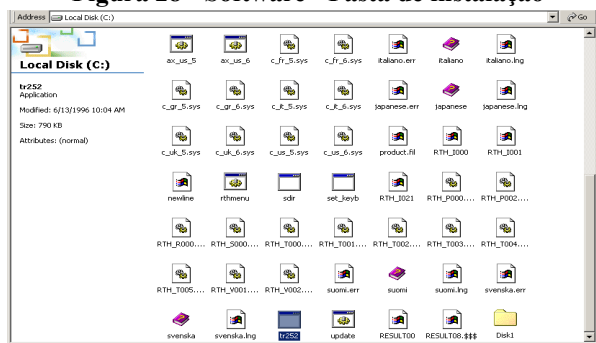
Figura 27 - Material adicional - Pacote do software, manual e folder



Fonte: Elaboração própria (2022).

Como descrito anteriormente o software veio junto por meio de 4 disquetes. Com a ajuda de um leitor de disquetes providenciado pelo IFSC foi possível extrair esses arquivos porém devido a arquitetura de 64 bits dos computadores atuais não deu para efetuar sua instalação. A solução encontrada foi utilizar um sistema operacional mais antigo de 32 bits que pudesse executar este programa via MS-DOS. Utilizando o programa Virtualbox foi criado uma máquina virtual do windows 2000 e assim foi instalado esses arquivos na raiz do computador virtual como pode ser observado na figura 28. Também houve a tentativa de contato com a empresa por meio do email da mesma, mas não foi obtida resposta.

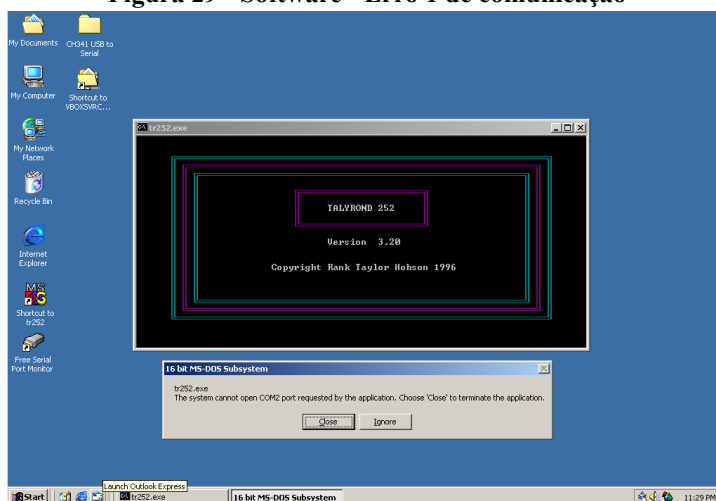
Figura 28 - Software - Pasta de instalação



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na fase de execução do programa. É possível observar 3 erros a respeito da comunicação. Na figura 29 o erro encontrado dá a entender que não foi conectada uma porta serial a VM de acordo com a mensagem exibida.

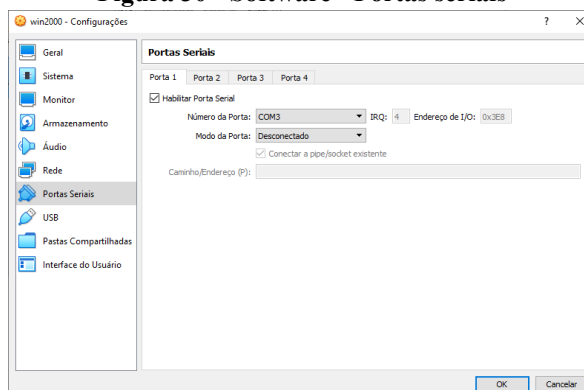
Figura 29 - Software - Erro 1 de comunicação



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para adicionar a porta serial foi necessário habilitar a configuração dentro do Virtual box que pode ser observado na figura 30.

Figura 30 - Software - Portas seriais



Fonte: Elaboração própria (2022).

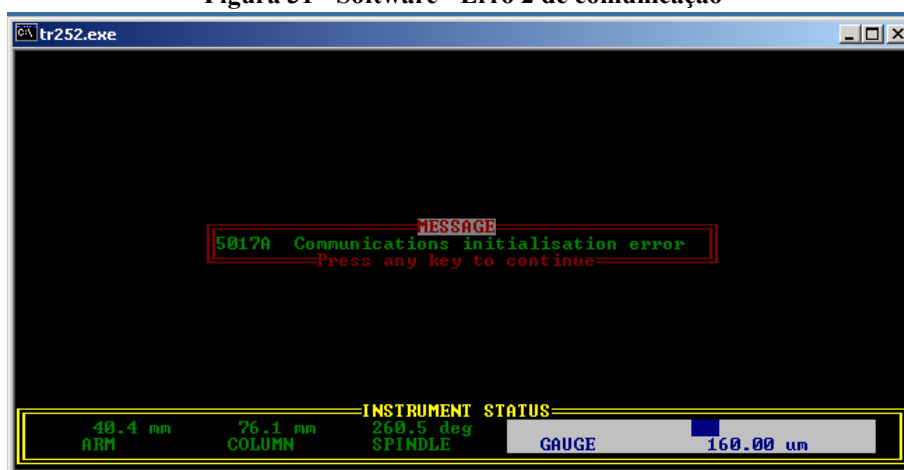
Foi utilizado um adaptador de entrada serial, que transforma o protocolo de comunicação RS232 para USB. Nota-se que a proposição deste protocolo deu-se pela disposição do Plug DB9 pinos presente na saída “computer” do CP.

O plug de comunicação com o computador possui 4 pinos nas posições 3, 4, 8 e 9. Não tem como inferir que comunicação é utilizada, poderia ser RS232 como RS485 ou até mesmo uma comunicação própria criada pela empresa para atender apenas este modelo e não dá para saber que pino carrega qual informação já que eles podem não respeitar a pinagem padrão de um protocolo. Também não é possível dizer que características o sinal possui já que a máquina possui uma relação de escravo com o PC então por si mesma não é enviado um sinal a todo momento que poderia ser captado por um osciloscópio, apenas quando o CP

recebe uma solicitação ele envia uma resposta sendo necessário montar o sistema inteiro e fazer o *Sniffing* dessa conversa.

O próximo erro encontrado pode ser visto na figura 31 em que uma mensagem de alerta sobre o processo de inicialização da comunicação da máquina que não pode ser concluída. Então para resolver este problema é necessário que seja conectado os fios do PC para o CP assim é enviado pelo PC a requisição para estabelecer a comunicação entre eles.

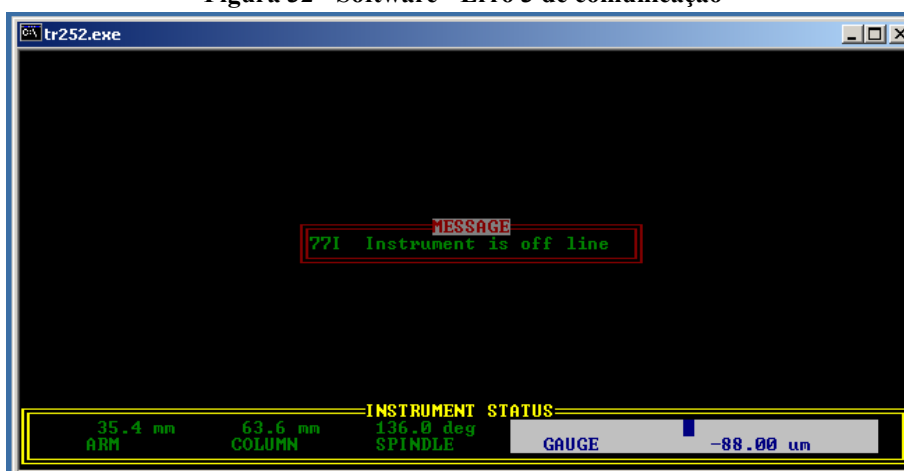
Figura 31 - Software - Erro 2 de comunicação



Fonte: Elaboração própria (2022).

Quando a requisição recebida pelo CP não é respondida aparece esta última mensagem atestando que a comunicação não foi estabelecida e o instrumento está *off-line* como pode ser observado na figura 32. Não foi possível resolver esse problema e também a causa certa não foi encontrada para poder seguir com esta abordagem invalidando assim a possível utilização do mesmo para a comunicação.

Figura 32 - Software - Erro 3 de comunicação

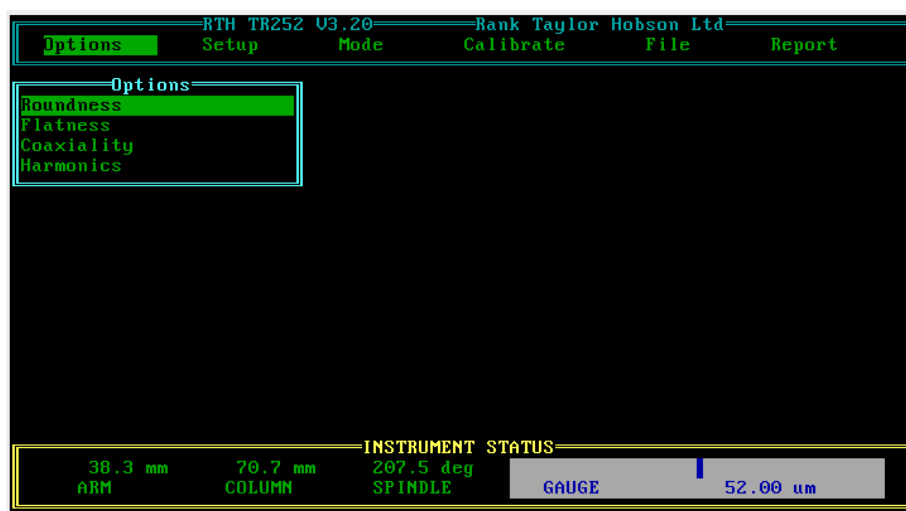


Fonte: Elaboração própria (2022).

As informações contidas no *software* da Talyrond por sua vez trouxeram clareza quanto a quantidade de recursos disponíveis e também em relação aos seus próprios ajustes dentro dos testes da circularidade efetuados. Seja na aba de configurações em que se modifica parâmetros como da comunicação serial, assim como na aba de calibração dos seus sensores e por fim na impressão deste ensaio.

A tela principal, representada na figura 33, tem a mostra na parte inferior o status em tempo real do sensoriamento, sendo que da esquerda para direita tem-se o deslocamento em X do braço e também em Z da altura. Em seguida o ângulo da mesa rotacional e o mostrador da variação registrada no apalpador que varia em $\pm 0,5\text{mm}$. No menu superior tem-se as funções do programa e na aba “options” pode ser gerado o ensaio de circularidade, planeza, coaxialidade e o plot do harmônico da oscilação.

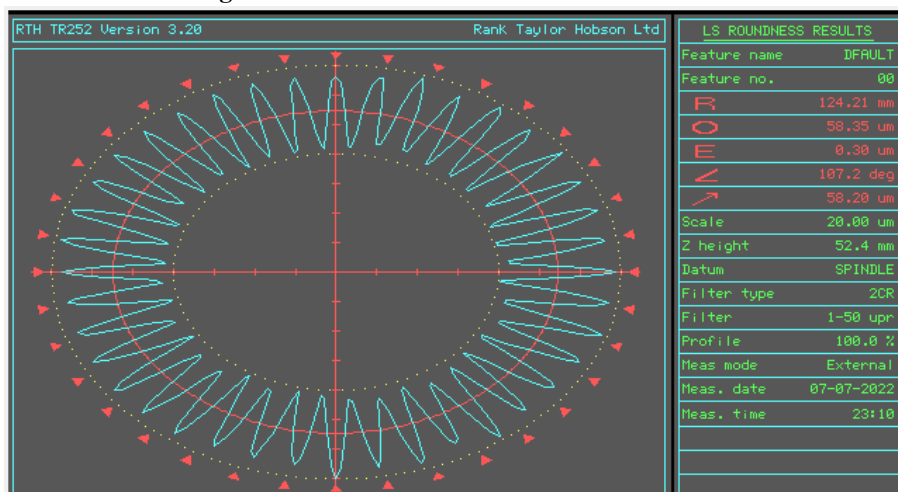
Figura 33 - Software - Tela principal



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na geração do ensaio de circularidade, que pode ser visto na figura 34, nota-se a similaridade com o relatório presente no anexo A. Nos dois casos tem-se o plot do gráfico radial do erro de circularidade assim como uma lista dos resultados com mais detalhes a respeito de várias propriedades. Vale salientar as informações mais importantes como o raio, erro de circularidade, tolerância de erro da máquina quanto ao ângulo referente ao eixo longitudinal do cilindro e ao batimento.

Figura 34 - Software - Ensaio de circularidade

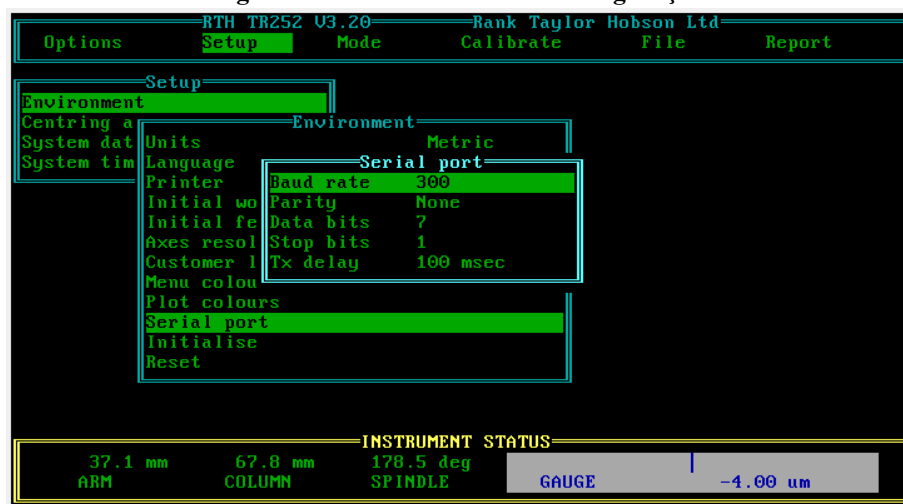


Fonte: Elaboração própria (2022).

Dentro das configurações é possível modificar vários parâmetros como a linguagem, cores, customização do relatório e da comunicação com a porta serial como pode ser visto na figura 35. Em que pode-se alterar *baud rate*, paridade, quantidade de *bits* e *delay* tx.

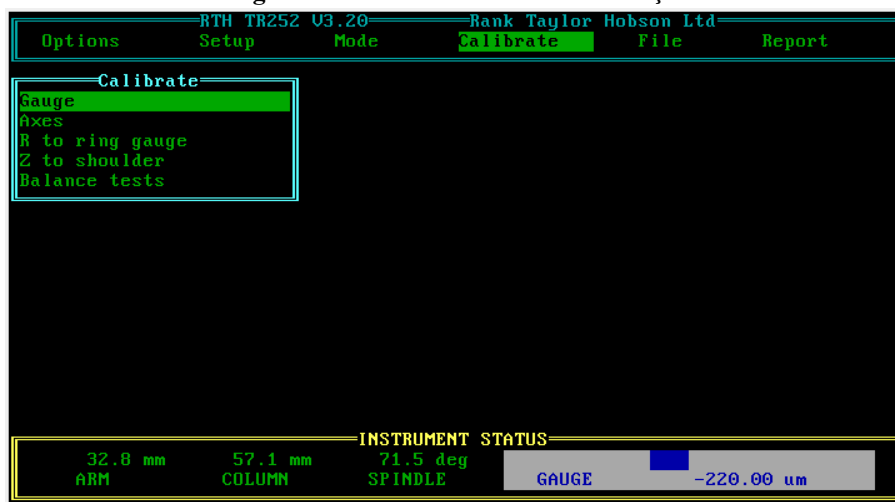
Dentro da aba de calibração, na figura 36, existe também uma forma de calibrar o apalpador, eixos X e um teste de equilíbrio. Não foi possível calibrar o equipamento já que não houve conexão, porém foi elaborado um teste no apalpador utilizando um cilindro padrão com suas dimensões conhecidas.

Figura 35 - Software - Tela de configurações



Fonte: Elaboração própria (2022).

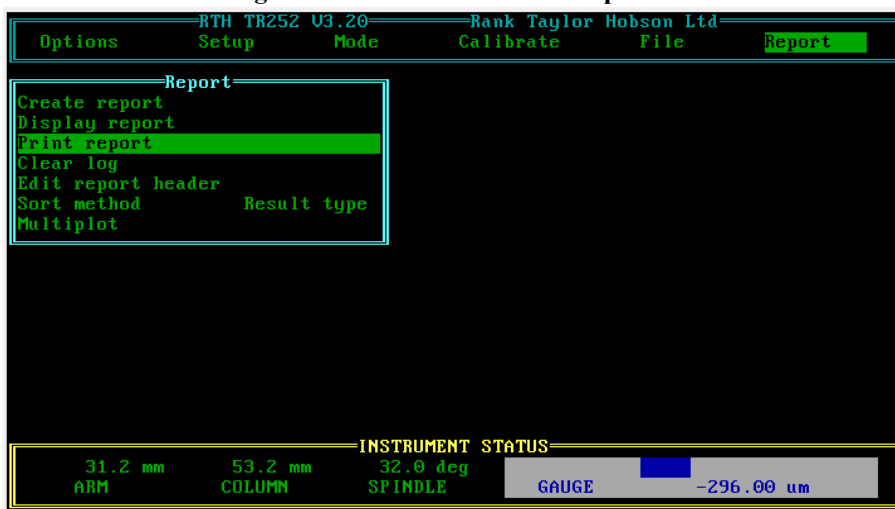
Figura 36 - Software - Tela de calibração



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na tela de “report”, demonstrada na figura 37, além de alterar algumas características, pode-se fazer a impressão dos resultados obtidos pelos ensaios de maneira que um documento de texto é gerado similar ao do Anexo A.

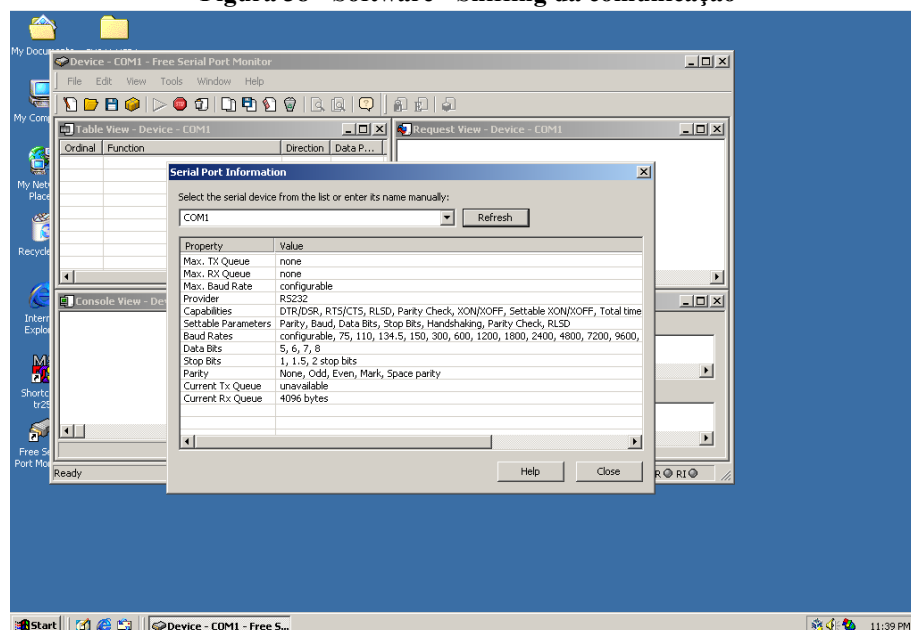
Figura 37 - Software - Tela de impressão



Fonte: Elaboração própria (2022).

A fim de monitorar a comunicação entre a VM e o circularímetro foi instalado um programa gratuito chamado Free serial port monitor. Com ele foi possível validar a montagem e garantir que o adaptador serial estava devidamente conectado e reconhecido pela VM. Contudo, não foi observado trocas de informação por meio dessa via, mesmo fazendo vários testes em que a máquina era ligada e desligada, pois esse é o momento de envio da requisição, como também foram alterados parâmetros de *baud rate*, *bits* significativos e paridade que foram encontrados dentro do *software* na figura 38, todos sem sucesso.

Figura 38 - Software - Sniffing da comunicação



Fonte: Elaboração própria (2022).

Já que infelizmente uma comunicação da *Virtual Machine* com a Talyrond 252 não aconteceu, pelo menos com as informações pertinentes encontradas no *software*, concluiu-se as principais funções no programa, suas principais telas e características de calibração e características do sinal enviado como *baud rate* e quantidade de *bits*.

4.2. Avaliação dos Requisitos e Restrições

Para a definição da melhor escolha disponível no mercado com relação a aquisição de dados foi necessário levar em consideração os requisitos mínimos para uma boa representação do sinal e apresentação dos resultados esperados pela Scitec. Além disso, outros fatores restringem as soluções possíveis como o tempo para desenvolvê-lo e seu custo.

As características que devem ser respeitadas são o intervalo de tensão encontrado na escala central ao analisar o sinal do apalpador de -1,3 e +1,7 Volts. A resolução necessária para identificá-lo e também a taxa de amostragem dos dados. Como adicional a solução também precisa além de pelo menos uma entrada analógica receber uma entrada digital e possuir uma relativa facilidade em conectá-lo a computadores e fazer sua programação.

Para estipular a mínima resolução necessária para esse sistema foram obtidas algumas informações. A partir da escala presente no *software* próprio da Talyrond tem-se que

a variação é de 2mm e também no Anexo A pode-se observar que a incerteza da máquina é de 0,001 mm então esse é um nível aceitável para homologação do resultado. A partir disso é possível concluir que a partir de 2000 intervalos de tensão a conversão se torna apropriada para descrever o sinal. Como descrito em 2.3.2. se o número de intervalos é igual a dois elevado ao número de *bits* então quando houver 2048 intervalos ou seja um sistema com resolução de 11 *bits* esse é o mínimo que é preciso para a conversão do sinal.

Quanto à taxa de amostragem mínima tem-se a informação sua frequência de 10kHz sendo que segundo o teorema de Shannon o dobro disso evitaria efeitos de *aliasing* no entanto, não é preciso copiar o formato do sinal em questão apenas a exatidão do ponto. Para fazer isso retira-se possíveis leituras de pico ao fazer a média de 100 amostras colhidas nesse intervalo de tempo e o resultado tem uma diminuição do erro sendo assim 100 amostras colhidas num intervalo de 20kHz representam a condição mínima.

Com relação às funcionalidades que devem ser contempladas neste retrofit para atender as expectativas da Scitec foi estipulado no início do projeto que as funções de geração do ensaio de circularidade com o valor de erro e seu gráfico polar seria o objetivo deste trabalho. Em detalhes, caso fosse possível obter o mesmo patamar de precisão de sua antiga operação seria muito bom. Contudo para isso seria necessário uma calibração da máquina e mesmo assim não pode-se garantir a repetibilidade destas medidas. Então o foco foi garantir que pelo menos na teoria poderia-se alcançar essa tolerância na medição.

Na segunda parte é a exportação deste resultado já que o problema atual é que não dá para extrair as informações adquiridas pela máquina. Sendo assim o outro requisito é a geração de um documento que contenha os resultados e que possa ser facilmente compartilhado na internet, dessa forma o técnico responsável pode conferir o resultado e depois anexá-lo aos outros processos e enviar para o seu supervisor.

Também no início do projeto foi estipulado um valor de dois mil reais de orçamento para implementar a solução. A proposta tem em vista os microcontroladores disponíveis no mercado que infelizmente não possuem uma resolução boa o suficiente para atender aos requisitos já citados. Então deve-se levar em consideração uma faixa de preço maior de pelo menos dois mil a seis mil reais para encontrar uma solução adequada.

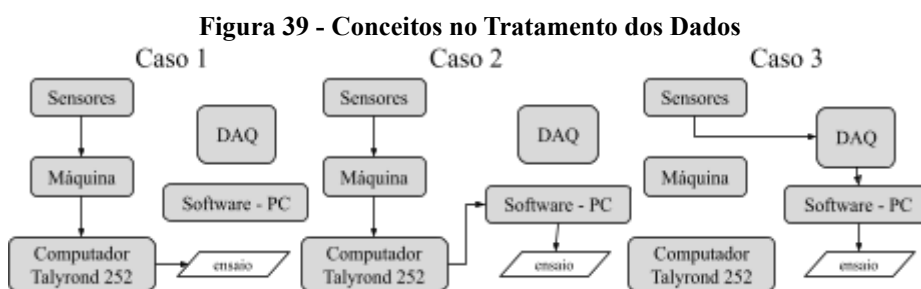
O período para execução do trabalho de quatro meses é curto sendo assim o tempo para desenvolvê-lo também foi uma restrição, isso ocorreu devido a diversos fatores

como o semestre reduzido por consequência da pandemia. Também relacionada às horas dedicadas à pesquisa, programação e montagem para respeitar o prazo de entrega dele que aumenta sua dificuldade. Para apresentar o circularímetro em operação foi necessário estipular um cronograma bem enxuto que deixa pouco espaço para erros e atrasos ou adição de mais funções interessantes e ajustes finos de acabamento. Vale ressaltar que esse é o principal motivo para a escolha de um sistema com acesso disponível no IFSC que tivesse facilidade de instalação e integração com as plataformas usadas e que pudesse ser testado rapidamente para agilizar o processo de implementação.

4.3. Levantamento Conceitual do *Retrofitting*

Pode-se concluir que os requisitos e restrições abordados interferem na solução comercial para aplicação do *retrofitting* então é preciso fazer um levantamento conceitual das possíveis opções disponíveis. Para encontrar um equilíbrio entre os cenários construídos seja utilizando o *software* da Talyrond, fazendo a engenharia reversa do protocolo de comunicação e implementando isso em outro *software*. Como também ao realizar a medição direta do apalpador e encoder através de uma placa de aquisição de dados e depois apresentar os prós e contras de cada um dos conceitos.

A coleta e tratamento do sinal desses sensores já é tratada pelo computador embarcado da Talyrond 252 sendo que os dados são enviados a um computador que faz a análise e apresentação do erro por meio de um *software* próprio e ainda pode exportar o resultado do ensaio em documento de texto. Então, foram elaborados alguns conceitos a respeito do que poderia ser reaproveitado da máquina, onde foram desenhados 3 casos distintos para o problema, cada caso dependendo dos recursos disponíveis, apresentados na figura 39.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Caso 1: envolve a utilização total do circularímetro sendo adicionado no final do processo uma forma de extrair as informações geradas a partir do seu próprio *software*. O relatório do ensaio emitido pelo *software* da Talyrond em PDF é transmitido para a nuvem por meio de um *software* elaborado pelo autor. A resolução feita dessa forma diminuiria a complexidade do processo de implementação do *retrofit* porém é preciso que o *software* da Talyrond funcione totalmente e que ele se comunique com o CP da Talyrond. Isso negativamente deixaria a solução mais específica sendo que outra máquina poderia não ter tanto aproveitamento de suas antigas funções sendo necessário usar outro procedimento para alcançar um resultado parecido mas facilitaria a geração do resultado e no caso do êxito de sua implementação diminui-se o período de desenvolvimento do projeto.

Caso 2: adquirir todas as informações da máquina realizando uma engenharia reversa do protocolo de comunicação entre o computador e o CP da máquina, assim poderia-se receber diretamente os dados da máquina via saída denominada “computer”. No passo seguinte cria-se um *software* que processa a informação, apresenta o resultado para o usuário e pode exportá-lo. Para implementar essa ideia é preciso estabelecer a conexão via *software* entre o computador e o CP da Talyrond e também ao invés do tratamento do sinal analógico é preciso decodificar a informação digital enviada para identificação das variáveis. Isso positivamente tornaria a solução mais barata e facilitaria sua adição porém exige um longo período de desenvolvimento do programa.

Caso 3: solução fora dos processos da máquina de maneira independente, colhe apenas os dados dos sensores e possui toda a parte de tratamento do sinal recebido. Além disso, é necessário montar no *software* a transformação do que foi recebido para gerar o relato e a interface de acesso ao usuário, assim como a exportação do ensaio. Esta última solução apresenta a maior autonomia sendo que funciona fora da especificidade da Talyrond. Neste caso, quem faz o acionamento do motor é o operador por meio do painel de controle da máquina e quando ela estiver em funcionamento o operador pode dar início ao processo de medição no *software*.

O desenvolvimento do *software* tem sua complexidade aumentada, assim como a quantidade de trabalho necessário de ajuste fino das tolerâncias, mas a chance de sucesso de sua implantação é muito maior.

A pesquisa para saber qual das 3 opções é mais viável envolve saber se é possível utilizar a comunicação da Talyrond e seu *software* próprio. Como foi concluído na seção 4.1.3

não foi possível estabelecer essa comunicação e, por este mesmo motivo, não é possível realizar a engenharia reversa deste protocolo. Portanto, partiu-se ao terceiro caso.

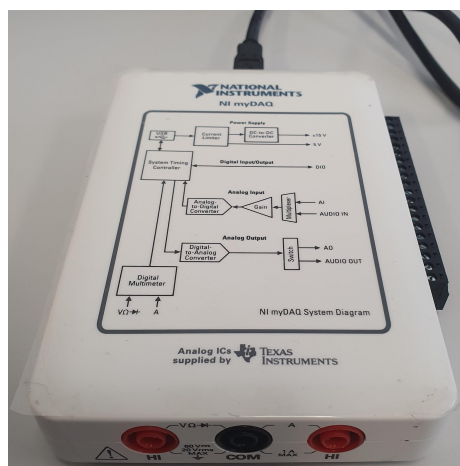
A implementação de um sistema independente do Caso 3 precisa de um sistema de aquisição de dados. Pode-se utilizar para este fim, na maioria dos casos, conversores A/D de sistemas embarcados com microcontroladores de baixo custo, porém, seu uso neste caso tornaria o processo mais complicado já que o sinal adquirido possui uma escala negativa variando em ± 3 Volts, sendo necessário desenvolver um circuito externo para resolver este problema. Além do ponto já comentado da resolução deste tipo de equipamento ser menor quando comparada a sistemas comerciais de aquisição como os da NI.

Ao utilizar uma placa da NI torna-se mais viável alcançar o resultado esperado pois com uma resolução de 16-bits tem-se uma precisão maior na conversão do sinal analógico além de que os aparelhos aceitam uma escala negativa de tensão. A instrumentação virtual do Labview também permite uma experimentação acelerada que diminui o tempo de desenvolvimento e a integração da placa por meio do assistente DAQ é fácil e rápida. Para atender a restrição de tempo de conclusão do projeto esta é a melhor solução. Uma solução deste tipo, todavia, tem um custo elevado, o que excederia as restrições do projeto, mas a empresa em questão já possui uma placa da NI.

4.4. Implementação de *Hardware* e *Software* do Sistema

A solução escolhida foi o MyDAQ da NI, presente na figura 40, que possui as especificações descritas no quadro 2 que superam as especificações mínimas. Como o acesso a placa foi facilitado pelo IFSC, houve a disponibilidade de fazer sua montagem e trabalhar na aplicação do *software* e do sensoramento de uma maneira mais ágil. Assim, foi estipulada a resolução da sua medição, elaborando uma correlação entre a variação do erro em milímetros e a tensão e por fim foi realizada a montagem definitiva com a ligação dos sensores no sistema de aquisição de dados. É importante também detalhar que foi utilizado um pré escaler para ajustar a escala de alcance do equipamento para o intervalo encontrado.

Figura 40 - MyDAQ da NI



Fonte: Elaboração própria (2022).

Quadro 2 - Especificações do MyDAQ

Especificações do MyDAQ	
Input Analógicos	
Número de canais	2 ou 1 input de áudio stereo
Escala do Alcance	-10 a 10V
Resolução do ADC	16 bits
Máxima taxa de amostragem	200 kHz
Input Digital	
Número de linhas	8 enumeradas de 0 a 7
Nível lógico	5V

Fonte: Adaptado da NI (2022)

Para uma estipulação da resolução dimensional da medição efetuada é necessário estipular a variação de tensão por milímetros. O método utilizado para esta medida foi fixar um micrômetro na mesa rotacional, isso pode ser observado na figura 42. A partir do meio da escala central do mostrador analógico varia-se o micrômetro para $\pm 0,5$ mm que por sua vez varia na faixa de -1,3 a +1,7 Volts. Esta técnica se caracteriza por uma calibração¹ indireta por comparação. O procedimento foi variar o micrômetro em intervalos de 0,1 mm na escala central do mostrador analógico e com isso pode-se chegar a uma relação de que no intervalo entre -1,3 e 1,7 Volts a cada 0,33 milímetros para cada Volt como pode ser notado no valor de inclinação da reta na figura 42. Pode-se complementar que o valor negativo deste valor

¹ O escopo deste trabalho não visa calibrar o sistema, portanto não é apresentada a análise de incertezas, nem é gerado algo como um relatório de calibração.

presente no gráfico ocorreu pela inversão de valores negativos e positivos já que a medição foi feita com o apalpador rotacionado em 180 graus.

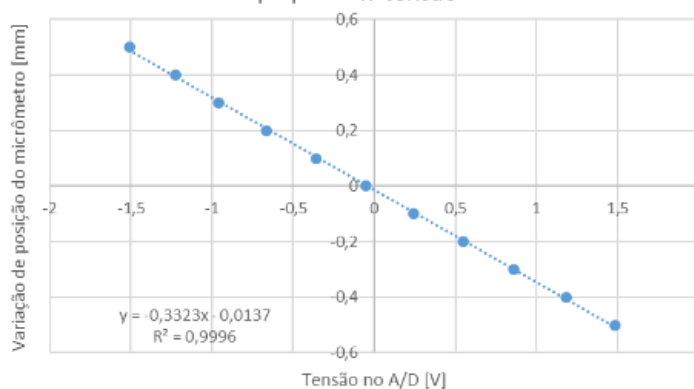
Figura 41 - Montagem - Micrômetro



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 42 - Gráfico variação de posição por tensão

Relação entre variação de posição no
apalpador x tensão

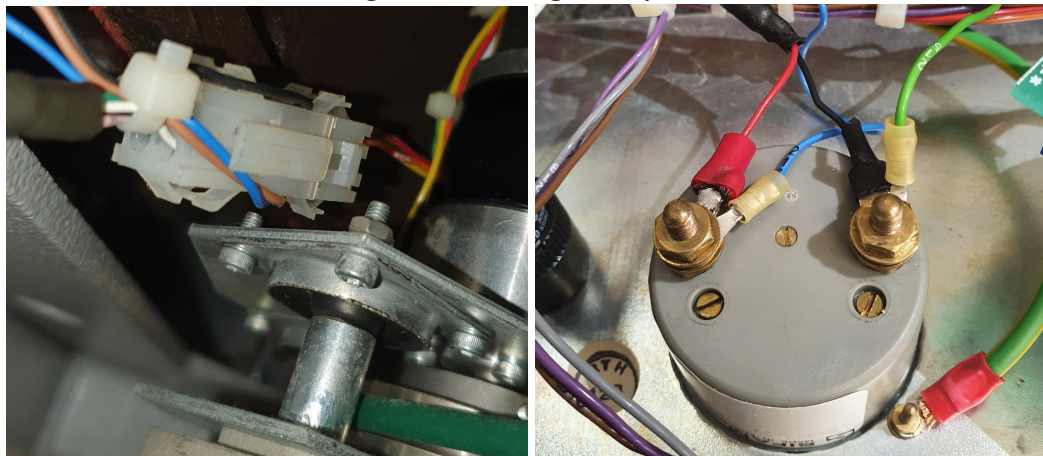


Fonte: Elaboração própria (2022)

Logo após foi feita a montagem definitiva, a qual foi realizada nos mesmos locais descritos no subtópico 4.3 conforme a figura 43. É descrita a ligação entre os sensores e a solução. A partir da conexão de input analógico -0 e +0 saem dois fios que são conectados ao display mostrador da variação no apalpador e da ligação de input digital sai um fio que conecta no encoder e volta dele para conectar no GND da placa descrito na figura 44. É

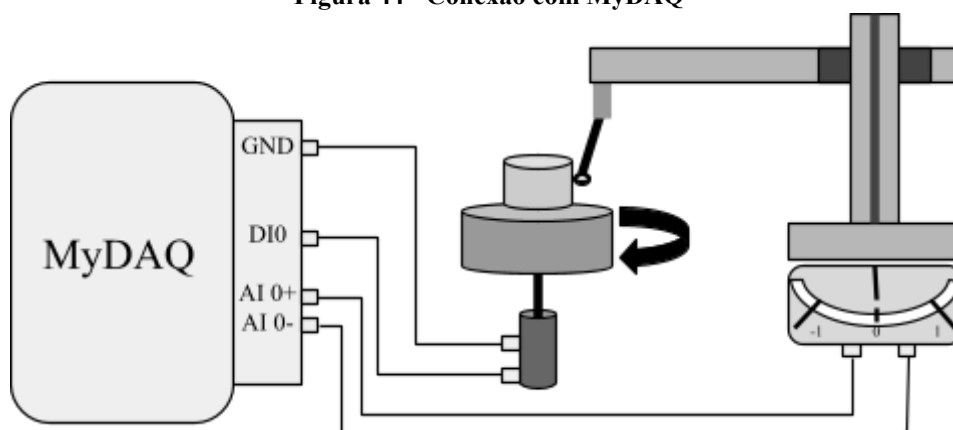
importante também descrever o local de implementação do MyDAQ que ficou em um lugar que possibilita sua fácil retirada já que ele deve estar razoavelmente perto de um PC para a sua utilização plena.

Figura 43 - Montagem - MyDAQ



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 44 - Conexão com MyDAQ



Fonte: Elaboração própria (2022).

Antes de seguir com a implementação do *software* é necessário descrever a vantagem da integração da placa MyDAQ com o Labview por meio da instrumentação virtual que, segundo Altiore e Histan, “consiste de um PC equipado com uma placa DAQ e um *software* que funciona como instrumentos reais tipo osciloscópios e geradores de onda mas eles podem ser muito caros e às vezes limitantes [...]” (p. 342-369, 2012). Por isso uma plataforma como essa que em sua versão comunitária permite o desenvolver e experimentar gratuitamente suas funções aumenta a produtividade e diminui o tempo de desenvolvimento.

A respeito da composição e programação dos recursos da virtualização de Instrumentos (VI) pode se dizer que segundo Altiore e Histan (p 342-369, 2012):

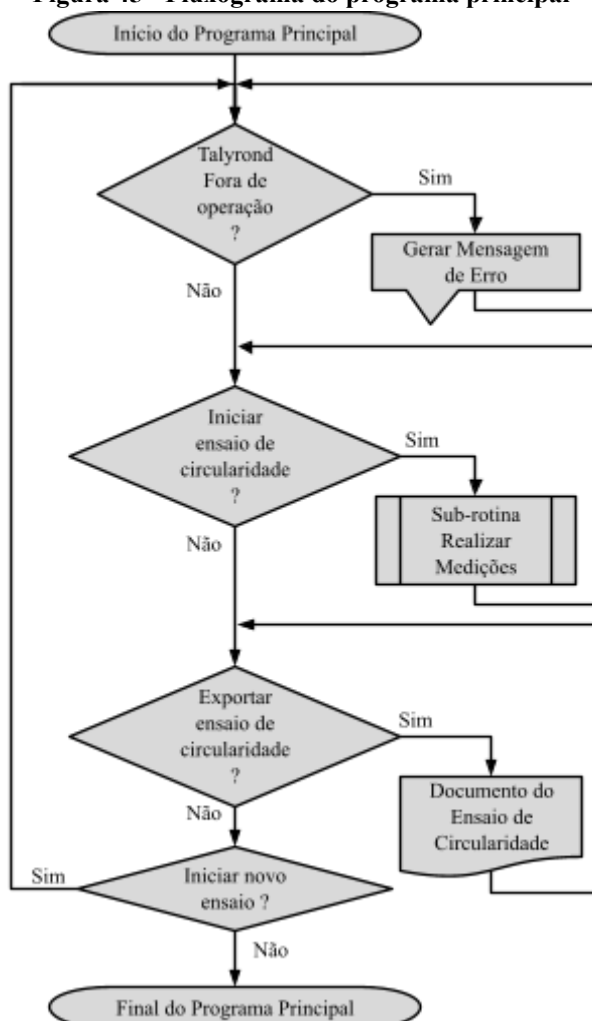
Um arquivo LabVIEW VI (pronuncia-se “vi ai”) é composto de objetos (ou blocos) com conexões entre os objetos. Existem dois tipos de objetos: nós e terminais. Os nós executam funções como adquirir um sinal digital de um cartão de aquisição de dados, multiplicação e processamento de sinal. Os terminais são as conexões entre o diagrama de blocos e o painel frontal. Tudo no painel frontal aparece como um terminal no diagrama de blocos. Todo objeto tem entradas, saídas e parâmetros que determinam sua função. Por exemplo, uma conversão de analógico para digital, o bloco terá um sinal analógico como sua entrada (entrada de hardware), um sinal de valor digital como sua saída e parâmetros como taxa de amostragem. A saída de uma do bloco de conversão A/D pode ser uma entrada para um bloco que exibe graficamente a forma de onda (terminal).

Para completar a aquisição dos dados foi implementado uma interface utilizando o Labview. Por meio dela é possível realizar a virtualização dos instrumentos e, assim, fazer simulações e operar as variáveis que saem do assistente DAQ. Então, a partir de um fluxograma, é demonstrado a utilização desta aplicação e interface completa que é utilizada pelo usuário com a finalidade de apresentar o ensaio de circularidade.

Na figura 45 tem-se o fluxograma principal e com ele explica-se o processo inicial do usuário e que operações ele pode fazer. A requisição do operador pode iniciar o processo de coleta dos dados, desde que seja confirmado por ele que a máquina está em operação. Após isso, pode-se completar mais algumas informações a respeito do ensaio como data, nome do operador, número do protocolo, raio da peça, altura da medida e solicitar sua exportação.

Por sua vez, o processo de coleta dos dados representado no fluxograma presente na figura 46 explica o procedimento de realização das medições. Nele, após o processo de coleta de amostras é necessário convertê-las em outras grandezas.

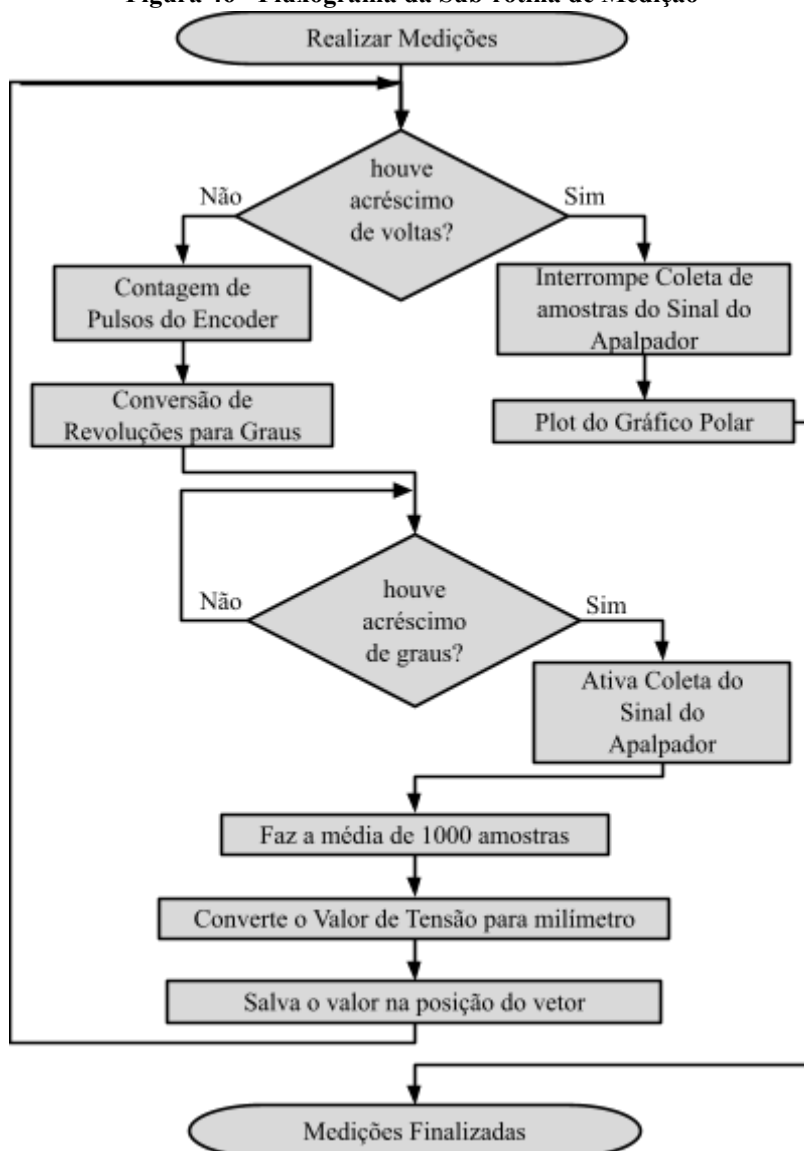
Figura 45 - Fluxograma do programa principal



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para explicar a lógica dessa coleta é preciso descrever os dois *loops* desta parte em que no primeiro, cada vez que é contado um grau é inscrito num vetor a média de mil amostras colhidas do sinal do apalpador. No segundo loop conta-se uma volta para interromper a inscrição de valores no vetor na posição 359. Este vetor de dados é então plotado em um gráfico polar e a sub-rotina termina.

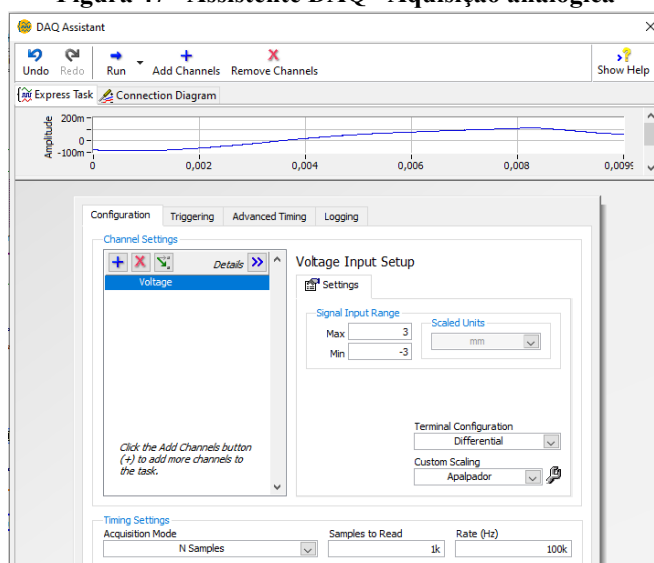
Figura 46 - Fluxograma da Sub-rotina de Medição



Fonte: Elaboração própria (2022).

Antes de ter acesso à MyDAQ foi necessário a simulação virtual dos sinais coletados no encoder e apalpador para validar o sistema mais facilmente. Depois foi utilizado o bloco assistente DAQ que é responsável pela aquisição analógica e suas propriedades são mostradas na figura 47.

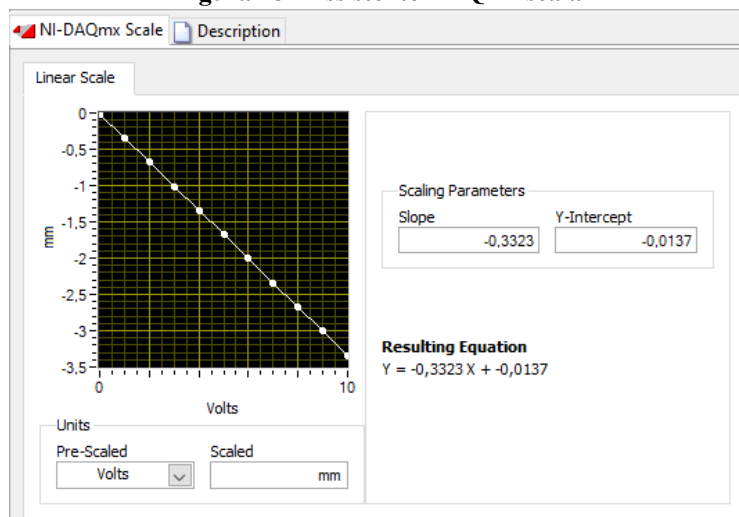
Figura 47 - Assistente DAQ - Aquisição analógica



Fonte: Elaboração própria (2022).

Existe nesta aba a capacidade configurar vários parâmetros no caso da aquisição analógica. Pode-se definir o intervalo de tensão desejado, assim como a taxa de amostragem e a quantidade de amostras colhidas, também é possível acrescentar diretamente uma escala com o intuito de converter a tensão para milímetros com dados retirados a partir da inclinação da reta e interceptação do eixo Y como é visto na figura 48.

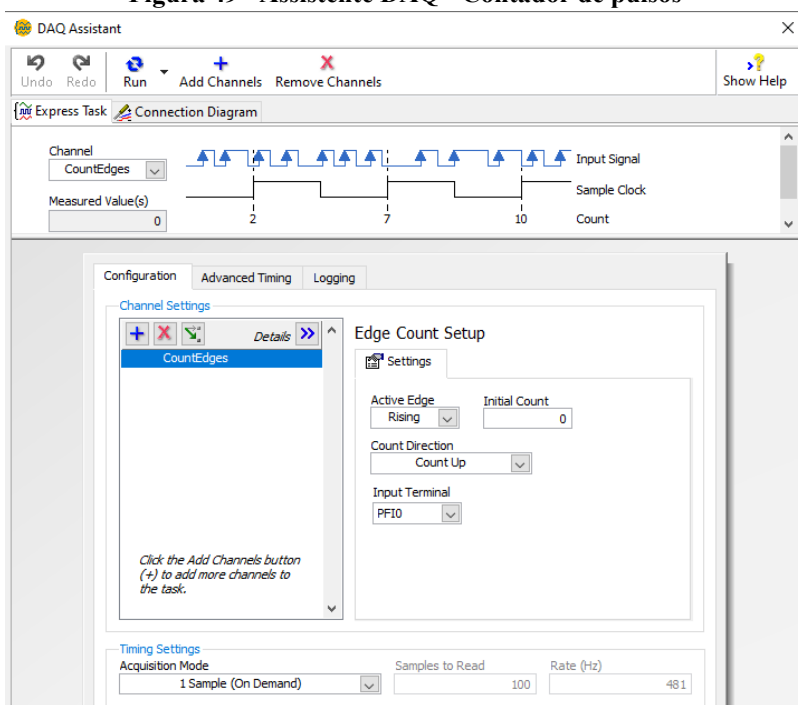
Figura 48 - Assistente DAQ - Escala



Fonte: Elaboração própria (2022).

No caso do contador de pulsos do sinal digital, define-se as suas características, como a contagem a partir da subida ou descida de um degrau e se o contador é crescente ou decrescente e a linha em que está conectado, presente na figura 49.

Figura 49 - Assistente DAQ - Contador de pulsos

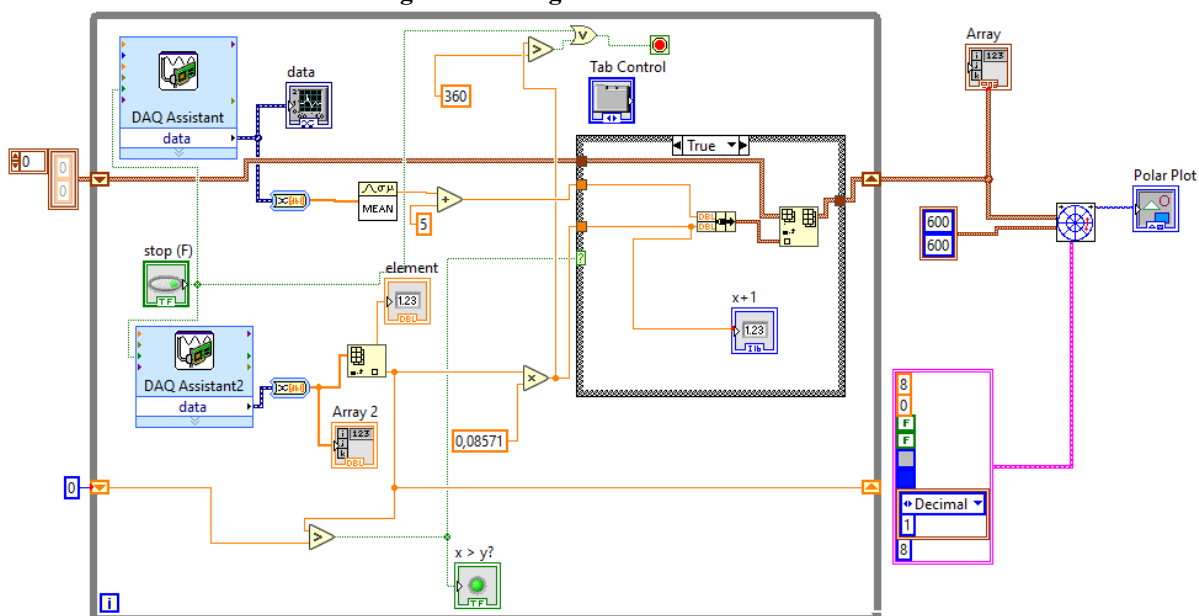


Fonte: Elaboração própria (2022).

Na figura 50 é possível observar os blocos e terminais que compõem a estrutura do programa. No quadrado cinza mais interno tem-se o *loop* condicional em que se houver incremento do grau o valor da média das amostras é inscrito no *cluster* até que é efetuada uma volta. Quando isso acontece, ou o botão de parada é pressionado, interrompe-se o *loop while*, ocasião na qual o gráfico polar é desenhado fora do quadrado cinza (loop).

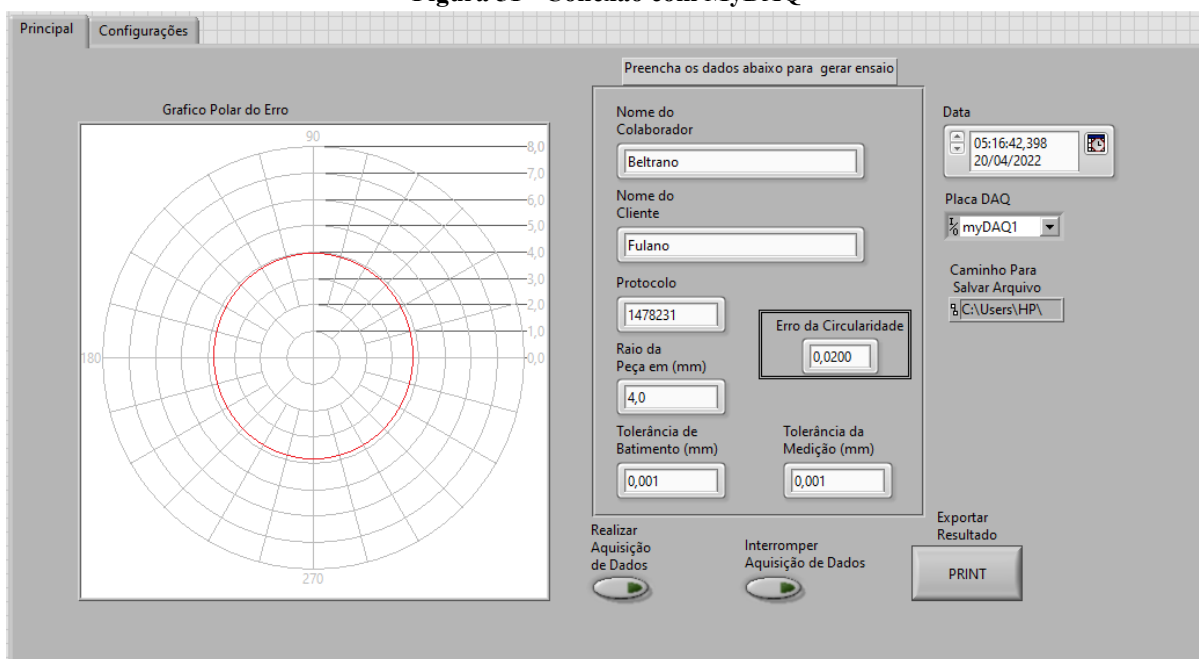
A interface de acesso ao usuário pode ser observada na figura 51. Nela é permitido gerar o gráfico polar do erro de circularidade ao pressionar o botão que pode ser visto na esquerda do painel. Também define-se os parâmetros que vão compor o ensaio de circularidade presentes dentro do quadrado no centro dele, após a definição do local para salvar o ensaio é gerado o documento de texto.

Figura 50 - Diagrama de blocos Labview



Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 51 - Conexão com MyDAQ



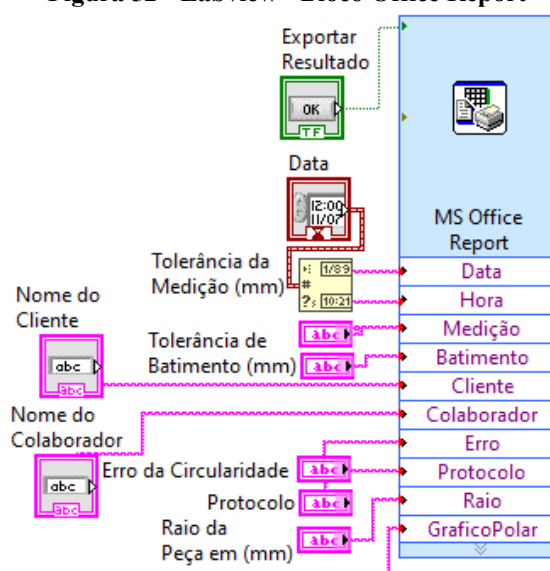
Fonte: Elaboração própria (2022).

5. RESULTADOS

Após concluir o desenvolvimento da interface a próxima etapa é apresentar esse resultado experimentado na seção anterior ao usuário. Por meio de recursos do próprio Labview, gera-se um documento de texto que carrega as informações já citadas. No entanto é ponderado se o resultado alcançado atende ao esperado já que houveram alguns detalhes que dificultaram sua implementação, assim como alguns pontos para melhorar.

A extração deste documento a partir dos dados informados aconteceu devido ao uso do bloco MS Office Report. Na figura 52 nota-se que a ligação é feita de forma simples ao associar as variáveis diretamente no bloco, mas, por sua vez, o bloco possui em todos os seus terminais o mesmo nome de sua respectiva variável conectada. O que ocorre neste caso é a inscrição do valor de cada uma dessas variáveis diretamente num lugar dentro do texto. Com o uso de um modelo customizado de *word* são marcados indicadores que funcionam como hiperlinks para escrever os valores sempre no mesmo lugar. Contudo, isso representa uma solução menos flexível, por exemplo, nesse caso não permite o plot do gráfico polar parte essencial do resultado sendo necessário exportá-lo de outra forma.

Figura 52 - Labview - Bloco Office Report

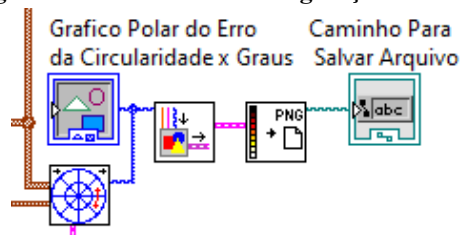


Fonte: Elaboração própria (2022).

Pode-se abordar essa ideia de várias formas. Aplica-se a transferência dos dados colhidos em um formato de tabela que, após a exportação, pode ser plotada novamente em um novo gráfico. Isso funciona para gráficos cartesianos, mas no caso de coordenadas polares não existe o mesmo suporte dentro do *word* 97-2003, versão de maior compatibilidade com o

sistema, para fazê-lo. Outra solução encontrada utiliza três blocos para a transformação da plotagem em um mapa de pixels que pode ser reconstruído em uma figura PNG e, em seguida, ser salvo e enviado justamente ao arquivo em questão. Na figura 53 pode-se observar os blocos acoplados com o plot do gráfico polar do erro de circularidade.

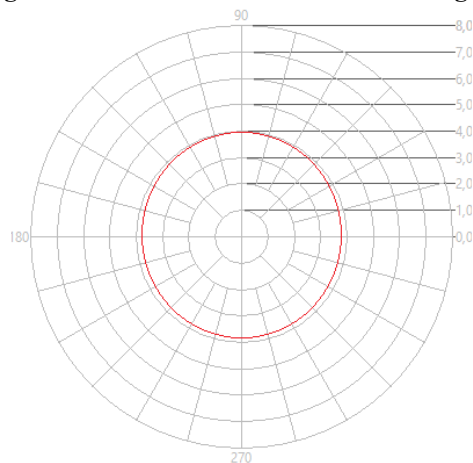
Figura 53 - Labview - Bloco geração de imagem



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para a construção do relatório é necessário usar essa imagem transformada, presente na figura 54, e incorporá-la no modelo do word. Assim, o ensaio já adquire as informações necessárias para a sua validação.

Figura 54 - Gráfico transformado em imagem



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na figura 55 tem-se a disposição dos elementos incluídos no ensaio em que os mais importantes estão na coluna de resultados com seu respectivo símbolo e unidade de medida. Alguns dados que podem ser pertinentes encontram-se na coluna ao lado e acima foi adicionado o logo do curso e da empresa em foco neste trabalho.

Figura 55 - Ensaio de Circularidade




Em parceria com a

DADOS	RESULTADOS
Data: 20/04/2022	○ Erro de Circularidade: 0,0200 mm
Hora: 05:16	R Raio da Peça: 4,0 mm
Colaborador: Beltrano	E Tolerância da Medição: 0,001 mm
Cliente: Fulano	↗ Tolerância da Batimento: 0,001 mm
Protocolo: 1478231	

Fonte: Elaboração própria (2022).

Com este resultado o usuário pode fazer a entrega do ensaio realizado em um documento de texto que traz a informação do erro de circularidade e o gráfico de sua dispersão apresentado integralmente no apêndice A. O desfecho desta etapa foi um sucesso, pois o objetivo principal realizou-se, porém ainda restam algumas declarações a se fazer quanto aos processos que poderiam ser melhorados numa próxima versão desta solução.

Não foi possível por questão de tempo implementar um servidor na internet para receber estes ensaios ou utilizar uma padronização da Scitec deste relatório como modelo e nem integrá-lo aos seus sistemas internos.

Não foi realizado o Auto-scaling no gráfico polar então o círculo apresentado não tem em evidência a oscilação dos pequenos valores encontrados na medição. Isso induz o observador a perceber a circunferência como mais redonda do que o real, pois ela fica relativamente mais longe e suas imperfeições são minimizadas.

Também não foi possível calibrar a máquina adequadamente para garantir uma precisão de 0,001 mm como a obtida no Anexo A. O desvio que é encontrado no sistema varia numa ordem bem maior então conclui-se que com a devida calibração do equipamento possibilitaria encontrar um erro de circularidade muito menor.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por todo o exposto, o objetivo principal do presente projeto foi alcançado, agora a Talyrond 252 que antes era uma máquina defasada tecnologicamente e encontrava-se fora de uso então pode ser colocada em operação. Realiza-se com ela o ensaio de circularidade e através da placa MyDAQ obtêm-se os dados do apalpador e encoder que são tratados e na sequência é gerado um relatório no formato *word*.

Os requisitos foram totalmente atendidos, já que a solução estipulada atendeu o teto de custo estabelecido pela empresa parceira já que tinha em posse uma placa similar e acesso ao mesmo programa utilizado, assim não foi preciso gastar mais recursos para obtê-los. Deve-se levar em conta as restrições de tempo que dificultaram a entrega final, porém, mesmo assim, obteve-se êxito no que diz respeito às funcionalidades que devem ser contempladas no processo de aquisição dos dados e apresentação do resultado através de uma interface para o usuário.

Para trabalhos futuros poderia ser adicionado o controle da posição do apalpador e do giro da mesa. Assim, poderia ser comparado o erro vários níveis em Z em uma mesma medição, bem como medir o diâmetro da peça no eixo X. Também poderia ser acrescentado um sensor para medição de início da volta, assim toda a volta efetuada estaria sincronizada com o sistema.

Além disso, extrapolando para soluções mais difíceis de implementar, os sistemas atuais possuem rotinas pré estabelecidas para fazer a calibração do equipamento e, caso fosse implementado, teria um aumento na repetibilidade dos resultados. Máquinas de medição por coordenadas podem construir um objeto 3D por meio da coleta de pontos, então também seria viável realizar uma reconstrução a partir da medição por forma da superfície do cilindro e apresentar ao usuário este resultado.

Os conhecimentos de engenharia mecatrônica foram utilizados de maneira extensiva nas áreas de metrologia, *retrofitting* e programação utilizando conceitos de eletrônica, erros de medição por forma e aquisição de dados durante seu tempo de execução. Após tudo isso, é encerrada a trajetória de anos dedicada ao aprendizado, é comprovada a eficiência do projeto e, por consequência, a validação do trabalho de conclusão de curso.

REFERÊNCIAS

ALCIATORE, David G.; HISTAND, Michael B. Introduction to Mechatronics: and Measument Systems. *In*: ALCIATORE, David G.; HISTAND, Michael B. **Introduction to Mechatronics**: and Measument Systems. 4. ed. [S. l.]: McGraw-Hill, 2012. v. 1, cap. 4, p. 161-181. ISBN 978-0-07-338023-0.

ALCIATORE, David G.; HISTAND, Michael B. Introduction to Mechatronics: and Measument Systems. *In*: ALCIATORE, David G.; HISTAND, Michael B. **Introduction to Mechatronics**: and Measument Systems. 4. ed. [S. l.]: McGraw-Hill, 2012. v. 1, cap. 8, p. 346-374. ISBN 978-0-07-338023-0.

ALDEBRAND, Rainara B: **Monografia do curso de Engenharia Mecatrônica**: Readequação tecnológica mecânica em manipulador cartesiano de soldagem (TCC), Florianópolis: IFSC, 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Sondagem Conjuntural do Setor Elétrico e Eletrônico - Maio/2022**: Sondagem de conjuntura referente ao mês de maio aponta melhora nos principais indicadores do setor eletroeletrônico em relação aos verificados na pesquisa anterior. São Paulo/SP, maio/2022. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon16.htm#:~:text=Conforme%20a%20sondagem%2C%2088%25%20dessas,dificuldades%20na%20aquisi%C3%A7%C3%A3o%20destes%20itens>. Acesso em: 19 jun. 2022.

ENGEPLUS. **Ponte Hercílio Luz é reaberta em Florianópolis**. Criciúma/SC, 30 dez. 2019. Disponível em: <https://www.engeplus.com.br/noticia/geral/2019/ponte-hercilio-luz-e-reaberta-em-florianopolis>. Acesso em: 19 jun. 2022.

Especificações MyDAQ NI - Nationals Instruments. 2022. Disponível em: <https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/mydaq-specs/page/specs.html>. Acesso em 7 abr. 2022.

HEXAGONMI: Grupo Hexagon de manufactura inteligente. 2022. Disponível em: <https://www.hexagonmi.com/products/coordinate-measuring-machines/gantry-cmms/leitz-pmg> . Acesso em 15 mar. 2022

ISO 1101. **Geometrical product specifications (GPS)**: Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. 4. ed. Geneva, Suíça: [s. n.], 2017. 154 p. Disponível em: <http://geo-dim-tol.ir/files/iso1101.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

KOLLA, Sri S. V. K. *et al.* Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IIoT): 1. **Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IIoT)**: 1, University of Luxembourg, 6, rue Richard Coudenhove-Kalergi, L-1359, Luxembourg, ano 2022, v. 200, n. 1, ed. 200, p. 62–70, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.205>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922002149>. Acesso em: 4 abr. 2022.

NI - National Instruments. 2022. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-br/shop/data-acquisition/ni-data-acquisition--the-accuracy-and-performance-difference.html>. Acesso em 17 jul. 2022.

ROUNDTEST RA-1600 Série 211 -Sistema de Medição de Circularidade / Cilindricidade – 211-733A. 2022. Disponível em: <https://www.mitutoyo.com.br/roundtest-ra-1600-serie-211-sistema-de-medicao-de-circularidade-cilindricidade-211-733a.html>. Acesso em: 9 mar. 2022.

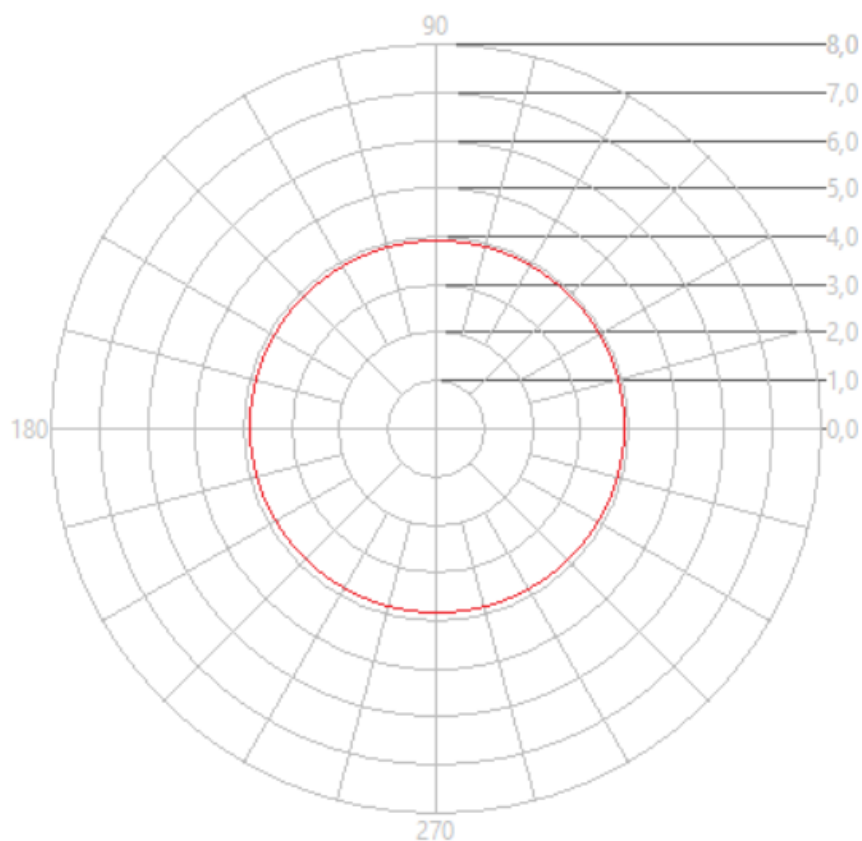
SCITEC: Soluções em ensaios de materiais e produtos. 2022. Disponível em: <https://scitec.com.br/>. Acesso em: 7 mar. 2022.

SUI, Wentao; ZHANG, Dan. **Four Methods for Roundness Evaluation**, Physics Procedia, Volume 24, Part C, 2012, Pages 2159-2164, ISSN 1875-3892. DOI <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.02.317>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212003604> .Acesso em: 12 jun. 2022.

APÊNDICE A

ENSAIO DE CIRCULARIDADE

DADOS	RESULTADOS
Data: 20/04/2022	○ Erro de Circularidade: 0,0200 mm
Hora: 05:16	R Raio da Peça: 4,0 mm
Colaborador: Beltrano	E Tolerância da Medição: 0,001 mm
Cliente: Fulano	✓ Tolerância da Batimento: 0,001 mm
Protocolo: 1478231	



ANEXO A



SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA
ENTIDADE MANTENEDORA DO
Centro de Mecânica de Precisão de Joinville

RUA ALBANO SCHMIDT, 3333 - CAIXA POSTAL 401 - 89201-972 JOINVILLE - SC - FONE (047) 432-0133
FAX: (047) 432-1764 - INSCR. EST. 25.013555-8 - C.G.C. 84.684.182/0001-57 - E-mail: CMPJ@netville.com.br



LABORATÓRIO DE METROLOGIA DIMENSIONAL

Rede Brasileira de Calibração - Laboratório credenciado pelo INMETRO sob nº 027

Certificado de Calibração nº 14299

Folha 01/02

1 - DADOS:

Solicitante: POLIEDRO Comércio e Assistência Técnica de Aparelhos de Medição LTDA

Endereço: CEL. JOAQUIM FERREIRA DE SOUZA, 457

SÃO PAULO - SP

Data: 02/02/98

Ordem de Serviço: OS 10636

Especificação: Calibrador Anel Liso Cilíndrico

Valor Nominal: $\varnothing$ 12,999 mm

Fabricante: SCHMALKALDEN

Nº do calibrador: PE-077

2 - PADRÃO UTILIZADO:

- Máquina de medição longitudinal ULM-01-600 C - Carl Zeiss - (1001)
Certificado de Calibração nº 9187 - CMPJ, de 26/12/96
Rastreabilidade: INMETRO e NIST
- Máquina de medição de erro de forma Talyrond 252 - Taylor Hobson - (1047)
Certificado de Calibração nº 11074 - CMPJ, de 09/06/97
Rastreabilidade: NAMAS
- Calibrador anel liso cilíndrico $\varnothing$ 14 mm - SUENCO - (1018)
Certificado de Calibração nº M4-087/95 - INMETRO, de 10/05/95

3 - PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO:

Procedimento de Calibração: 05005007 Revisão: 00

O calibrador foi medido na máquina de medição longitudinal ULM-01-600C, em três alturas (A, B, C), e em duas posições (1, 2), deslocadas 90 graus entre si.

A posição (1) é paralela a inscrição do calibrador.

Altura A - início B - meio C - final do calibrador

O erro de circularidade foi medido na máquina de erro de forma, no meio do calibrador. A linha 0°-180°, apresentada no gráfico em anexo, corresponde a posição paralela a inscrição do calibrador.

Os resultados estão referenciados à temperatura de 20 graus Celsius.

Segue em anexo gráfico com o erro de circularidade no meio do calibrador.

Sandra R. Bernardes
SANDRA REGINA BERNARDES
Chefe Substituta da Área de Metrologia

Alexssandro Fossile
ALEXSSANDRO FOSSILE
Técnico Responsável



SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA
ENTIDADE MANTENEDORA DO
Centro de Mecânica de Precisão de Joinville

RUA ALBANO SCHMIDT, 3333 - CAIXA POSTAL 401 - 89201-972 JOINVILLE - SC - FONE (047) 432-0133
FAX: (047) 432-1764 - INSCR. EST. 25.013555-8 - C.G.C. 84.684.182/0001-57 - E-mail: CMPJ@netville.com.br



LABORATÓRIO DE METROLOGIA DIMENSIONAL

Rede Brasileira de Calibração - Laboratório credenciado pelo INMETRO sob nº 027

Certificado de Calibração nº 14299

Folha 02/02

4 - RESULTADOS:

4.1 Diâmetro

	Altura A (mm)	Altura B (mm)	Altura C (mm)
Posição 1	12,9985	12,9984	12,9984
Posição 2	12,9981	12,9983	12,9982

4.2 Erro de Circularidade: 0,1 μm

5 - INCERTEZA DE MEDIÇÃO: $\pm 0,0010 \text{ mm}$

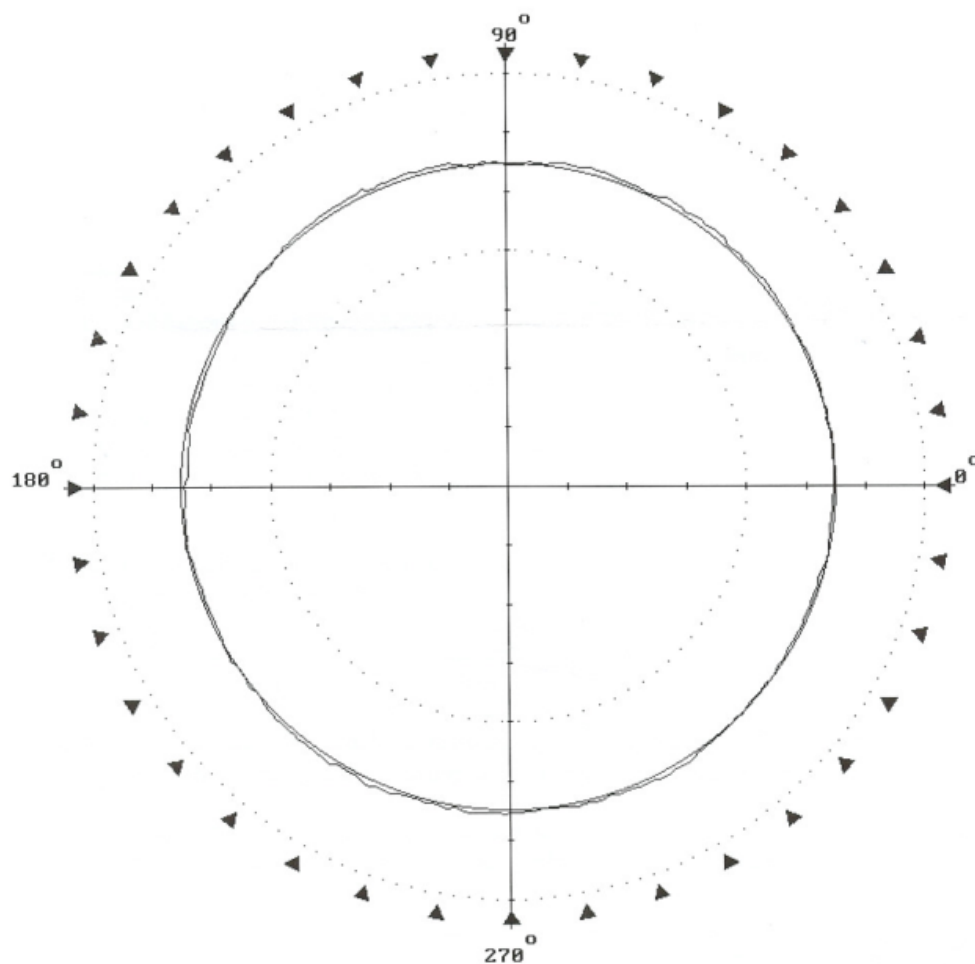
Notas:

- A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada multiplicada por um fator de abrangência $K=2$, para um nível de confiança de aproximadamente 95%.
- Este certificado atende aos requisitos de credenciamento do INMETRO, o qual avaliou a competência de medição do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais ou internacionais de medida.
- Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
- Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

RTH TR252 Version 3.20

Rank Taylor Hobson Ltd

RES CIRCULARIDADE LS			1.05 um	Modo Med	Interno
Elemento	POLIED	Escala	0.50 um	Data Medida	02-02-1998
Elemento No.	00	Altura Z	5.4 mm	Hora Medida	08:11
R	15.726 mm	Ref	ARVORE		
O	0.10 um	Filtro Tipo	2CR		
E	0.50 um	Filtro	1-50 upr		
Z	183.6 graus	Perfil	100.0 %		



Certificado de Calibracao Nr. 14 299.

Anexo: Erro de Circularidade no meio do calibrador.