

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

GUILHERME LUCACHEUSKI
LUCAS MABA WANDREY
RENATO JOSÉ DOS SANTOS

**PROJETO DE UM PROTÓTIPO PARA MEDIR FORÇA DE UNIÃO EM
MONTAGENS APARAFUSADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2013

GUILHERME LUCACHEUSKI
LUCAS MABA WANDREY
RENATO JOSÉ DOS SANTOS

**PROJETO DE UM PROTÓTIPO PARA MEDIR FORÇA DE UNIÃO EM
MONTAGENS APARAFUSADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Da Silva

CURITIBA
2013

**GUILHERME LUCACHEUSKI
LUCAS MABA WANDREY
RENATO JOSÉ DOS SANTOS**

PROJETO DE UM PROTÓTIPO PARA MEDIR FORÇA DE UNIÃO EM MONTAGENS APARAFUSADAS

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 07 de Maio de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Esp. Sergio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Antonio Luersen

Prof. Dr. Carlos Henrique da Silva
Orientador

Prof. M.Sc.. Guilherme Alceu Schneider

Dedico este trabalho ao meu pai, Darci, e à minha mãe, Ana, por todo incentivo e exemplo de vida.

Renato José dos Santos

AGRADECIMENTOS

Certamente não serão nessas poucas linhas que serão citadas todos aqueles que fizeram parte dessa conquista e que muitas vezes estiveram diretamente envolvidas nas alegrias e até mesmo nos momentos de aflição. A aqueles que não estão presentes entre esses parágrafos, pedimos desculpas, mas que eles tenham a certeza de que sempre terão nosso reconhecimento.

Agradecemos ao Prof. Dr. Carlos Henrique da Silva pela orientação do trabalho, por acreditar em nossa idéia e estar sempre presente no desenvolvimento com sua total dedicação e nos mantendo firmes aos objetivos propostos.

Somos gratos aos professores que compuseram a banca avaliadora, Prof. M.Sc. Guilherme Alceu Schneider e Prof. Dr. Marco Antonio Luersen, estes que dispuseram de seu tempo para participarem do desfecho deste trabalho.

Agradecemos também a todos os professores que fizeram parte de nossa formação acadêmica, em especial o corpo docente do Departamento Acadêmico de Eletrônica e Mecânica. E por meio deles reverenciamos toda a comunidade da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que com sua estrutura nos permitiu consolidar mais uma etapa em nossas vidas.

Lembramos também de nossos colegas e amigos, gostaríamos de ressaltar que foram muito bons os momentos de convivência no decorrer desses anos de estudo, muito trabalho e de grandes momentos de alegria.

E sem esquecer de nossos familiares, pessoas que foram os pilares que juntos de nós suportaram toda a carga imposta por esses anos de estudo e sacrifício e que agora podem conosco vibrar por essa vitória. Aos pais, mães, irmãos, tios e primos, muito obrigado.

RESUMO

LUCACHEUSKI, Guilherme; WANDREY, Lucas M.; SANTOS, Renato J.; Projeto de um protótipo para medir força de união em montagens aparafusadas. 2013. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação – Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

O ato de unir peças pode ser entendido como juntar mais de um elemento para lhe dar uma utilidade peculiar. Para isso faz-se necessário o auxílio de um elemento químico ou mecânico capaz de gerar uma força que possa manter as partes unidas. Operacionalmente falando, existe mais de uma maneira de garantir essa união, como soldagem, rebites ou colagem. O foco de estudo deste trabalho são as uniões aparafusadas. Estas são junções amplamente aplicadas quando há interesse em futuras desmontagens. Ao se apertar um parafuso contra um conjunto de peças existe o objetivo de garantir a união entre as partes e criar uma força que impeça a soltura do mesmo. Algumas grandezas presentes nesse processo podem ser medidas, como torque de aperto e ângulo de giro da porca em relação ao parafuso. Outras, como força de atrito, força de pré-carga e rugosidade são economicamente inviáveis a sua visualização em níveis de produção. O objetivo deste trabalho é construir um dispositivo que possa medir a força axial atuante sobre parafuso em uma união aparafusada e desta forma obter o coeficiente de torque (k) para diversas combinações de parafusos, porcas e arruelas. O estudo se restringe às variáveis do processo, sistemas de montagem, coleta de dados e *interface*, onde alguns conceitos, dados e fórmulas foram revisados no intuito de auxiliar no desenvolvimento e na montagem do equipamento. Para a criação do protótipo foram utilizados recursos computacionais que otimizaram a modelagem da estrutura mecânica e eletrônica, bem como nas simulações e pré-testes. Foram executados os ensaios com diferentes tipos de parafusos a fim de observar a variação da força atuante sobre tais elementos e o quanto essa força pode ser influenciada pela característica do parafuso. Como resultados de ensaio, obtiveram-se valores próximos aos valores propostos pela literatura para maioria dos parafusos testados, assim, validando a proposta para qual o equipamento foi projetado.

Palavras-chave: Juntas Aparafusadas. Parafuso. Torque de Aperto. Força de Pré-carga. Coeficiente de Torque.

ABSTRACT

LUCACHEUSKI, Guilherme; WANDREY, Lucas M.; SANTOS, Renato J.; Projeto de um protótipo para medir força de união em montagens aparafusadas. 2013. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação – Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The deed of joining parts together can be understood like attach more than one element to give it a peculiar usefulness. For this it is necessary the assistance of a chemical or mechanical capable of generating a force which can hold the parts together. Such as usual methods, there are more than one way of ensuring that union, as welding, riveting or gluing. The focus of this work are the bolt connections. These junctions are widely applied when there is interest in future dismounting bolt assembly. when pressing a set a bolt against a set of pieces is the goal of ensuring union among the parties and create a force that prevents the release of the same. Some variables used in the process can be measured like torque and angle of rotation of the nut relative to the bolt. Others, such as friction force, force preload and roughness are economically unviable in display production levels. The objective of this work is to build a device that can measure the axial force acting on screw in a screw connection and thus obtain the torque coefficient (k) for various combinations of screws, nuts and washers. The study is restricted to the variables of the process, assembly systems, and data collection interface, where some concepts, data and formulas were reviewed in order to assist in the development and assembly of the equipment. For prototyping resources were optimized computational modeling of the mechanical structure and electronics, as well as in simulations and pre-testing. Assays were performed with different types of screws in order to observe the variation in the force acting on such elements and how this force can be influenced by characteristics of the bolt. As test results were obtained values close to those proposed in the literature for most of the screws tested, thus validating the proposal for which the equipment was developed

Keywords: Bolted joints. Bolt. Tightening Torque. Preload Force. Torque Coefficient.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição de energia de um aperto.....	10
Figura 2 – Superfície de contato e forças atuantes	15
Figura 3 – Pontos de contato	16
Figura 4 – Aplicação de torque de aperto	19
Figura 5 – Curva tensão-deformação.....	21
Figura 6 – Conjunto porca/arruela/parafuso.....	22
Figura 7 – Efeito mola sobre a junta.....	23
Figura 8 – Curva de relação entre torque de aperto e ângulo de giro	25
Figura 9 – <i>Strain Gage</i>	27
Figura 10 – Ponte de Wheatstone.....	28
Figura 11 – Amplificador Operacional	29
Figura 12 – Amplificador Subtrator.....	30
Figura 13 – Amplificador Inversor.....	30
Figura 14 – Amplificador Não-inversor	31
Figura 15 – Microcontrolador PIC 16F877.....	32
Figura 16 – Sequencia de eventos durante o ensaio	33
Figura 17 – Célula de carga do tipo arruela	34
Figura 18 – Célula de carga tipo "C"	35
Figura 19 – Célula de carga tipo haste.....	36
Figura 20 – Modelo final da Célula de Carga tipo haste.....	37
Figura 21 – Dispositivo posicionador com célula de carga.....	38
Figura 22 – Gráfico de relação Força/Deformação para aço SAE-1020	41
Figura 23 – Detalhe dimensional da haste da célula de carga	42
Figura 24 – Circuito medidor de tensão (V).....	43
Figura 25 – Circuito amplificador de tensão (V)	44
Figura 26 – Circuito de controle e interface.....	45
Figura 27 – Relação Tensão (V) / Tensão (MPa).....	46
Figura 28 – Protótipo para medição de força de união.....	47
Figura 29 – Relação Tensão (V) / Força (F).....	51
Figura 30 – Indicação de desvio entre a curva de ensaio e a reta proporcional	52
Figura 31 – Perfil de rugosidade de uma das porcas utilizadas nos ensaios	55
Figura 32 – Coeficientes de torque	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA	10
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 VARIÁVEIS DE PROCESSO	14
2.1.1 Força de Atrito	14
2.1.2 Perfil de Rugosidade	18
2.1.3 Torque de Aperto	18
2.1.4 Tensão e Deformação	19
2.2 MONTAGEM APARAFUSADA	21
2.2.1 Junta aparafusada	22
2.2.2 Força de União	23
2.2.3 Controle de Torque de Aperto	24
2.2.4 Controle de Ângulo de Aperto	24
2.3 COLETA DE DADOS E INTERFACE	26
2.3.1 Extensômetros Elétricos	26
2.3.2 Célula de Carga	27
2.3.3 Sinais elétricos e amplificadores	28
2.3.4 Método de Controle por Microcontroladores	31
3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	33
3.1 MODELAGEM 3D SISTEMA MECÂNICO	34
3.2 MODELAGEM MATEMÁTICA DO SISTEMA	39
3.3 DIMENSIONAMENTO DA CELULA DE CARGA	41
3.4 MODELAGEM DO SISTEMA ELETRÔNICO	42
3.5 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA MECANICO	46
3.6 MONTAGEM DA CELULA DE CARGA	48
3.6.1 Preparação da superfície	49
3.6.2 Fixação do Strain Gauge	49
3.7 AJUSTE E CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO	51
4. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO	53
4.1 ENSAIOS PRELIMINARES	53
4.2 ENSAIOS FINAIS	56
5. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Nos estudos realizados, através da história da humanidade, pode-se perceber que o homem com o passar dos anos foi se diferenciando dos seus antepassados pelo desenvolvimento da mente, acúmulo de experiências e conhecimento. Desde os tempos que se têm relatos, as civilizações se utilizavam de ferramentas como martelos e machados fabricados com metais e rochas brutas retirados da natureza. Estes fizeram uso dos primeiros métodos de fixação e montagem de que se tem conhecimento. Tais métodos se baseavam em amarrar objetos uns aos outros com a ajuda de fios vegetais, dando-lhe uma utilidade peculiar. Hoje, milhares de anos depois, é perceptível que a idéia de se fabricar utensílios por meio de montagem continua presente em todos os segmentos da sociedade.

O ato de unir peças pode ser entendido como posicionar um elemento contra o outro e, com ajuda de artifícios químicos ou mecânicos, fazer com que atue sobre o conjunto uma força capaz de manter os elementos unidos.

Ao abordar o ambiente industrial é notável a grande aplicação das formas de união de peças, que podem ser uniões permanentes (métodos que não fazem parte do escopo desse trabalho) e podem ser realizados com uso de soldagem, rebites ou colagem e os métodos de união desmontáveis, que em grande maioria são produzidos através da fixação por parafusos.

Ao se apertar um parafuso, as grandezas evidentes são torque de aperto e ângulo de giro da porca em relação ao parafuso, as únicas variáveis visíveis e mensuráveis a nível operacional, entretanto, outras condições próprias desse processo estão presentes nesse ato como força, atrito e rugosidade, algumas vezes contribuindo e em outras impedindo o alcance do objetivo final (GARCIA, 2007).

O objetivo de se apertar um parafuso contra um conjunto de peças é garantir a união entre as partes envolvidas, ou seja, o parafuso deve garantir que haja uma força sobre a junta apertada, de modo que a mantenha na posição para qual foi projetada. Outra característica de junções aparafusadas é que a força tensora gerada pelo aperto é que impede o parafuso de se soltar, ou seja, uma vez que o parafuso esteja tensionado e que exista atrito necessário no contato entre os filetes, esta união não se soltará.

O atrito, se por um lado se opõe à soltura de um parafuso, mantendo a qualidade intrínseca desse elemento, também é em função dele que existe incerteza com relação à obtenção da força de união desejada. Ao aplicar torque em um parafuso, a maior parcela de energia aplicada sobre esse elemento, se perde pela fricção entre as partes em contato. Este fenômeno está ilustrado na figura 1, onde estima-se que apenas 10% dessa energia é convertida em tensão sobre o parafuso.

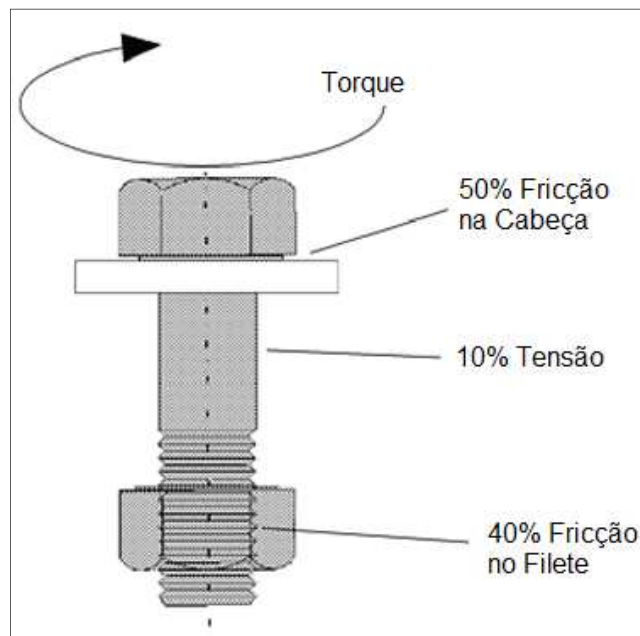


Figura 1 – Distribuição de energia de um aperto
Fonte: Adaptado de Asm (2000, p. 1890)

1.1 PROBLEMA

O parafuso é um elemento de fixação empregado para unir peças que podem ser montadas e desmontadas com facilidade. O objetivo de aplicar um torque nesse elemento é simplesmente com intuito de se obter força axial de tração sobre o mesmo e, com isso, comprimir a junta através da força tensora que a mantém apertada. Entretanto existem obstáculos operacionais e financeiros que inviabilizam a medição dessa força no processo, por isso a forma corriqueira de registrar o resultado se faz pela verificação de torque e ângulo, ou seja, para apertar um parafuso é necessário aplicar um momento sobre sua cabeça e com isso incrementar um ângulo ao qual ele deve girar.

A relação entre o torque aplicado à força de união se dá através de equações matemáticas, que levam em consideração a geometria do parafuso e as condições de superfícies dos elementos em contato. Esta é uma relação linear, considerando que a tensão na junta esteja dentro do regime elástico.

Em condições ideais de processo, utilizar as estratégias de aperto definidas pelo departamento de engenharia de uma empresa, levando em consideração coeficientes de atrito ditos em literatura, não deve acarretar dificuldades em atingir o resultado desejado. Contudo, na realidade de uma linha de montagem estão fatores como: o ambiente hostil de chão de fábrica, casos de mão de obra não qualificada, variações das condições de superfície das juntas, geometria de parafusos e porcas que podem impedir o alcance da pré-carga desejada sobre um conjunto aparafusado.

O problema da pré-carga em parafusos pode ser analisado sob dois ângulos: (i) Há casos onde esta força axial no parafuso pode ser baixa, deixando a junta solta ou suscetível à ocorrência de separação dos elementos unidos pouco tempo depois de ter sido apertada e (ii) situações onde a força pode ficar acima do especificado, assim esmagando o componente apertado e em condições em que a tensão supere o limite admissível, o parafuso pode ser danificado por atingir a tensão de escoamento (σ_y) ou a resistência de prova (S_p).

1.2 JUSTIFICATIVA

Embasado pela utilidade de se investigar a influência das condições do meio sobre o resultado final nos procedimento de montagem, justifica-se este estudo, uma vez que se pretende estabelecer a relação entre a metodologia utilizada no meio industrial para definições de estratégias de aperto e o resultado final do processo, sendo este mensurado, ou seja, coletando-se dados de resultado final de ensaios poder-se-á avaliar o grau de confiabilidade das definições práticas utilizadas.

Para o presente estudo, faz-se a necessidade de desenvolver um método para observar a resultante do torque aplicado a uma junta aparafusada. Este fará uso de instrumentação industrial, tratamento e análise de sinais elétricos.

Com base nas condições ditas anteriormente, podemos argumentar a execução deste trabalho, tanto no aspecto de aplicação prática voltada para indústria, quanto como um protótipo com fins didáticos capaz de auxiliar o entendimento sobre o aspecto tribológico relacionado às montagens aparafusadas. Para isso, utilizar-se-á os conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, focalizando parte dos estudos relacionados aos sistemas mecânicos, instrumentação industrial, sinais elétricos, controle e informações obtidas através de pesquisa bibliográfica.

A montagem do protótipo fará uso de peças de origem mecânica e eletrônica, como um sensor eletromecânico sensível à força, um circuito amplificador de sinal e um controlador, o qual converterá os sinais elétricos em resultado da aplicação da força. A célula de carga, que será construída com material metálico, estará sujeita a deformação e esta será monitorada através de extensometria, ou seja, a deformação do componente mecânico será refletida proporcionalmente sob forma de um sinal elétrico que, após convertido, estará representado em uma interface.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Construir o protótipo de um equipamento capaz de mensurar a força axial de união em montagens utilizando o sistema parafuso, porca e arruela; e que tenha aplicação didática para uso em disciplinas de elementos de máquinas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar os conceitos teóricos que tratam dos efeitos causados pela variação do atrito sobre a força de união em juntas aparafusadas;

- Montar um mecanismo e desenvolver uma metodologia capaz de medir a força atuante sobre parafusos de uniões aparafusadas;
- Desenvolver uma *interface* para visualizar as condições apuradas pelos elementos sensíveis à força;
- Realizar ensaios com mais de um tipo de parafuso e comparar os resultados de força de união obtidos com os valores de literatura;
- Apresentar os resultados obtidos através da pesquisa e ensaios à banca examinadora como resultado do trabalho de conclusão do curso.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica auxiliará a compreensão dos obstáculos operacionais e financeiros que inviabilizam a medição da força de união no processo de aparafusamento.

2.1 VARIÁVEIS DE PROCESSO

Com relação às juntas aparafusadas existem algumas variáveis que podem ser medidas e definidas. Neste trabalho será dado enfoque especial às que interferem diretamente no processo de aperto do parafuso e podem alterar toda a dinâmica do processo, tais como: Coeficiente de atrito (μ), Torque de aperto (M), Força (F), e Ângulo de aperto ($\hat{\alpha}$).

2.1.1 Força de Atrito

Conceitualmente, “a força de atrito é a força que atua entre os átomos superficiais de dois corpos em contato” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, p. 111). A representação do contato entre as superfícies pode ser vista na figura 2. A força de atrito depende da rugosidade das duas faces em contato e da força normal que um elemento faz sobre o seu apoio (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996).

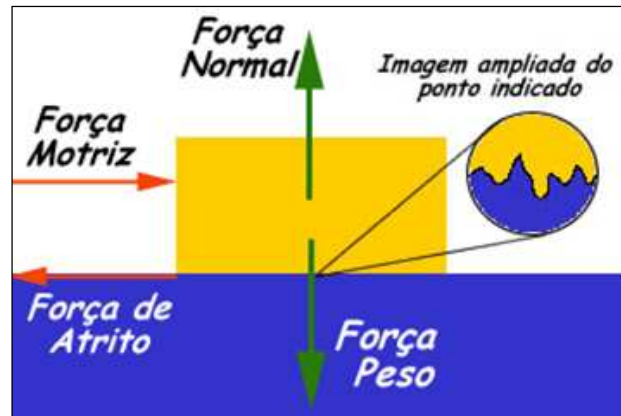


Figura 2 – Superfície de contato e forças atuantes
Fonte: Bisquolo (2005)

Ainda com relação à força de atrito, pode-se separar este fenômeno em dois tipos: atrito estático e atrito cinético, ou seja, atrito estático deve ser entendido quando a força aplicada sobre um objeto não é capaz de movimentá-lo, assim a força de reação oriunda do atrito pode variar de acordo com a intensidade da força aplicada. Conforme é intensificada a força sobre determinado corpo, chegará ao nível de pô-lo em movimento e, a partir desse instante, o atrito será entendido como sendo atrito cinético e terá o seu valor determinado independente da magnitude da força aplicada, assim como sua intensidade trará maior ou menor facilidade de se movimentar o corpo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996).

A força de atrito é calculada de forma simplificada pela equação (1).

$$F_{at} = \mu \cdot F_N \quad (1)$$

Onde,

- F_{at} é a Força de atrito,
- μ é o coeficiente de atrito,
- F_N a força normal.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (1996), quanto mais áspera for a superfície, maior será a força de atrito e, conseqüentemente, maior será o coeficiente de atrito. Esse coeficiente é calculado a partir de amostra de ensaio e divulgado genericamente na literatura para materiais de maior uso. Os lubrificantes têm como uma de suas principais funções diminuir os efeitos do atrito.

Para o caso de juntas aparafusadas, o atrito é uma variável de importância fundamental, pois nesse processo há contato entre partes em movimento e, assim, as variações da condição das superfícies em contato irão afetar o valor da força de aperto.

Segundo a norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 30) em juntas aparafusadas o coeficiente de atrito está dividido em: coeficiente de atrito na cabeça¹ do parafuso representado por μ_K , e coeficiente de atrito do contato entre os filetes de rosca do parafuso representado por μ_G . A figura 3 apresenta de forma esquemática os pontos de contato onde há o atrito em uma união aparafusada.

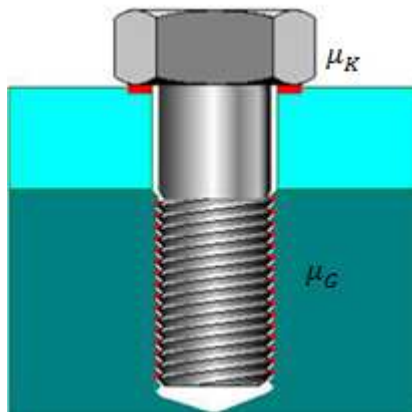


Figura 3 – Pontos de contato
Fonte: Muniz (2007, p. 31)

Segundo a norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 30), na divisão dos dois diferentes coeficientes de atrito para um determinado conjunto parafuso/porca, obtêm-se a equação (2), equação (3) e equação (4).

Para determinar coeficiente de atrito na cabeça do parafuso utiliza-se a equação (2):

$$\mu_K = \frac{2 \cdot M_K}{D_{Km} \cdot F_V} \quad (2)$$

Onde,

- M_K é o torque aplicado na cabeça/porca do parafuso (Nm);

¹ Para casos onde o parafuso permaneça estático durante a montagem, este coeficiente de atrito pode ser atribuído ao contato da porca com a peça ou arruela.

- D_{Km} é o diâmetro médio onde há o contato na cabeça do parafuso (mm);
- F_V é a força atuante sobre a junta aparafusada (N);
- μ_K é o coeficiente de atrito no contato da cabeça/porca do parafuso com a arruela;
- 2 é uma constante fornecida segundo norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 30).

Para determinar coeficiente de atrito na rosca do parafuso utiliza-se a equação (3):

$$\mu_G = \frac{M_G/F_V - 0,159 \cdot P}{0,578 \cdot d_2} \quad (3)$$

Onde,

- M_G é o torque aplicado na cabeça/porca do parafuso (Nm);
- P é o passo da rosca do parafuso (mm);
- d_2 é o diâmetro menor da rosca do parafuso (mm);
- μ_G é o coeficiente de atrito entre os filetes da rosca da porca e rosca do parafuso;
- 0,159 é uma constante fornecida segundo norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 30);
- 0,578 é uma constante fornecida segundo norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 30).

Relacionando a equação (2) à equação (3), pode-se obter o coeficiente de atrito total (μ_{GES}), representado pela equação (4), conforme norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 31)..

$$\mu_{GES} = \frac{M_A/F_V - 0,159 \cdot P}{0,578 \cdot d_2 + D_{Km}/2} \quad (4)$$

Onde,

- M_A é o torque aplicado na cabeça/porca do parafuso (Nm);
- μ_{GES} é o coeficiente de atrito total.

2.1.2 Perfil de Rugosidade

Entre os fatores que podem influenciar a variável coeficiente de atrito em montagens aparafusadas, pode-se destacar o perfil de rugosidade das partes em contato.

Segundo Piratelli (2011) a definição de rugosidade é a variação micrométrica existentes entre picos e vales de superfícies de peças. Entre os meios de mensurar o nível de rugosidade de uma superfície, é extrair os valores Ra e Rq da superfície, que segundo o mesmo autor tem como definição:

- Ra - Rugosidade aritmética ou rugosidade média – Parâmetro extraído a partir da linha média do perfil de rugosidade;
- Rq - Rugosidade quadrática média – Parâmetro extraído a partir de Ra. A elevação ao quadrado aumenta o efeito das irregularidades que se afasta da média.

2.1.3 Torque de aperto

Segundo Garcia (2007), o resultado do produto da intensidade de uma Força pela distância desta a um ponto referenciado é trabalho, que no mundo dos apertos é denominado Torque. O torque pode ser calculado sob a equação (5).

$$M = F \cdot L \quad (5)$$

Onde,

- M é o Torque (Nm);
- F é a força (N);
- L é a distância entre um ponto fixo e a força (m).

A figura 4 traz a representação da ação de se apertar uma junta aparafusada.

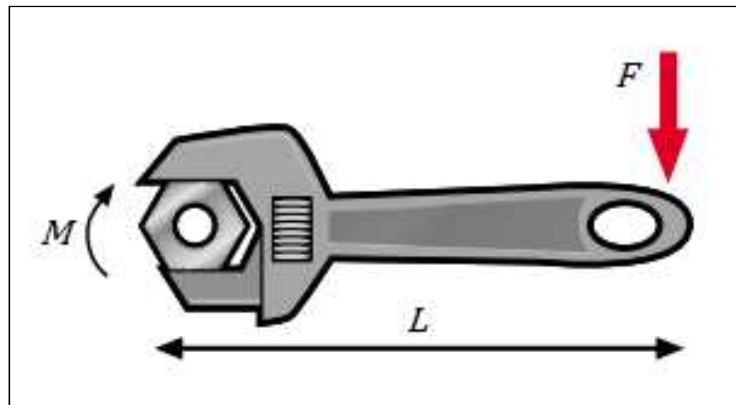


Figura 4 – Aplicação de torque de aperto
 Fonte: Adaptado de Atlas Copco (2002, p. 11)

Em juntas aparafusadas o método corriqueiro para controlar a força de aperto, se faz através do controle do torque aplicado. E por mais confiável que seja esse processo, ainda existe incertezas. A ASM (2000, p. 1889) trata esse aspecto da seguinte forma:

“O modo mais comum para estimar força de aperto é observar a quantidade de torque aplicado ao fixador. Este procedimento pressupõe que a relação entre a tensão e torque seja conhecida. A verdade dessa questão é que, o torque só é medido e não pode nunca ser conhecido com segurança. Assim, infelizmente, deve-se concluir que torque é uma medida altamente confiável, totalmente imprecisa para avaliação da pré-carga sobre roscas de fixadores.”

2.1.4 Tensão e Deformação

Quando uma força é aplicada em um corpo, este é posto sob tensão, representado por σ . O valor dessa tensão será influenciado pela magnitude da força

e a área pela qual ela foi distribuída. Esta relação pode ser comprovada através da equação (6).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Onde,

- σ é a tensão (MPa);
- A é a área (m²).

Conforme Andolfato, Camacho e Brito (2004), se um corpo é tracionado, a tensão sobre o mesmo é proporcional à deformação causada, sendo isto válido para região de deformação elástica.

Uma variável existente que é influenciada pela tensão atuante sobre um corpo, é a deformação. A tensão de origem mecânica sobre um corpo tende a mudar a forma e o tamanho dele. Tais mudanças são denominadas deformação e podem ser perfeitamente visíveis ou praticamente imperceptíveis sem o uso de equipamento para fazer medições precisas (HIBBELER, 2010).

Representado por ε na equação (7), é a deformação específica normal em um corpo sob carregamento axial. É a relação de alongamento do material por unidade de comprimento (BEER; JOHNSTON; DEWOLF, 2011).

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (7)$$

onde,

- ε é a deformação específica,
- Δl é o alongamento,
- l o comprimento inicial.

De acordo com Hibbeler (2010), utilizando a constante de proporcionalidade E , chamada de módulo de elasticidade, é possível obter a relação tensão/deformação visto na equação (8).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (8)$$

Onde,

- E é o módulo de elasticidade.

A relação tensão/deformação é proporcional na região de deformação elástica do material (BEER; JOHNSTON; DEWOLF, 2011). Esta relação é representada na figura 5.

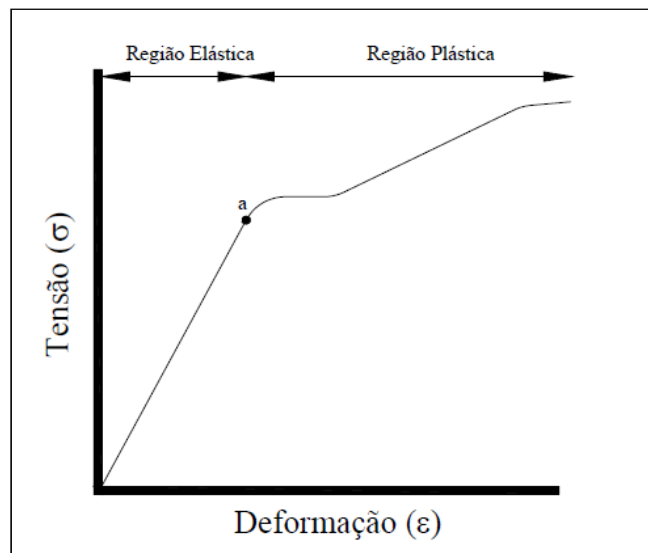


Figura 5 – Curva tensão-deformação
Fonte: Andolfato, Camacho e Brito (2004, p. 3)

2.2 MONTAGEM APARAFUSADA

O método de montagem abordado por esse estudo é a montagem por aparafusamento onde, para se atingir o objetivo de unir peças, faz-se girar o parafuso ou a porca causando o deslocamento entre as superfícies helicoidais em sentido oposto (MUNIZ, 2007). Os fixadores, entendido como conjunto porca/arruelas/parafuso, são mostrados na figura 6.



Figura 6 – Conjunto porca/arruela/parafuso
Fonte: Aatoria Própria

2.2.1 Junta aparafusada

Segundo Garcia (2007), uma junta aparafusada é constituída de três elementos básicos: o parafuso que possui a rosca externa, a peça que é o elemento sujeito aos esforços direto do aperto e a porca que possui rosca interna. Tendo esse conjunto o objetivo de se manter unido, garantindo a finalidade para qual foi projetado. O uso de fixação por parafusos recebe grande destaque quando utilizado em processos em que há necessidade de futura desmontagem, como manutenção, setup e ajustes, uma vez que com auxílio de ferramentas simples como chaves e torquímetros se torna de fácil operação.

Muniz (2007, p. 14) atribui a seguinte característica a uma junta aparafusada:

“O sistema composto de duas partes deslizando em sentidos relativos opostos, girando ao longo de um eixo comum sobre superfícies helicoidais e promovendo o surgimento de uma força axial longitudinal, é uma solução de projeto responsável por quase todos os sistemas que requerem uma posterior desmontagem.”

Para Shigley, Mischke e Budunas (2005), quando se tem como objetivo uma união desmontável, capaz de suportar cargas externas de tração e cisalhamento, o uso de junta aparafusada é uma solução viável.

2.2.2 Força de União

Conhecido como força tensora, força de montagem ou pré-carga, esta é responsável pela permanência das partes unidas. É uma força que sobre o parafuso atua como tração e tem a mesma intensidade da força que comprime a junta à qual foi apertada (GARCIA, 2007).

Na figura 7 pode ser vista a representação das forças atuantes nesse conjunto, as quais fazem com que esses componentes se comportem como mola. Sendo a junta propriamente dita carregada sob compressão e o fixador sob tração (NORTON, 2004).

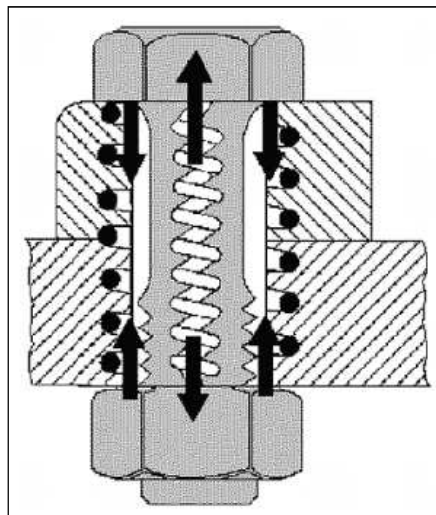


Figura 7 – Efeito mola sobre a junta
Fonte: Asm (2000, p. 1889)

De acordo com Norton (2004), uma das aplicações de porcas e parafusos é a de juntar peças, sendo que o parafuso é posto sob tração à medida que o torque é aplicado. A junta é pré-carregada com o aperto do parafuso com torque suficiente para criar cargas de tração próximas à resistência de prova. Cabe ressaltar que nem toda energia da aplicação do torque é convertida em forma de força de tração, ou seja, parte dela se perde sob a forma de atrito causando sobre o parafuso uma pequena parcela de forças torcionais. A amplitude dessa força de torção estará diretamente ligada ao nível de atrito entre as partes. Para o estudo do presente trabalho serão utilizados parafusos em condições tais que serão desconsideradas estas forças de torção.

2.2.3 Controle de Torque de Aperto

Se o comprimento total de um parafuso pudesse ser medido antes e após o processo de aperto, o alongamento desse componente decorrente da pré-carga poderia ser computado, e com uso da equação (9), obter a força de tração desejada com base no aumento do tamanho do parafuso. De modo geral, medir o alongamento de um parafuso durante o processo de aperto seria uma ação impraticável, por isso esse processo faz o uso de controle de torque (SHIGLEY; MISCHKE; BUDUNAS, 2005).

$$\delta = \frac{F \cdot l}{A \cdot E} \quad (9)$$

Onde,

- δ é o alongamento.

Apertar uma junta através do controle de torque significa que a variável monitorada será o torque e ao atingir o objetivo, a operação será finalizada. Este procedimento tem vasta aplicação, pois de modo geral há uma relação linear entre o torque aplicado e a pré-carga (SHIGLEY; MISCHKE; BUDUNAS, 2005). E, mesmo em operações onde se faz uso de controle de ângulo, é imprescindível a medição do torque, devido ao fato de que até em operação onde o controle é todo através do controle de ângulo, ainda será necessário definir o início da contagem de ângulo. Este ponto é um torque tal que, a partir dele, o deslocamento angular do elemento móvel fixador se torna proporcional à deformação mecânica da junta (ASM, 2000).

2.2.4 Controle de ângulo de aperto

Shigley, Mischke e Budunas (2005) chamam esse tipo de aperto como método do giro da porca. Para que se possa medir o ângulo, o conjunto deve estar com o mínimo de torque de encosto. “Quando tal condição é atingida, todo giro

adicional desenvolve tração adicional útil no parafuso no parafuso de porca” (SHIGLEY; MISCHKE; BUDUNAS, 2005, p. 410). Segundo este autor, o torque mínimo de encosto na junta, que antecede a medição do ângulo, é chamado de aperto confortável, “é o arrocho obtido por uns poucos impactos de uma chave de impacto, ou o esforço completo de uma pessoa usando uma chave comum” (SHIGLEY; MISCHKE; BUDUNAS, 2005, p. 409).

Uma vez que a junta esteja com o aperto confortável, é aceitável que, a partir desse instante, o deslocamento angular do elemento móvel fixador, seja a porca ou o parafuso, se dê de forma proporcional ao torque aplicado nesta junta. Esta relação pode ser observada através da figura 8.

Outro método bastante utilizado, além de usar o torque para o encosto da junta, ainda se pode combiná-lo com ângulo de giro para verificação da resultante final do aperto, ou seja, ao final do aperto por giro se verifica o valor final do torque, onde este normalmente deve permanecer dentro de uma janela de tolerância estabelecida para cada processo e, com isso, monitorar indiretamente a deformação no conjunto apertado já que, como visto anteriormente, há uma relação linear entre torque aplicado e deslocamento angular a partir de determinadas condições (GARCIA, 2007).

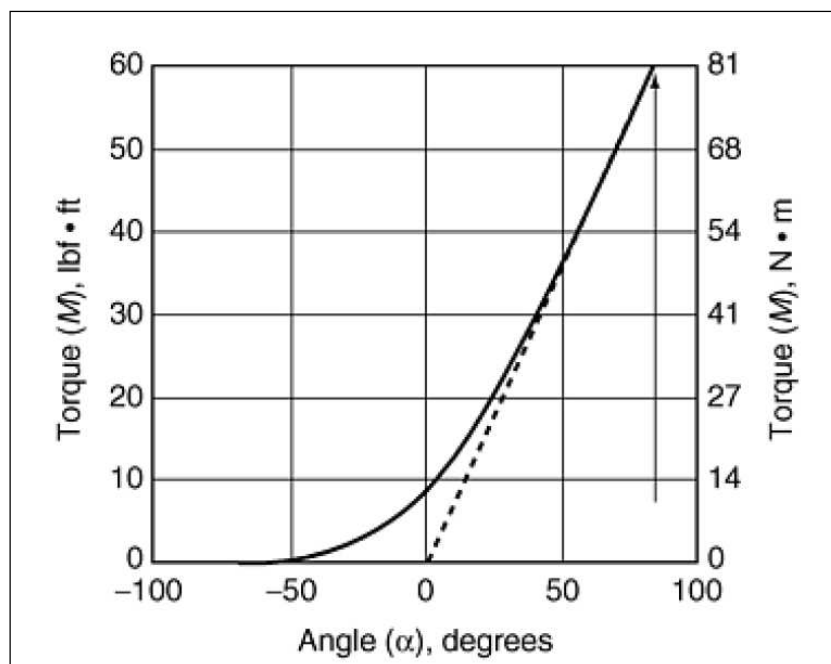


Figura 8 – Curva de relação entre torque de aperto e ângulo de giro
 Fonte: Asm (2000, p. 1891)

2.3 COLETA DE DADOS E *INTERFACE*

No âmbito operacional de uma união aparafusada, o aperto de um parafuso pode ser visto como uma operação simples, entretanto, o processo de aperto, quando liberado em chão de fábrica, guarda no seu histórico todo um trabalho de desenvolvimento científico, que leva em consideração características como rigidez tanto do parafuso quanto da junta e, para que ocorra esse desenvolvimento, há a necessidade de observar fenômenos que não podem ser visíveis a olho nu.

O método abordado por esse trabalho para visualização de característica de uma junta aparafusada faz o uso da técnica de extensometria a qual consiste em mensurar a deformação do componente durante a aplicação de uma carga com uso de extensômetros, conhecidos como *strain gages* (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

No intuito de se investigar as condições presentes nas operações de aperto, faz-se necessário o uso de um mecanismo com a qual se possa fazer com que os efeitos não visíveis, gerados pela ação de se aplicar um determinado torque sobre um parafuso, sejam levados a um modelo macro, onde facilmente possa ser interagido.

2.3.1 Extensômetros Elétricos

Extensômetros elétricos transformam a deformação mecânica em variação de resistência elétrica. Essa transformação é, na maioria dos casos, proporcional.

Segundo Cavaco (2006), William Thomson em 1856, ao realizar estudos experimentais com condutores de cobre e ferro submetidos à solicitação mecânica de tração, verificou que a resistência elétrica que percorria esses condutores era uma função da constante de resistividade elétrica do material e das variáveis: comprimento e seção transversal.

Os extensômetros são utilizados basicamente na parte de metrologia e comercialmente são conhecidos como *strain gages*.

Segundo Campos, Vasconcelos e Ávila (1993), os *Strain Gages*, itens mostrados na figura 9, são transdutores que transformam deformação mecânica do seu corpo em variação de resistência elétrica. Podem ser construídos de fio ou de lâminas metálicas finas. Dentre ampla utilidade de tal componente pode-se citar a construção de células de carga, sendo que este é colado na superfície de um metal modelado de acordo com a aplicação de modo que, ao ser posto sob tensão, irá se deformar, e assim deformando com ele o *Strain Gage*. Uma vez que esteja alimentado por uma pequena corrente elétrica, será possível perceber a variação de tensão da ordem de poucos *mV*.

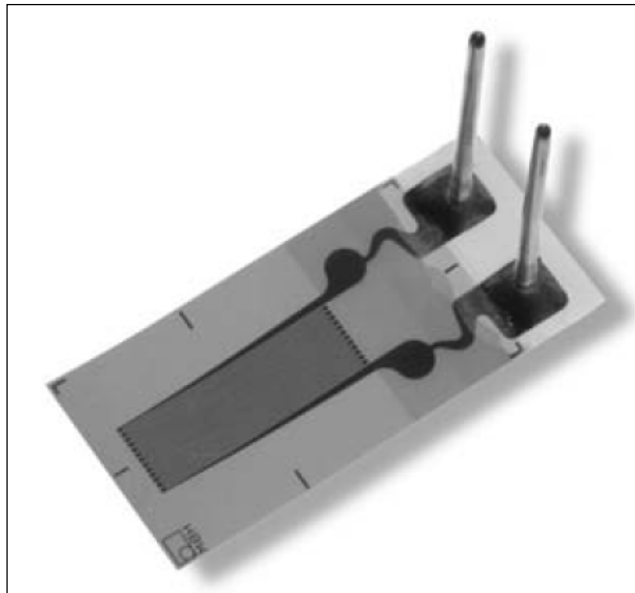


Figura 9 – Strain Gage
Fonte: HBM (2011, p. 68)

2.3.2 Célula de Carga

Basicamente uma célula de carga é um ou, mais *strain gages* fixados em uma peça metálica. Com isso, quando aplicada uma força sobre esta peça, ela irá se deformar e assim, irá deformar o *strain gage* e, com a sua deformação, será possível obter uma variação de sinal elétrico (CAVACO, 2006).

2.3.3 Sinais Elétricos e Amplificadores

Quando há deformação em um material metálico, que tenha na sua superfície um *strain gage* colado, se for mensurada a variação da resistência elétrica entre os dois contatos desse extensômetro, poderá detectada uma pequena variação (ANDOLFATO; CAMACHO; BRITO, 2004).

Ao se montar um circuito elétrico conhecido como Ponte de Wheatstone (figura 10), que tenha como um de seus resistores o *strain gauge* que faça parte da célula de carga, poderá ser observada uma pequena variação de tensão elétrica, da ordem de poucos mV .

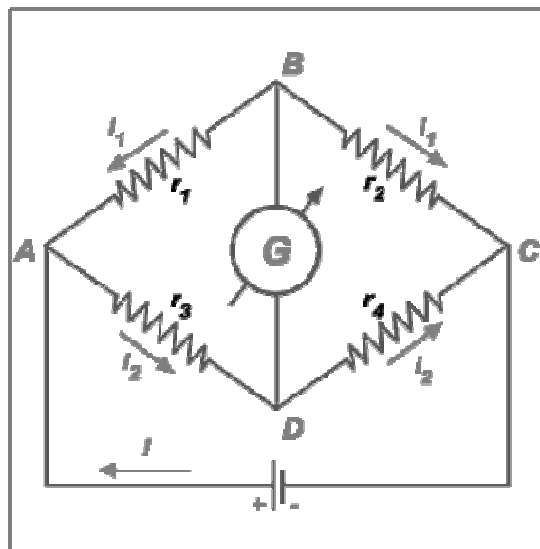


Figura 10 – Ponte de Wheatstone
Fonte: Adaptado de Efísica (2012)

Interpretando o fluxo da corrente elétrica representado na figura 10, conclui-se que aplicando uma diferença de potencial elétrico entre os pontos A e C, tendo as resistências $r_1 = r_2 = r_3 = r_4$, assim, B e D terão o mesmo potencial elétrico, sendo no ponto G, a tensão é igual a 0 (zero) (EFISICA, 2012).

Considerando agora que, por exemplo, r_4 assuma o valor correspondente ao de um *strain gage* fixo em uma célula de carga, e que este inicialmente tenha valor igual aos demais resistores, a partir do instante em que houver variação de resistência elétrica nesse componente, haverá uma pequena diferença de potencial

elétrico entre os pontos *B* e *D*, esta que por sua vez, poderá ser vista sobre o ponto *G*.

Assumindo que um *strain gage*, o qual faça parte de um circuito de uma Ponte de Wheatstone, esteja fixado em uma peça com as características de uma célula de carga, e que esta receba um carregamento externo, em dois terminais da Ponte poderá ser vista uma pequena diferença de potencial elétrico da ordem de poucos *mV*. Com um sinal tão baixo não seria possível desenvolver um experimento, então se faz necessário que seja amplificado este sinal para um valor acessível aos conversores comerciais. Para esta operação se tem como artifício o uso de amplificadores operacionais (LIRA, 2012).

O amplificador operacional é um circuito integrado que realiza operações matemáticas entre as tensões nas suas entradas, uma inversora e outra não inversora, fornecendo um resultado na sua saída (PESQUEIRA, 2008). Com isso os amplificadores operacionais são componentes básicos de computadores, além de serem utilizados em outras aplicações, como instrumentação industrial, sistemas de controle, equipamentos de telecomunicação.

De modo genérico, um amplificador operacional pode ser representado como na figura 11.

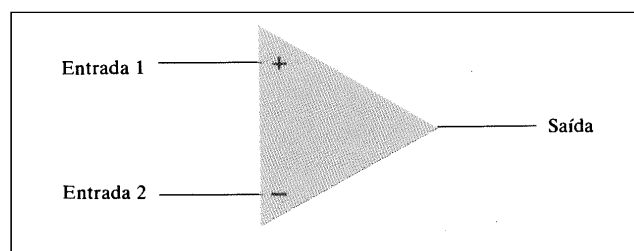


Figura 11 – Amplificador Operacional
Fonte: Boylestad (1999, p. 428)

Inúmeras são as aplicações para amplificadores operacionais. Vão desde o simples ganho proporcional até o cálculo relativamente complexo de uma integral, o que irá mudar é a forma de montagem escolhida pelo usuário. Para este trabalho a configuração do amplificador se restringirá aos modelos: amplificador inversor, amplificador não-inversor e amplificador subtrator.

O amplificador subtrator, representado pela figura 12, pode ser montado a partir do circuito integrado comercialmente denominado por 741. Uma característica fundamental dessa configuração de montagem para uso em amplificador é o fato

de poder eliminar interferências ou ruídos presentes nos sinais muito baixos. Isso ocorre devido ao fato de haver um resistor entre sua entrada não inversora e terminal negativo do circuito elétrico, dessa forma qualquer interferência no sinal irá incidir sobre as duas fases de entrada, sendo assim a diferença entre elas permanecerá nula (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1999).

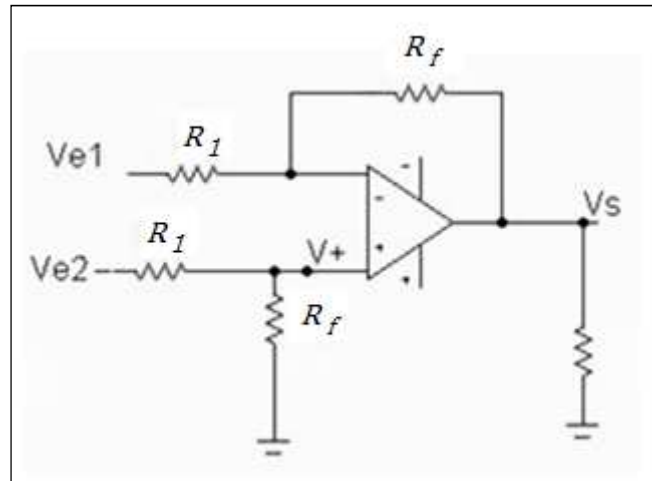


Figura 12 – Amplificador Subtrator
Fonte: Adaptado de Pesqueira (2008)

O ganho desse amplificador está na relação entre os resistores R_f / R_1 , e tem a direção do sinal invertida (PESQUEIRA, 2008).

O amplificador inversor, representado pela figura 13, tem o ganho proporcional à relação entre R_f / R_1 e, como o próprio nome diz, tem a direção do sinal invertida (BOYLESTAD; NASHELSKY, 1999).

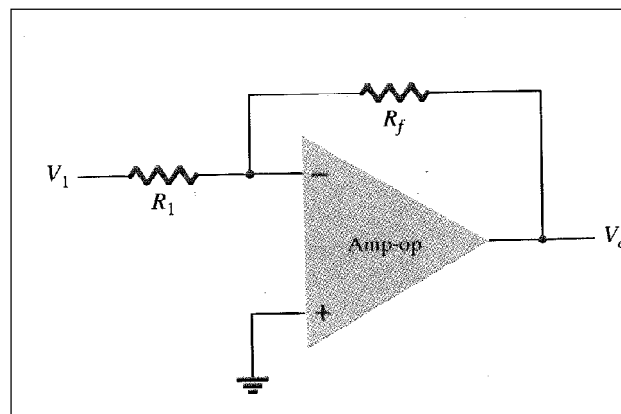


Figura 13 – Amplificador Inversor
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999, p. 433)

Segundo Boylestad e Nashelsky (1999), o amplificador não-inversor, representado pela figura 14, tem como ganho o resultado da equação (10).

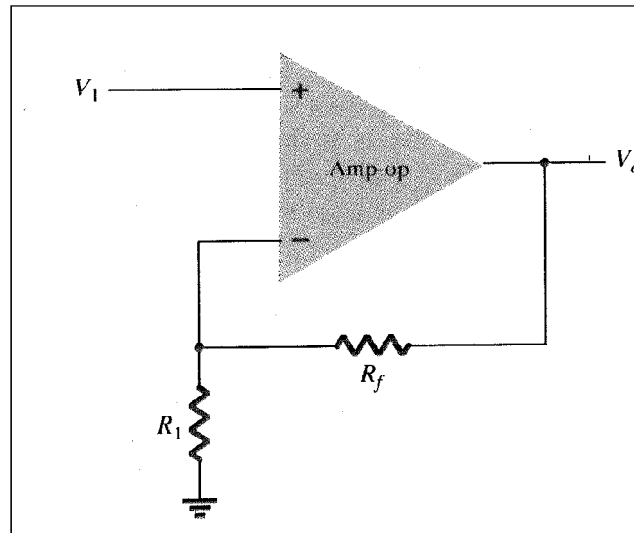


Figura 14 – Amplificador Não-inversor
Fonte: Boylestad e Nashelsky (1999, p. 435)

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot V_1 \quad (10)$$

Onde:

- V_o é a tensão de saída;
- V_1 é a tensão de entrada;
- R_f e R_1 são as resistências conforme indicado na figura 14.

2.3.4 Método de Controle por Microcontroladores

Entre os meios de se converter sinais elétricos em interface para usuários existem alguns simples e práticos de serem usados, que nos fornecem os resultados e permitem fazer o controle de forma mais amigável e simples. O microcontrolador é um dispositivo que pode ser utilizado para o controle de um processo, pois além de ser prático, tem o custo relativamente baixo.

O microcontrolador é basicamente um microprocessador com recursos para realizar o controle como memória interna e periférico de entrada/saída. Por causa do

seu tamanho, custo e consumo de energia, os microcontroladores são bastante utilizados na automação de processos (SOUZA, 2005).

Um microcontrolador bastante utilizado no mercado é da família PIC. Seu nome é oriundo de "*Programmable Interface Controller*" (Controlador de Interface Programável) e o seu processamento de dados varia entre 8 bits, 16 bits e 32 bits. O PIC possui alta velocidade de processamento, resultado da arquitetura Harvard, que tem como conceito a separação entre a memória de dados e a memória do programa. Também se diferencia pela quantidade de I/O e pelo conjunto de instruções RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) que, em português, traduz-se como Conjunto Reduzido de Instruções). Atualmente o PIC é fabricado pela *Microchip Technology Inc.* que dispõe de vários tipos de modelos. Neste trabalho será utilizado o modelo **16F877A** visto na figura 15 (SOUZA, 2005).



Figura 15 – Microcontrolador PIC 16F877
Fonte: Circuitstoday (2013)

3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema capaz de medir força de tração sobre um parafuso no momento em que é aplicado um torque sobre o mesmo. Para isso foi necessária a montagem de um dispositivo mecânico e eletrônico, para posteriormente se realizarem os ensaios. Com a figura 16 pode-se observar sequencia de eventos, mecânico e elétricos, e de que forma chega à *interface* homem-máquina (IHM), uma vez em que este tem início com o aperto do parafuso e termina como representação visual para o usuário.

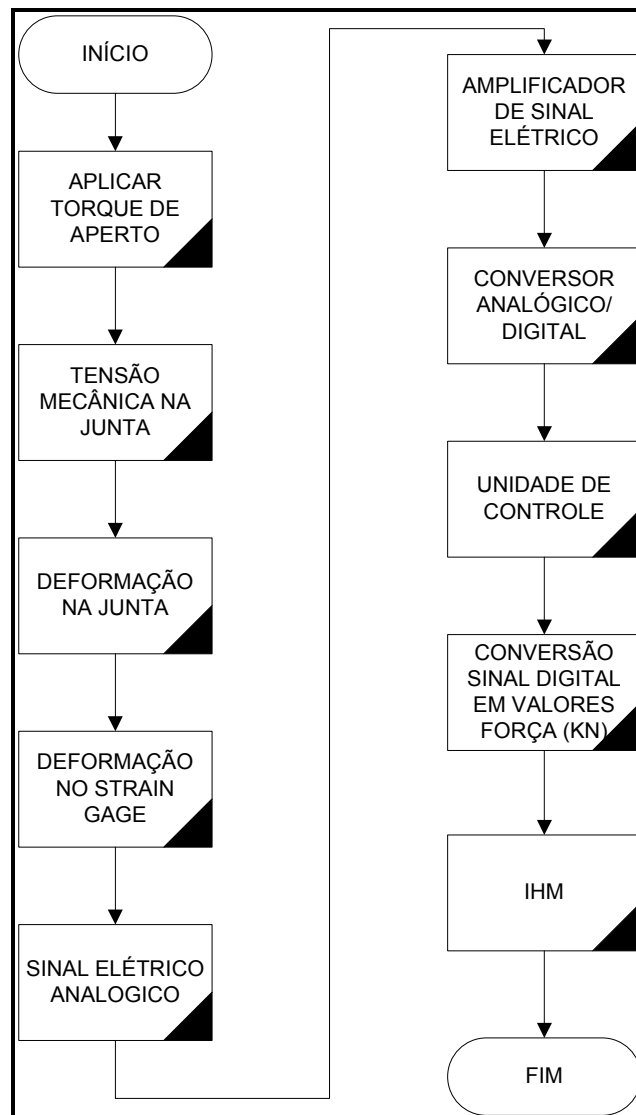


Figura 16 – Sequencia de eventos durante o ensaio
Fonte: Autoria Própria

3.1 MODELAGEM 3D SISTEMA MECÂNICO

Tendo em mente a funcionalidade do sistema, foi estudada a utilização de diferentes tipos de células de carga para medir os esforços propostos no parafuso. Visando a fácil substituição, fabricação, facilidade de manuseio e operação dentro do regime elástico. Foram analisados vários protótipos até se chegar ao modelo que melhor atenderia ao objetivo.

Em auxílio ao estudo para chegar ao melhor modelo de célula de carga, foi utilizado software de CAD (*Computer Aided Design*) e CAE (*Computer Aided Engineering*), nesse caso o Solid works, ambiente onde se consegue uma imagem exata do projeto mecânico. Com ele foram realizados testes com a ferramenta de CAE obtendo informações para o aprimoramento do protótipo. Foram analisados alguns protótipos virtuais até chegar à célula utilizada.

Inicialmente, foi proposto um modelo que pudesse ser introduzido entre o parafuso e a junta à qual fosse aparafusada, similar a uma arruela, como mostra a figura 17.

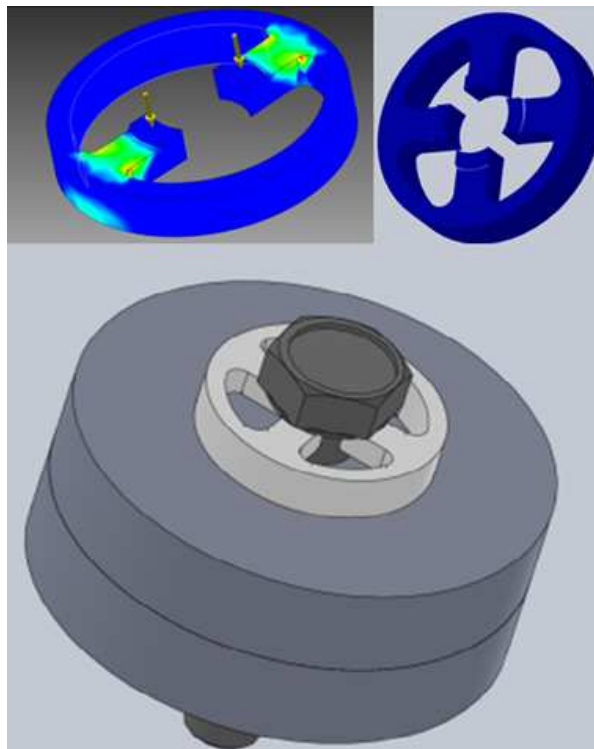


Figura 17 – Célula de carga do tipo arruela
Fonte: Autoria Própria

- Ponto positivo: poderia se utilizada para testes in loco;
- Pontos negativos: Fabricação complexa. Utilizaria ferramentas de maior grau de precisão e difícil colagem do *strain gages*, o que elevaria o custo.

Outro modelo que poderia ser adotado é em formato padrão, tipo "C" (figura 18), semelhante a modelos comercializados.

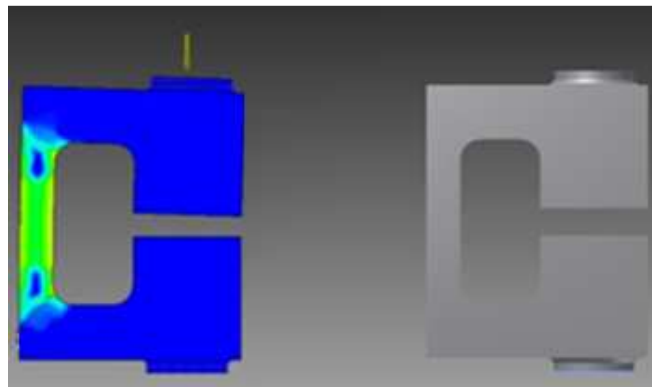


Figura 18 – Célula de carga tipo "C"
Fonte: Autoria Própria

- Pontos positivos: Robustez, fácil usinagem e grande área para colagem do *strain gage*;
- Pontos negativos: Seu tamanho dificultaria a inserção no sistema, pois seria restrita a parafusos longos; O modo como essa peça deforma poderia gerar flexão sobre o parafuso, necessitando de uma abordagem mais complexa com relação a análise de tensão.

Após algum tempo de estudo e verificação de todas as possibilidades, chegou-se a um modelo simples, onde o variável presente sobre a peça seria força de tração pura e com um formato relativamente simples de se confeccionar, tipo haste (figura 19).

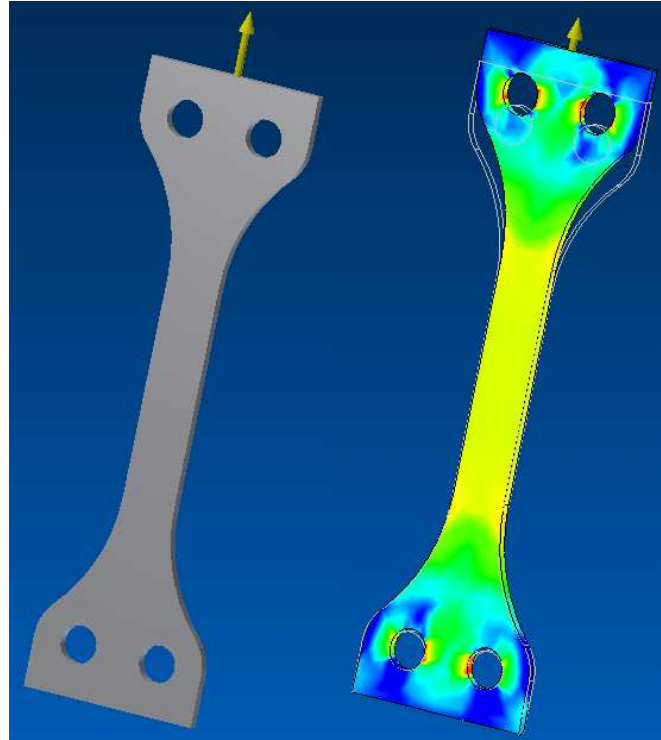


Figura 19 – Célula de carga tipo haste
Fonte: Autoria Própria

- Pontos positivos: Fácil manufatura. Pode ser feita a baixo custo utilizando uma chapa padrão com corte a laser ou corte a água; Fácil substituição; Força normal à seção transversal.

Aperfeiçoando o dispositivo mostrado na figura 19, através de análise de tensão, foi desenvolvido um novo desenho com objetivo aumentar a sua robustez. Neste novo modelo, a deformação seria concentrada sobre a região onde o *strain gage* estará fixado, na parte central da peça (figura 20). Isso trará maior robustez à peça, devido que em sua maior parte haverá uma maior área normal ao sentido de carregamento.

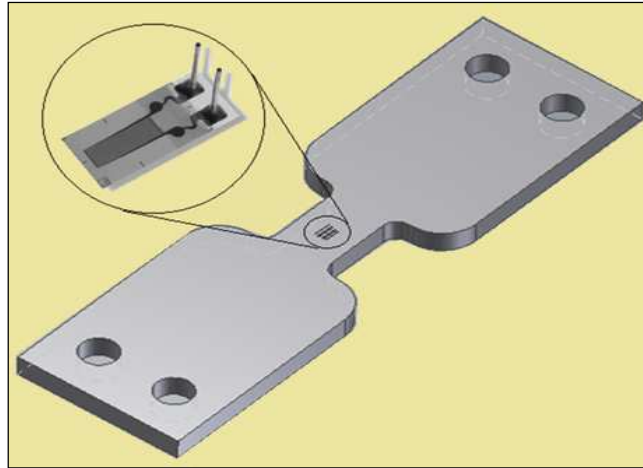


Figura 20 – Modelo final da Célula de Carga tipo haste
Fonte: Autorial Própria

Como desvantagem para esse modelo, tem-se o fato de haver a necessidade de ser fabricado um dispositivo que terá finalidade de posicionar o parafuso de modo que, quando aplicado o torque sobre o mesmo, ele tracione a célula de carga. Esse dispositivo está representado na figura 21, onde pode ser observado que existe um suporte que faz a conexão entre o parafuso e a célula de carga.

Mesmo agregando esse custo de fabricação, ainda optou-se por esse modelo, devido à facilidade de intercambiar sua utilização para diferentes tipos de parafusos. Pode-se dizer que há uma boa relação custo/benefício.

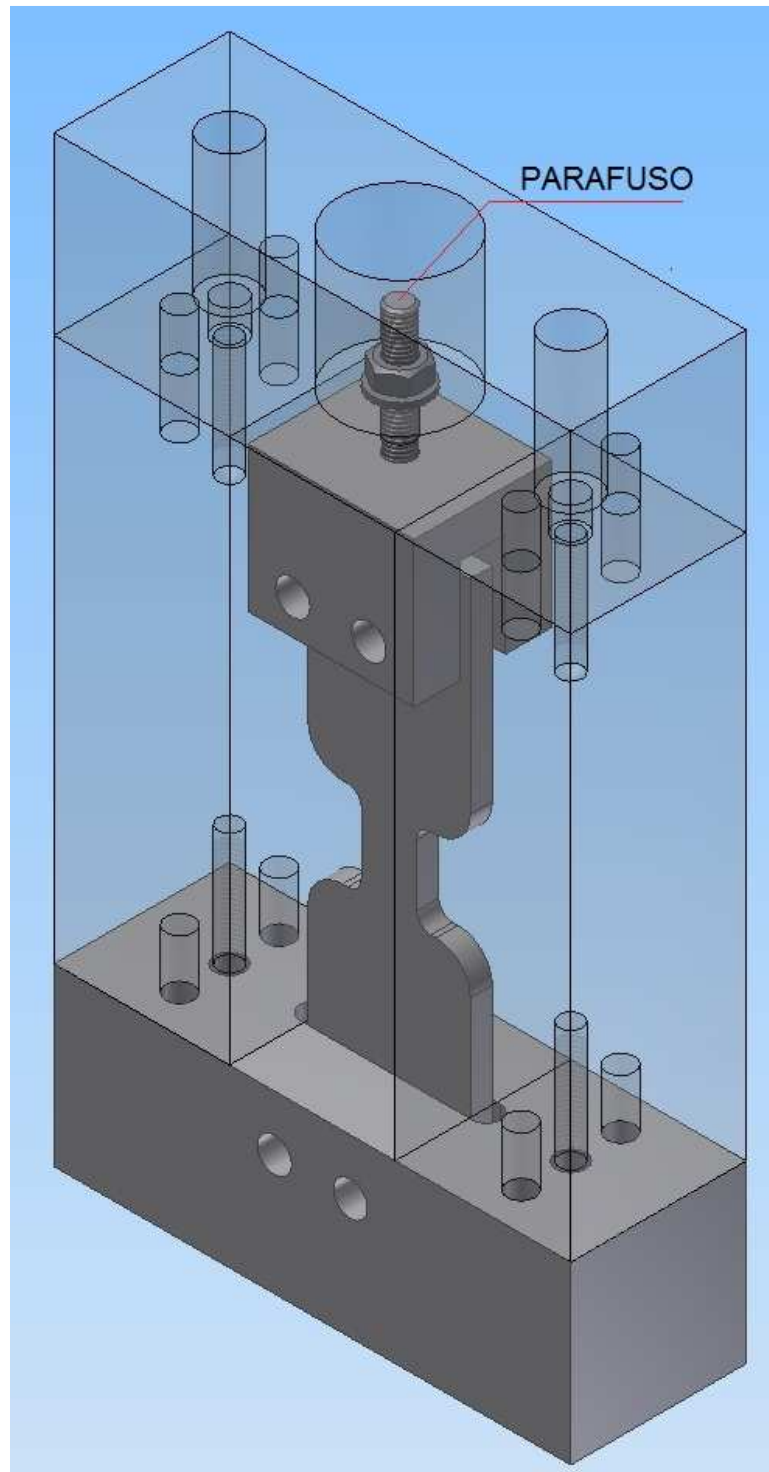


Figura 21 – Dispositivo posicionador com célula de carga
Fonte: Autoria Própria

3.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO SISTEMA

A norma DIN 946 (1991 apud MUNIZ, 2007, p. 30), como visto anteriormente, exhibe o coeficiente de atrito da rosca, do contato da cabeça do parafuso e o coeficiente de atrito total que para cada um deles existe a equação correspondente. Shigley, Mischke e Budunas (2005) traz três equações em contribuição para entendimento das variáveis de aperto. Na equação (11) o torque está em funções de variáveis como $\hat{\alpha}_r$ e f , o que é influenciado diretamente pela geometria e atrito da rosca do parafuso. Esta equação se encontra de modo simplificado onde os termos l, π e d_m foram introduzidos na equação a partir da igualdade $\tan \lambda = l/\pi d_m$.

$$M_A = \frac{F_V d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \hat{\alpha}_r}{\pi d_m - f l \sec \hat{\alpha}_r} \right) \quad (11)$$

Onde:

- M_A é o Torque de aperto;
- F_V a força aperto;
- d_m é o diâmetro médio do parafuso,
- λ é o ângulo de avanço da rosca do parafuso;
- $\hat{\alpha}_r$ é o ângulo de rosca;
- f é o coeficiente de fricção;
- 2 é uma constante fornecida segundo Shigley, Mischke e Budunas (2005).

Para a equação (12), Shigley, Mischke e Budunas (2005) atribuíram o nome de colar para as partes deslizantes entre si no processo de aperto, caso da cabeça/porca deslizando sobre arruela/peça apertada. Nesta equação surge um novo termo, o f_c , este representa a fricção entre as partes deslizantes entre si no processo de aperto.

$$M_A = \frac{F_V f_c d_c}{2} \quad (12)$$

Onde:

- f_c é o coeficiente de fricção do colar;
- d_c é o diâmetro do colar.

A equação (13) é proposta pelo mesmo autor com intuito de somar os efeitos causados pela fricção do contato da rosca e o contato da cabeça do parafuso.

$$M_A = \frac{F_V d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m \sec \hat{\alpha}_r}{\pi d_m - f l \sec \hat{\alpha}_r} \right) + \frac{F_V f_c d_c}{2} \quad (13)$$

De modo a simplificar os cálculos, Norton (2004) mostra a equação (14), onde ele relaciona, com base em uma simplificação da equação (13), torque, força e diâmetro do parafuso ao coeficiente de torque (K), este que corresponde às variáveis de atrito do processo de aperto.

$$M_A = F_V \cdot d \cdot K \quad (14)$$

Onde:

- d é o diâmetro nominal do parafuso;
- K é o coeficiente de torque.

O presente trabalho fará uso da equação (14), com intuito de investigar o coeficiente k , de modo a observar sua influência sobre a força tensora de juntas aparafusadas

Como referência para o dimensionamento da célula de carga será utilizado um parafuso norma ISO 898-1 M8 classe 8.8 passo 1,25 mm. O valor atribuído à resistência de prova para este parafuso, tem de 580 a 600 MPa e área sob tração é de 36,6 mm² (CISER, 2008). Assim, para uma tensão de 600 MPa, aplicando as equações (6) e (14), deste trabalho, pode-se afirmar que a força de prova e torque limite para esse parafuso é da ordem de 22 kN e 35 Nm respectivamente, ou seja, a força de tração sobre o parafuso para os ensaios não irá superar esse valor, assim, a célula de carga do dispositivo deste experimento deverá ser projetada para suportar no mínimo o carregamento de 22 kN.

Para definir as características geométricas da célula de carga foi estipulado como material o aço SAE-1020, devido às suas características comerciais. Com

essa definição foi realizado um ensaio de tração com um corpo de prova de dimensões conhecidas, tendo a seção transversal de 148 mm^2 . A partir desse ensaio, chegou-se ao resultado conforme mostrado pela figura 22. Da curva F/ϵ , extrai 5000 Kgf como força limite de escoamento. Considerando a aceleração da gravidade como sendo $9,8 \text{ m/s}^2$ e aplicando a equação (6) desse trabalho, pode se afirmar que o corpo de prova tem como tensão de escoamento o valor de 337 MPa .

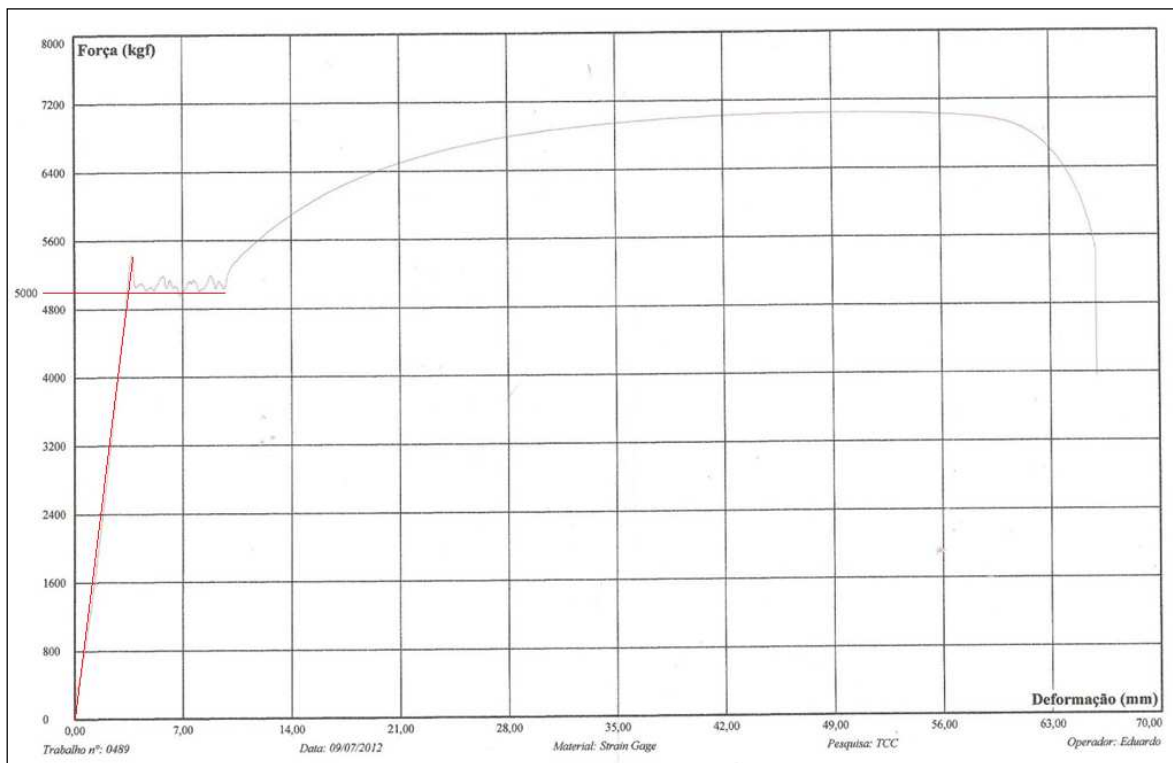


Figura 22 – Gráfico de relação Força/Deformação para aço SAE-1020
Fonte: Autoria Própria

3.3 DIMENSIONAMENTO DA CÉLULA DE CARGA

Uma vez encontrada a tensão de escoamento do aço SAE-1020 (337 MPa) e tendo o limite da força com o qual se trabalhará no experimento 22 kN (), pode-se aplicar a equação (6). Assim, conclui-se que a seção transversal da célula de carga que será utilizada no trabalho deverá ser superior a $65,3 \text{ mm}^2$. Pensando no custo/benefício do processo de fabricação será utilizada chapa de aço SAE-1020 com espessura de $1/4''$ ($6,35 \text{ mm}$) e com largura do ponto de referência de 16 mm ,

conforme mostrado na figura 23. Nesta dimensão foi adicionada uma margem de segurança de modo a impedir que desvios durante a execução do ensaio provoquem deformação plástica da peça. A área da seção transversal da célula de carga terá pouco mais de 100 mm^2 , sendo capaz de suportar até 35 kN . Desse modo, a força máxima que será aplicada sobre o sensor de carga no momento do ensaio estará em aproximadamente 65 % do seu valor limite.

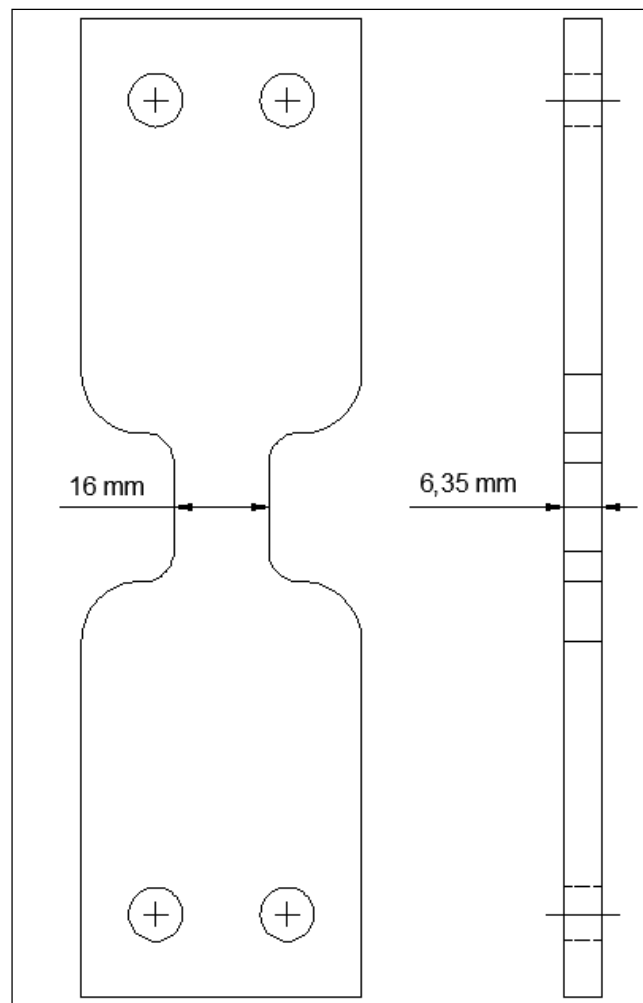


Figura 23 – Detalhe dimensional da haste da célula de carga
Fonte: Autoria Própria

3.4 ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

Para a montagem deste trabalho foram utilizados componentes comercialmente comuns, sendo de custo relativamente baixo. A lista de materiais

para a montagem do sistema eletrônico, descrito na sequência, pode ser visualizada no APÊNDICE C.

A modelagem eletrônica desse sistema tem início a partir de um circuito fonte, que tem a finalidade de suprir a necessidade de energia do experimento. Esse item não foi revisado ao longo do estudo desse trabalho, tendo em vista que poderá ser utilizada qualquer fonte comercial com tensão elétrica entre 12 e 18 V e capacidade de corrente superior a 300 mA.

Tendo o *strain gage* fixado na célula de carga, seus dois contatos elétricos serão ligados ao condicionador de sinais através de um par de cabos flexíveis, de bitola 0,25 mm². Dentro do circuito, a entrada desse sinal corresponde a dois pontos de abertura da Ponte de Wheatstone (figura 24), que por sua vez foi montada utilizando em seus resistores tolerância de 1%. Para equalização da ponte foi montado RV3 // R14 (sendo RV3 um *trimpot* multivolta e estando paralelo ao resistor R14, consegue-se uma menor sensibilidade) e estes em série com o *Strain Gage*.

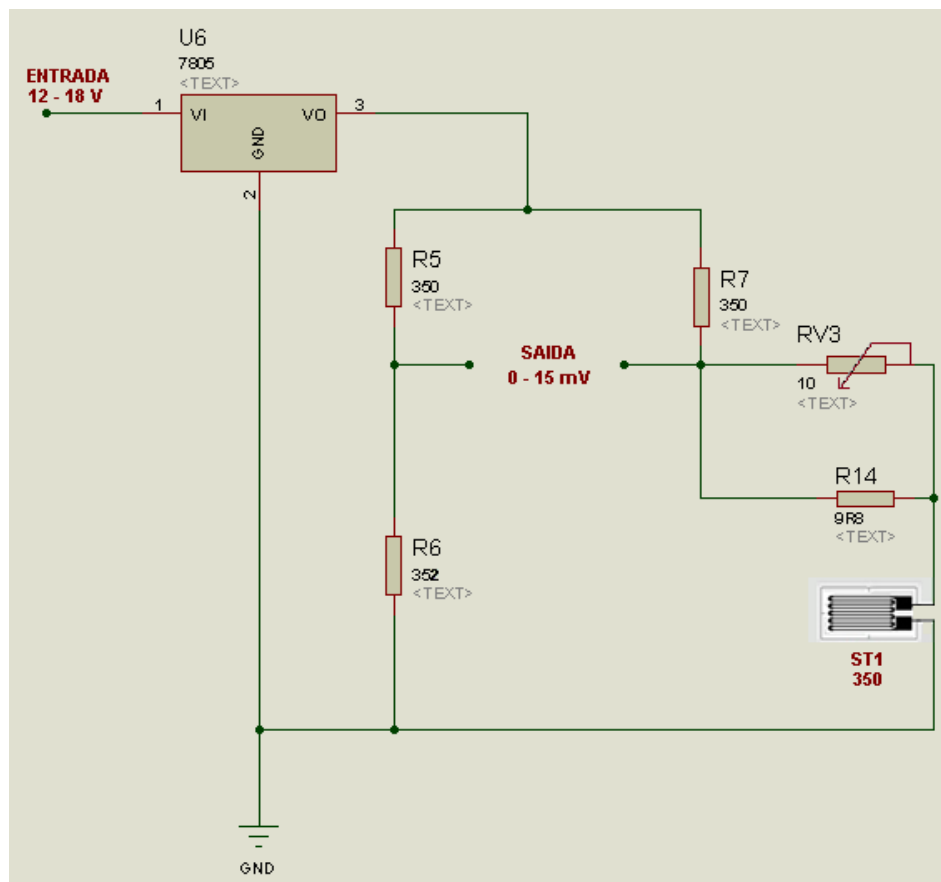


Figura 24 – Circuito medidor de tensão (V)
Fonte: Autoria Própria

Com a ponte de Wheatstone sendo alimentada por uma fonte elétrica e tendo seus resistores balanceados juntamente com o *strain gage*, foram utilizados três amplificadores (figura 25). O primeiro a receber o sinal vindo da Ponte foi o subtrator, devido às características do sinal. Na sequência um amplificador não-inversor e, por fim, para ajustar o sentido do sinal, o amplificador inversor. Para ambos os amplificadores foram utilizados relação de 10/1 entre R_f / R_1 , sendo que R_f utilizou-se um resistor do tipo ajustável, permitindo, assim, serem efetuadas possíveis correções.

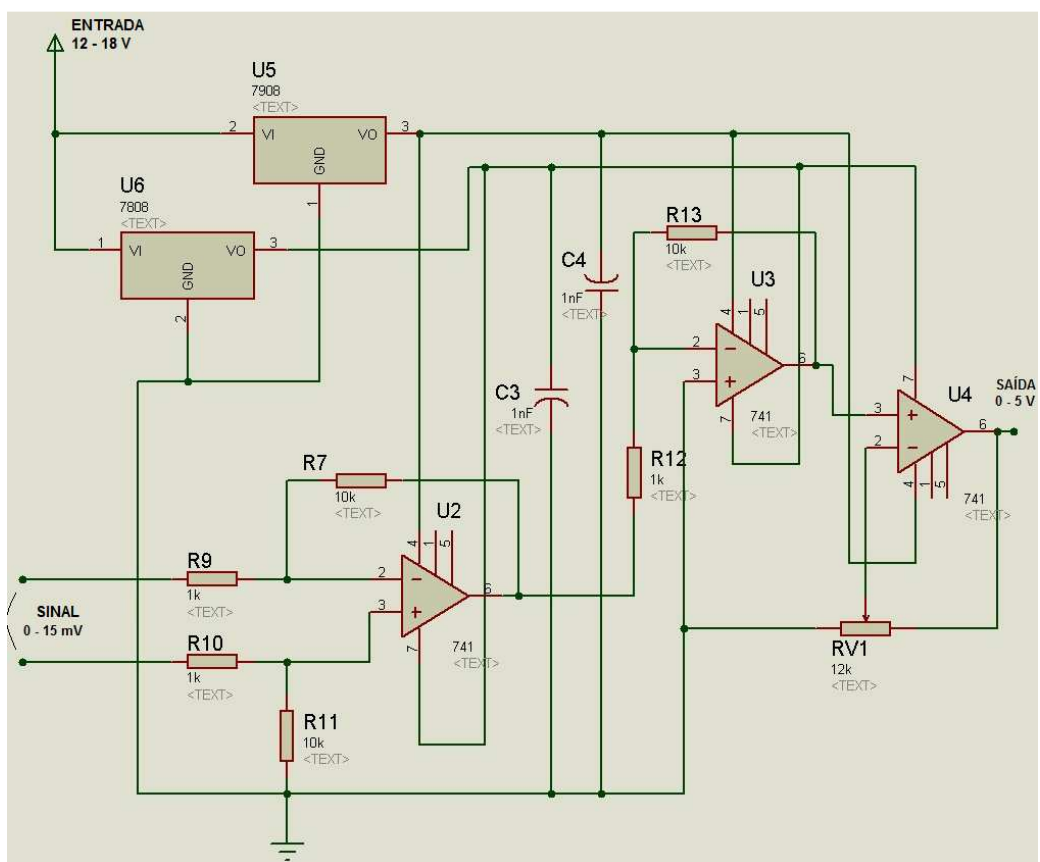


Figura 25 – Circuito amplificador de tensão (V)
Fonte: Autoria Própria

Na saída do circuito amplificador de tensão foi obtida uma variação de tensão elétrica de 0 a 5 V, ou seja, para a célula de carga livre de carregamento, a saída corresponde a 0 V, e com força total, a saída corresponde a 5 V. Este sinal foi levado a uma entrada analógica de um microcontrolador, que por sua vez foi preparado para converter esse sinal analógico em uma lógica digital. Este procedimento

permite mostrar em um *display* de LCD o resultado visível ao usuário final (figura 26).

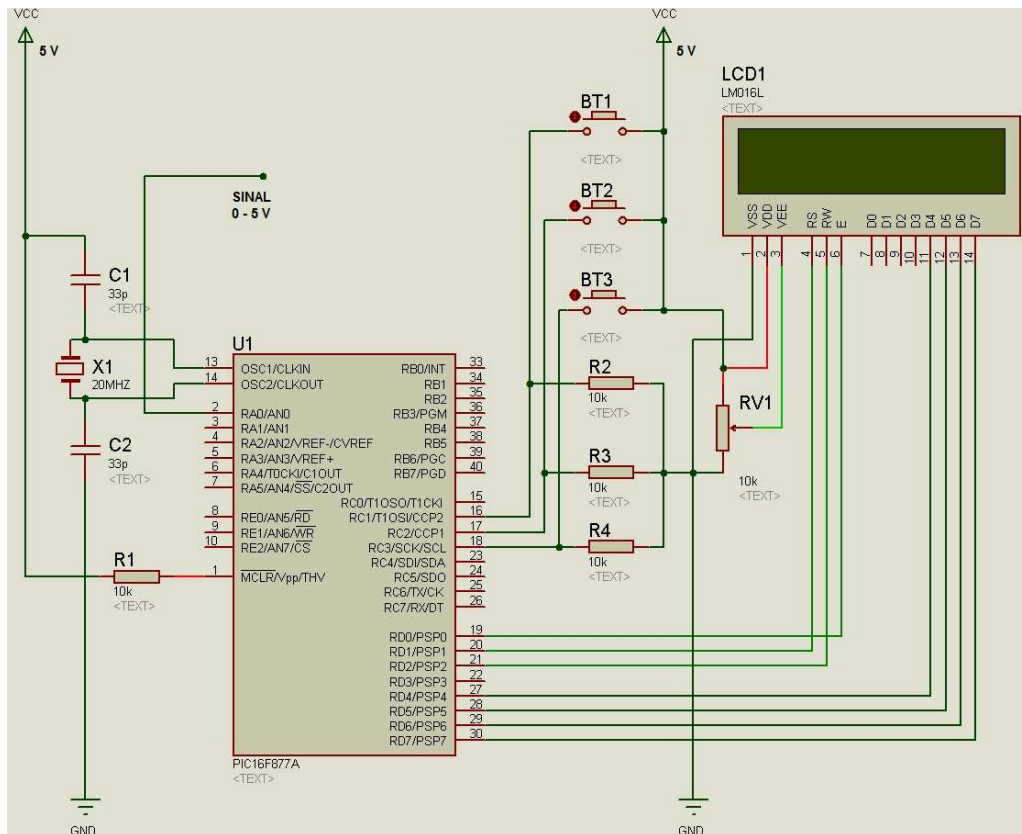


Figura 26 – Circuito de controle e interface
Fonte: Autoria Própria

Para obter uma curva de referência entre V/σ , inicialmente, o microcontrolador foi programado para mostrar no display de LCD o mesmo valor de sua entrada, sendo este o valor de 0 a 5 V, com precisão de cinco casas decimais.

Com a programação inicial, o experimento foi levado à máquina de ensaio de tração, permitindo a coleta dos dados necessários para montagem de um gráfico que relaciona a tensão (σ) sobre o corpo de prova com a tensão elétrica de saída (V) do circuito. Com esses valores foi possível extrair a curva característica dessa relação, que está representada na figura 27. Esses dados foram coletados de forma visual, ou seja, no *display* da máquina de ensaio de tração era exibido o valor da força aplicada sobre o corpo de prova e no *display* do protótipo era exibido o valor de tensão (0 a 5 V). Importante ressaltar que o range de variação do protótipo (0 a 5

V) foi ajustado para corresponder a um range de força dentro do limite de carregamento da célula de carga (0 a 35 kN).

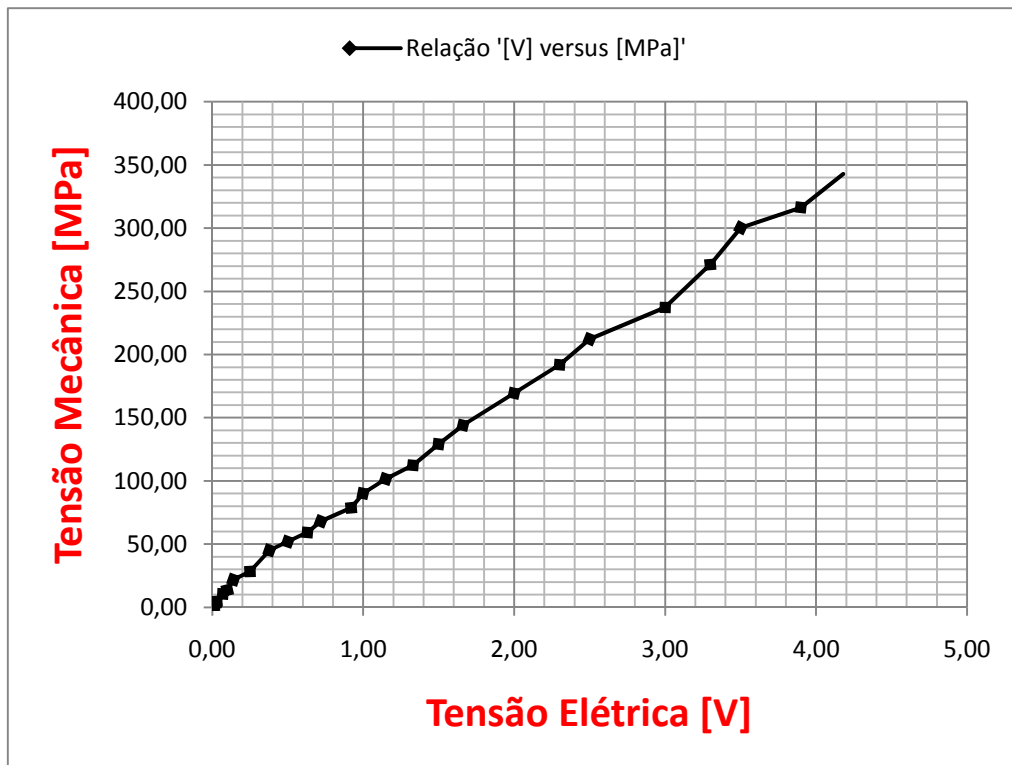


Figura 27 – Relação Tensão (V) / Tensão (MPa)
Fonte: Autoria Própria

Com base na curva exposta na figura 27, é possível relacionar o sinal analógico de entrada no controlador (V) com a tensão sobre o corpo de prova (σ). Com essa relação é possível, também, equacionar a curva de saída para qualquer dimensão de célula de carga, desde que seja utilizado o mesmo material.

3.5 FABRICAÇÃO E MONTAGEM DO SISTEMA MECÂNICO

Na fabricação do protótipo (figura 28), foram utilizados recursos mecânicos para se chegar ao produto final. Dentre esses recursos o mais usado e importante foi a usinagem. Este processo consiste em dar forma, dimensão ou acabamento à peça mediante a remoção de cavaco, material removido pela ferramenta.

Para a usinagem das peças do protótipo, foi utilizado um Centro de Usinagem. Um Centro de Usinagem é basicamente uma fresadora, as quais se juntaram com outros componentes mecânicos e eletrônicos, tornando assim, uma máquina mais versátil. Além de ser controlada por CNC (Comando Numérico Computadorizado), dando assim uma maior confiabilidade, menor tolerância e melhor acabamento superficial.

Para este trabalho, a usinagem é um fator determinante, pois se ela for realizada de maneira incorreta, pode ocasionar variações nas dimensões das peças do protótipo, assim prejudicando tanto a montagem do sistema quanto o funcionamento do mesmo.



Figura 28 – Protótipo para medição de força de união
Fonte: Autoria Própria

3.6 MONTAGEM DA CÉLULA DE CARGA

Depois de dimensionada a célula de carga e definida onde estará a concentração de tensão, se terá o local para fixar o *strain gage*. A aplicação do mesmo envolve a preparação da superfície da peça, a instalação e aplicação do *strain gage* e a verificação da instalação.

Segundo Grante (2011) é importante salientar alguns aspectos desse processo, tais como:

- O *strain gage* é um componente muito delicado. Deve ser manipulado com luvas cirúrgicas e pinças de preferência com pontas revestidas com materiais polímeros;
- A superfície da peça e do *strain gage* devem estar completamente limpos, sem nenhum traço de sujeira, o que comprometeria a união do sistema;
- O *strain gage* deve ser fixado sobre a superfície metálica com adesivo à base de cianoacrilato.

Materiais necessários (GRANTE, 2011):

- Escova de cerdas metálicas para aço;
- Lixas de granulometria fina e grossa;
- Algodão;
- Toalha de papel;
- Álcool isopropílico;
- Pinça de ponta reta ou com ângulo;
- Luvas cirúrgicas;
- Adesivo a base cianoacrilato;
- Fita adesiva transparente;
- Fita isolante.

3.6.1 Preparação da superfície

Preparar a superfície é o procedimento fundamental para que possa ser colado o *strain gage* na peça. A superfície deve estar totalmente limpa, livre de umidade, óleos e gorduras, eles inibem a união entre a peça e o *strain gage*.

Ao começar a limpeza, primeiro passa-se a escova de cerdas metálicas para remover as sujeiras mais grossas. Em seguida, deve-se lixar a superfície com a lixa de maior abrasão. Qualquer irregularidade deve ser removida nessa etapa, deixando a superfície uniforme. Feito isso, a superfície deve ser limpa quimicamente com álcool isopropílico e toalha de papel, fazendo-se o movimento do centro para as bordas (GRANTE, 2011).

Na próxima etapa será usada a lixa com menor abrasão. Nessa etapa é importante que seja feita a marcação de onde será fixado o *strain gage*, pois é nela que será focado o processo de limpeza. Também nessa etapa a superfície deve ficar a mais lisa possível para que o adesivo se espalhe o mais uniformemente possível (GRANTE, 2011).

Para a limpeza final da superfície é necessário o uso de luvas cirúrgicas, para que não haja contato da pele com a área de trabalho. Não assoprar a superfície, qualquer resíduo deve ser retirado com a pinça, algodão ou toalha de papel (GRANTE, 2011).

3.6.2 Fixação do *Strain Gage*

Para se manusear o *strain gage* é recomendado o uso de luvas cirúrgicas e pinça, de modo a evitar a contaminação, dos locais de colagem, com gorduras presentes na pele. Uma boa estratégia é manipulá-lo tocando apenas seus contatos, assim evitando danificar o seu corpo. Em seguida colocar o mesmo no local de fixação, já limpo e marcado. O posicionamento do *strain gage* deve ser confirmado neste momento (GRANTE, 2011).

Na sequência, aplica-se um pedaço da fita adesiva transparente de tamanho maior que o *strain gage*. Aplica-se a fita adesiva sobre o extensômetro, pressionando contra a superfície da peça fazendo-o fixar.

Com a fita colada sobre *strain gage*, levantar uma das pontas da fita, até que o corpo do *strain gage* fique exposto. Adicionar o adesivo cianoacrilato no local onde o corpo do *strain gage* permanecerá e abaixar a ponta da fita adesiva lentamente e de forma uniforme, novamente pressionando o *strain gage* sobre a superfície da peça (GRANTE, 2011).

Após a cura do gel adesivo, pode-se retirar a fita adesiva e verificar se o *strain gage* está bem fixado. Em seguida fazer o isolamento dos contatos elétricos do *strain gage*, que será ligado ao sistema eletrônico. Também se deve proteger o corpo do extensômetro com auxílio de componentes isolantes e flexíveis, como fita isolante.

Após este processo a célula de carga estará pronta e disponível para o uso do sistema.

De acordo com Grante (2011) durante a operação de montagem do *strain gage*, alguns aspectos devem ser considerados:

- Durante a limpeza do local aonde vai ser fixo o *strain gage*, fazer movimentos no sentido do centro para periferia da peça. Assim o todo contaminante será retirado do local. A cada etapa, trocar os elementos de limpeza: algodão ou toalha papel;
- Depois de limpa a superfície, não tocar diretamente com as mãos ou dedos, eles estão contaminados com as gorduras da pele. Por isso trabalhar com as luvas cirúrgicas nas etapas finais do processo;
- Não deixar o produto de limpeza evaporar na superfície, pois eles contêm contaminantes. Se o produto evaporar, os contaminantes irão permanecer no local;
- Não deixar a superfície muito tempo sem uso após a limpeza, o que poderá ocasionar oxidação.

3.7 AJUSTE E CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO

O ajuste de saída do equipamento consiste em relacionar o valor da tensão elétrica (V) de entrada com o valor de força (N) indicada na interface.

Com base nos valores de tensão elétrica (V) e tensão mecânica (σ) mostrados na figura 27 e sabendo que a seção transversal da célula de carga será de $101,6 \text{ mm}^2$, pode-se relacionar a tensão elétrica com força (N), como é mostrado na figura 29. A partir da relação extraída desse gráfico, chegou-se ao valor médio $8,5 \text{ N/mV}$, ou seja, para cada mV acrescido na entrada do controlador, $8,5 \text{ N}$ serão somados ao valor da saída. Dentro da programação do sistema de controle será utilizado esse valor como constante na equação da curva de relação N/V .

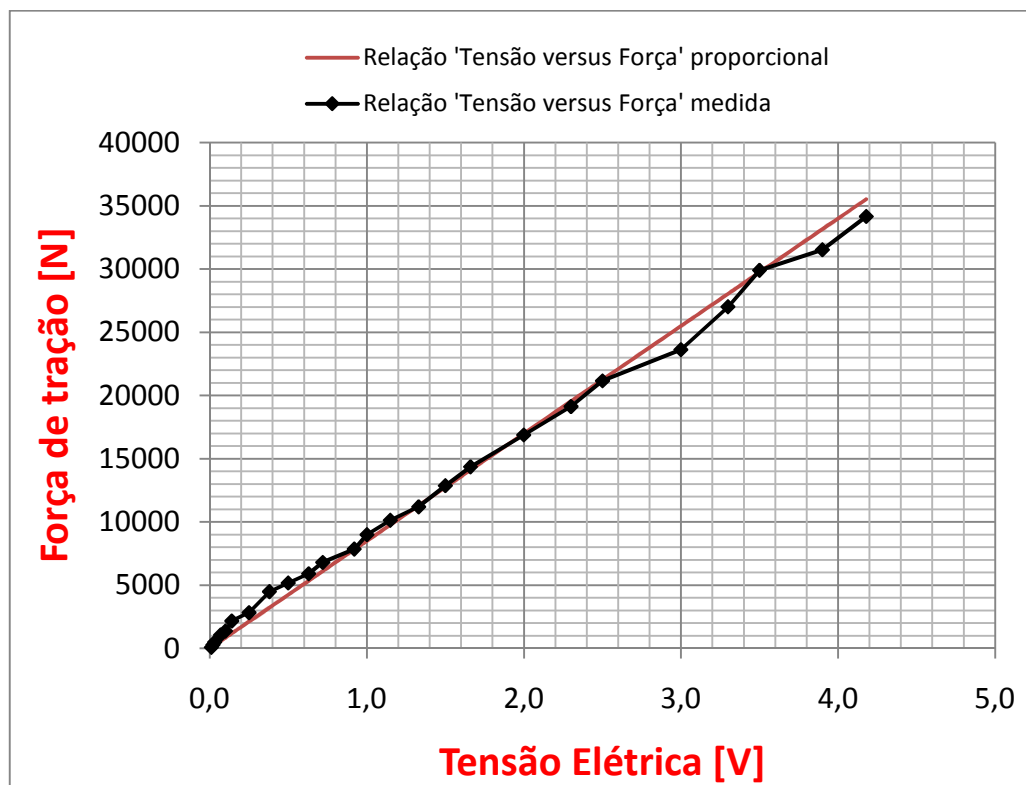


Figura 29 – Relação Tensão (V) / Força (F)
Fonte: Autoria Própria

Na figura 29 pode ser observado que existe uma relação relativamente linear, com um pequeno desvio entre F e V , se comparadas às curvas “relação medida e

relação proporcional”. De modo a definir o nível de precisão² do equipamento, foi levantado dentro do range de medição, os pontos de desvio em relação a uma reta proporcional (tendo como base o ganho médio da relação medida). Pode ser visto na figura 30 que a maior variação está na faixa inicial, esta que corresponde a 0,5% abaixo do que definimos como padrão. Sabendo que o equipamento foi projetado para faixas de 22 *KN*, pode-se considerar como erro para o processo valores da ordem de $\pm 0,1\%$ para o range de medição, sendo a faixa de 5 a 35 *KN*. Importante ressaltar que este ajuste inicial está fundamentado em relações teóricas. Dentro da programação disponível ao usuário, também será adicionado um segundo fator, chamado ganho. Com este fator será possível fazer ajustes da curva de resposta a nível operacional. Levando a célula de carga a uma máquina de ensaio de tração e, por comparação, o dispositivo poderá ser calibrado (APÊNDICE B).

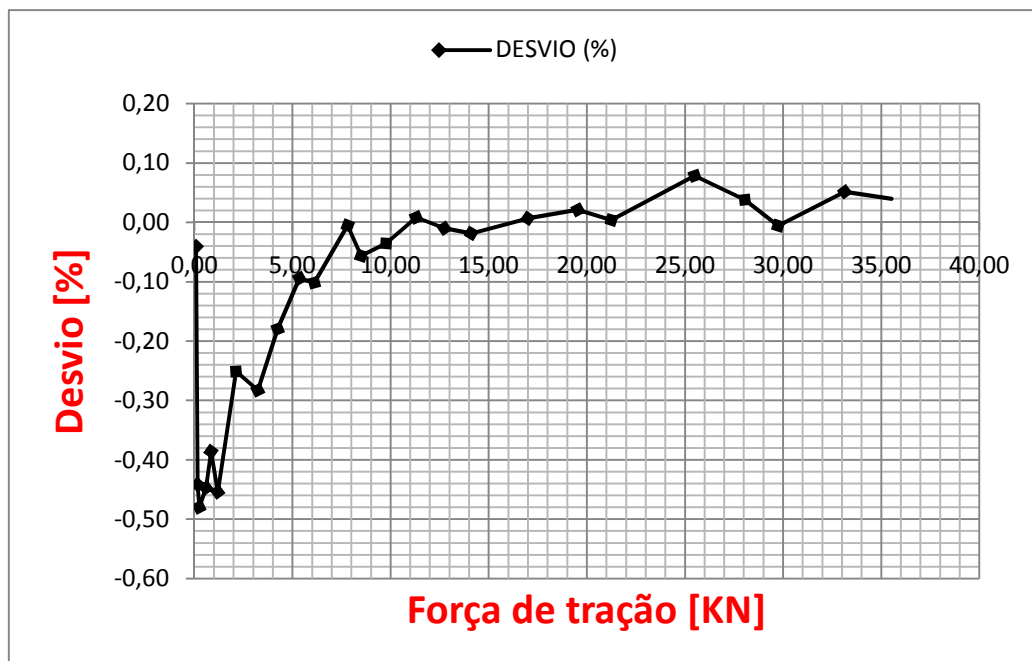


Figura 30 – Indicação de desvio entre a curva de ensaio e a reta proporcional
Fonte: Autoria Própria

Uma explicação detalhada de como poderá ser executados os ensaios no equipamento, bem como o que são cada um dos componentes, pode ser observada no APÊNDICE A.

² Nesse ponto é tratado da precisão de ajuste do equipamento. Outros desvios oriundos de aspectos operacionais não estão sendo considerados.

4. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

No capítulo 3 desse trabalho é citado como referência para dimensionamento do sistema, o parafuso M8 classe 8.8. Optou-se por esse modelo de parafuso devido ao fato de ser um elemento de grande aplicabilidade em diferentes segmentos, como indústria mecânica e construção civil. Cabe lembrar que não necessariamente o equipamento é aplicado a apenas o modelo de parafuso citado acima. Este é uma referência. Os ensaios poderão ser realizados com quaisquer parafusos que atendam aos quesitos dimensionais listados no procedimento de execução de ensaio (APÊNDICE A).

Com o intuito de otimizar a execução dos ensaios, esta etapa foi dividida em duas: (i) primeiramente nos ensaios preliminares busca-se extrair as características peculiares que existirão durante a execução do processo, e definir uma sequência prática de execução, para assim, levantar a eficácia do dispositivo para diferentes tipos de parafusos. (ii) Na sequência serão coletados os dados nos ensaios finais que, após análise, servirão para concluir o trabalho.

4.1 ENSAIOS PRELIMINARES

Foram realizados testes que serviram para estabelecer a metodologia ensaios e observar algumas peculiaridades do processo. Os resultados foram alinhados na tabela 1 e classificados de acordo com a força atuante oriunda do torque aplicado em tais parafusos.

Para a condição proposta para esse teste, o coeficiente de torque (K), extraído com uso da equação (14), deveria ser compreendido entre 0,1 e 0,3 (NORTON, 2007). Entretanto, foram observadas discrepâncias para algumas combinações de parafusos, porcas e arruelas.

Tabela 1 – Dados coletados em ensaios preliminares

POSIÇÃO	PARAFUSO	PORCA	ARRUELA	TORQUE (Nm)	FORÇA (KN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	5/16"-24 AÇO CARBONO G5	5/16"-24 AÇO CARBONO G5	Ø8 - AÇO CARBONO	20	17	0,147
2	5/16"-24 AÇO CARBONO G5	5/16"-24 AÇO CARBONO G5	Ø8 – AÇO AISI-304	20	16	0,156
3	M8 - AÇO CARBONO 8.8	M8 - AÇO CARBONO 8.8	Ø8 – AÇO AISI-304	20	15	0,167
4	5/16"-18 AÇO CARBONO G5	5/16"-18 AÇO CARBONO G5	Ø8 - AÇO CARBONO	20	15	0,167
5	5/16"-18 AÇO CARBONO G5	5/16"-18 AÇO CARBONO G5	Ø8 – AÇO AISI-304	20	14,8	0,169
6	M8 - AÇO CARBONO 8.8	M8 – AÇO AISI-304	Ø8 – AÇO AISI-304	20	13,5	0,185
7	M8 - AÇO CARBONO 8.8	M8 - AÇO CARBONO 8.8	Ø8 - AÇO CARBONO	20	12	0,208
8	5/16"-18 AÇO CARBONO G2	5/16"-18 AÇO CARBONO G2	Ø8 - AÇO CARBONO	20	9	0,278
9	M8 – AÇO CARBONO 5.8	M8 - AÇO CARBONO 5.8	Ø8 - AÇO CARBONO	20	6,25	0,4
10	M8 – AÇO AISI-304	M8 - AÇO AISI-304	Ø8 - AÇO CARBONO	20	5	0,5
11	M8 – AÇO AISI-304	M8 - AÇO CARBONO 8.8	Ø8 - AÇO CARBONO	20	5	0,5
12	M8 – AÇO AISI-304	M8 – AÇO CARBONO 8.8	Ø8 – AÇO AISI-304	20	2	1,25
13	M8 – AÇO AISI-304	M8 – AÇO AISI-304	Ø8 – AÇO AISI-304	20	1,9	1,316

Fonte: Autoria Própria

Com base nos resultados apresentados na tabela 1, é certo afirmar que determinadas condições de aperto podem levar o coeficiente de torque a valores distantes dos praticados comumente. Este fato é comprovado para apertos realizados com parafuso AÇO AISI-304, como pode ser visto nas posições de 10 a 13 da tabela 1. Supõe-se que este resultado é decorrente das características da superfície de contato dos elementos pertencentes a esses apertos. A variação do perfil de rugosidade das partes (parafusos, porcas e arruelas) que se tem contato entre si, interferem de modo significativo no valor do coeficiente de torque (K).

Se analisado de forma microscópica a superfície de um elemento de fixação, seja o parafuso, porca ou arruela, pode ser observado que não existe uma perfeição. A figura 31 ilustra qual a condição real das partes em contato. Pode ser visto nesta imagem a representação de um ponto na superfície da peça, ou seja, ela tem menos de 1 mm de lado e uma variação de até 18 μm entre o vale e pico mais alto. Esta figura é apenas um exemplo geral, na tabela 2 estão descritos os valores médios inerentes aos perfis de rugosidade para todas as porcas e arruelas utilizadas nos ensaios³. O relatório completo deste teste pode ser visto no APÊNDICE D.

³ Os testes de rugosidade foram realizados para apenas as superfícies planas dos elementos como porcas e arruelas. Não foi possível efetuar este teste para o perfil da rosca dos parafusos e porcas devido à condição operacional da realização do teste de rugosidade.

Importante salientar que este comentário sobre influencia do perfil de rugosidade, tem como intenção fazer com que o leitor deste trabalho se familiarize com as principais causas da variação das condições de aperto de parafusos. Os testes de rugosidade se restringiram a superfície planas das porcas e arruelas, assim, o fato de não se ter o perfil de rugosidade das roscas dos parafusos e porcas, impede que se formem conclusões a partir desses resultados.

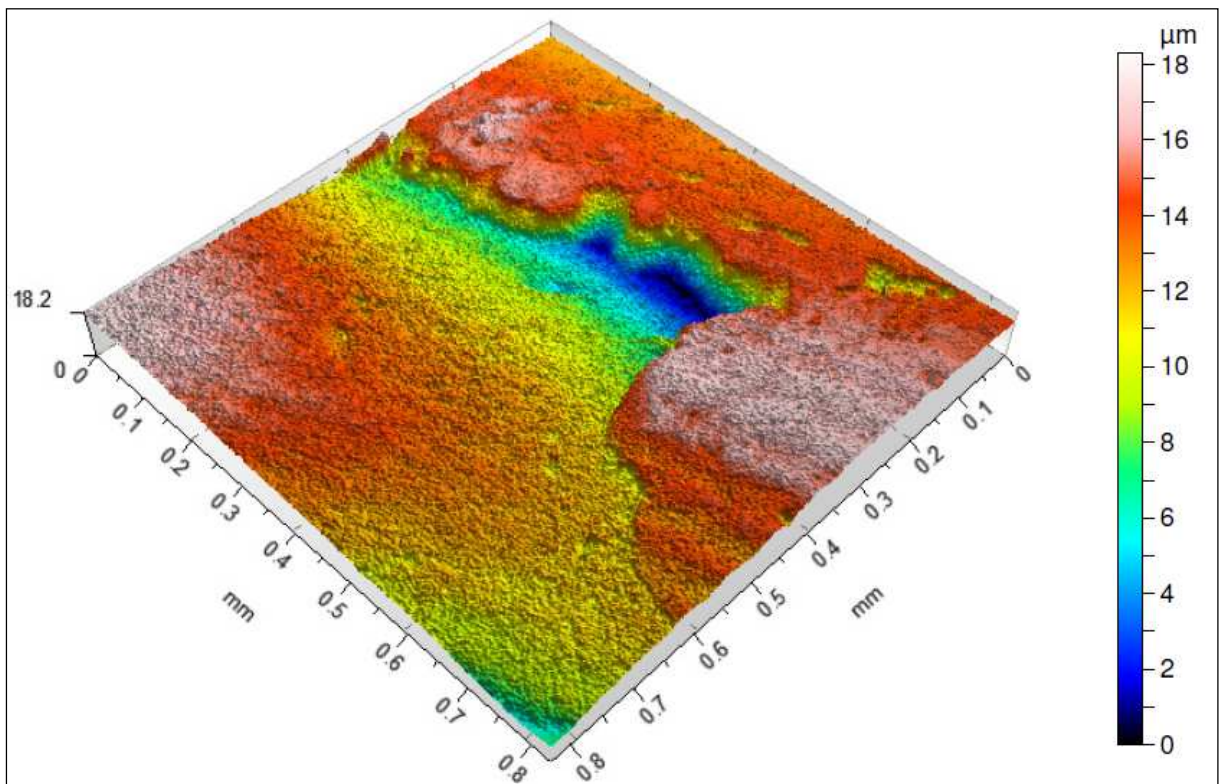


Figura 31 – Perfil de rugosidade de uma das porcas utilizadas nos ensaios
Fonte: Autoria Própria

Esta característica intrínseca a esse grupo de parafusos, os quais tiveram discrepâncias em seus resultados para coeficiente de torque (K), embora seja de grande relevância, não fará parte das conclusões deste trabalho. Assim, como critério para selecionar os parafusos com os quais foram realizados os experimentos finais, o coeficiente de torque (K), previamente mostrados na tabela 1, deveriam ter seu valor máximo de 0,4. Desta forma, estarão sendo desprezados os itens com maior potencial de erro⁴.

⁴ Considerado como potencial de erro por seu valor estar fora da margem prevista pela literatura. Seria necessário um estudo mais profundo para avaliar e justificar essa condição.

Tabela 2 – Perfil de rugosidade para os elementos fixadores utilizados nos ensaios

COMPONENTE	Ra (μm)	Rq (μm)
ARRUELA $\varnothing 8$	0,492 \pm 0,184	0,617 \pm 0,232
ARRUELA 5/16"	0,748 \pm 0,470	1,045 \pm 0,636
PORCA M8 PASSO 1,00 / CLASSE 8.8	0,303 \pm 0,150	0,420 \pm 0,215
PORCA M8 PASSO 1,25 / CLASSE 8.8	0,316 \pm 0,196	0,423 \pm 0,262
PORCA M8 PASSO 1,25 / CLASSE 5.8	0,613 \pm 0,171	1,091 \pm 0,462
PORCA 5/16" 24 / CLASSE G5	0,208 \pm 0,024	0,274 \pm 0,022
PORCA 5/16" 18 / CLASSE G5	0,426 \pm 0,177	0,625 \pm 0,270

Fonte: Autoria Própria

4.2 ENSAIOS FINAIS

Pretende-se com estes ensaios medir a força de tração sobre parafusos para condições de aperto conhecidas. Posteriormente com esses valores de força, calcular o coeficiente de torque (K) e comparar com valores mostrados em literatura, buscando assim agregar credibilidade ao equipamento, uma vez que se espera que os resultados obtidos sejam semelhantes aos valores teóricos.

Durante os ensaios preliminares foram tomadas ações que serviram como referência para execução dos ensaios finais. Com base nestas ações foi elaborado um procedimento de ensaio (APÊNDICE A) e selecionados os conjuntos de aperto (parafuso/arruela/porca).

Para execução dos ensaios finais foram adotadas sete condições de aperto, ou seja, sete conjuntos de aperto diferentes. Todos os componentes estavam em condições comerciais sem adição de lubrificantes. Tendo em mente que cada componente só pode ser apertado uma única vez⁵, foi estabelecido como três o número de amostras para cada condição, sendo 25 Nm o valor de torque aplicado. As especificações e resultados estão apresentados nas tabelas de 3 a 9, sendo que o coeficiente de torque (K) foi calculado através da equação (14) deste trabalho.

⁵ Após a execução do primeiro aperto, a condição dos elementos fixadores (porca, arruela ou parafuso), pode sofrer alterações nas regiões de contato. Isso poder gerar variações nos apertos em sequência.

Tabela 3 – Dados ensaios finais do conjunto 1

PARAFUSO M8 PASSO 1,00 / CLASSE 8.8 - ISO 898-1			
PORCA M8 PASSO 1,00 / CLASSE 8.8			
ARRUELA Ø8			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	19,24	0,162
2	25	18,21	0,172
3	25	19,8	0,158
MEDIA			0,164 ± 0,007

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 – Dados ensaios finais do conjunto 2

PARAFUSO 5/16" 24 / CLASSE G5 - SAE J 429			
PORCA 5/16" 24 / CLASSE G5			
ARRUELA 5/16"			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	20,7	0,151
2	25	19,8	0,158
3	25	19,5	0,16
MEDIA			0,156 ± 0,005

Fonte: Autoria Própria

Tabela 5 – Dados ensaios finais do conjunto 3

PARAFUSO M8 PASSO 1,25 / CLASSE 8.8 - ISO 898-1			
PORCA M8 PASSO 1,25 / CLASSE 8.8			
ARRUELA Ø8			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	16,3	0,192
2	25	16,1	0,194
3	25	17,6	0,177
MEDIA			0,188 ± 0,009

Fonte: Autoria Própria

Tabela 6 – Dados ensaios finais do conjunto 4

PARAFUSO 5/16" 18 / CLASSE G5 - SAE J 429			
PORCA 5/16" 18 / CLASSE G5			
ARRUELA 5/16"			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	15,08	0,207
2	25	15,3	0,204
3	25	15,15	0,206
MEDIA			0,206 ± 0,002

Fonte: Autoria Própria

Tabela 7 – Dados ensaios finais do conjunto 5

PARAFUSO M8 PASSO 1,25 / CLASSE 5.8 - ISO 898-1			
PORCA M8 PASSO 1,25 / CLASSE 5.8			
ARRUELA Ø8			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	7	0,446
2	25	8,33	0,375
3	25	7,66	0,408
MEDIA			0,410 ± 0,036

Fonte: Autoria Própria

Tabela 8 – Dados ensaios finais do conjunto 6

PARAFUSO M8 PASSO 1,00 / CLASSE 8.8 - ISO 898-1			
PORCA M8 PASSO 1,00 / CLASSE 8.8			
ARRUELA 5/16"			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	19,3	0,162
2	25	18,91	0,165
3	25	17,02	0,184
MEDIA			0,170 ± 0,012

Fonte: Autoria Própria

Tabela 9 – Dados ensaios finais do conjunto 7

PARAFUSO M8 PASSO 1,25 / CLASSE 8.8 - ISO 898-1			
PORCA M8 PASSO 1,25 / CLASSE 8.8			
ARRUELA 5/16"			
APERTO	TORQUE (Nm)	FORÇA (kN)	COEFICIENTE DE TORQUE (K)
1	25	16,3	0,192
2	25	15,77	0,198
3	25	16,55	0,189
MEDIA			0,193 ± 0,005

Fonte: Autoria Própria

Após o término dos ensaios, percebeu-se que de modo geral os resultados mostraram-se dentro dos valores especificados na literatura, que como pode ser visto na figura 32 são da ordem de 0,1 a 0,3.

Condição do parafuso de porca	K
Não-metalizado (chapeado), acabamento negro	0,30
Chapeado de zinco (zincado)	0,20
Lubrificado	0,18
Chapeado de cádmio	0,16
Com Bowman antiagarramento	0,12
Com porcas Bowman de agarramento	0,09

Figura 32 – Coeficientes de torque
Fonte: Shigley, Mischke e Budunas, (2005, p. 411)

Avaliando os dados mostrados nas tabelas anteriores é possível perceber algumas relações:

Os parafusos M8 classe 8.8 e os parafusos 5/16" G5, têm suas características dimensionais e limites de carga semelhantes (CISER, 2008). Assim foi possível realizar ensaios com ambos.

Conforme os resultados das tabelas de 3 a 9, também foram percebidas semelhanças nos resultados que chegaram o coeficiente de torque (K) dos

parafusos, estas que foram calculadas com base na força de pré-carga atingida. Isso pode ser afirmado se comparados entre si, os resultados das: [tabela 3 com tabela 4] e [tabela 5 com tabela 6], popularmente chamados em rosca “fina” e rosca “grossa”, respectivamente. Nos apertos com parafusos roca “grossa” o valor do coeficiente de torque (K) foram superiores aos apertos realizados com os parafusos rosca “fina”.

Como visto nos ensaios preliminares, o parafuso M8 classe 5.8 apresentou força de pré-carga abaixo do esperado, assim resultando em um coeficiente de torque (K) da ordem de 0,4. Este resultado é confirmado pelos dados da tabela 7.

Finalizando os ensaios com os parafusos M8 classe 8.8, foram executados os últimos testes efetuando a troca das arruelas $\varnothing 8$ por arruelas 5/16" (arruelas de maior espessura e com maior área de contato). Como visto na tabela 8 comparada com tabela 3 e tabela 9 comparada com tabela 5 é possível visualizar uma pequena diminuição da força, elevando o valor do coeficiente (K), isso pode ser decorrente do perfil de rugosidade da arruela 5/16". Se observado na tabela 2, pode se afirmar que os valores de rugosidade para a arruela 5/16" indicam que sua superfície tenha maior irregular que a superfície das arruelas $\varnothing 8$.

Válido ressaltar que não faz parte do escopo desse trabalho, avaliar os resultados numéricos obtidos. Uma vez que os ensaios serviram com meio de validar a funcionalidade do protótipo de medição de força de pré-carga.

5. CONCLUSÃO

Durante a execução deste trabalho, percebeu-se a importância do conhecimento técnico da relação entre torque de aperto e a força de tração sobre parafusos. Com base nessa relação é que se pode admitir que o torque definido para determinados processos de aperto irá atingir o objetivo para o qual foi projetado.

Com base nas definições encontradas em literatura, pôde-se conceituar um modelo eletromecânico. Este modelo foi capaz de medir a força de tração atuante sobre um parafuso no momento em que se aplicava torque sobre o mesmo. Este mecanismo foi projetado e executado com uma *interface* onde o resultado de força tratativa pôde ser exibido ao usuário que efetua o aperto. Com o auxílio de dados teóricos foi fabricada uma célula de carga com capacidade de carregamento dentro do limite da capacidade dos parafusos para qual o dispositivo foi projetado.

O ajuste desse equipamento foi realizado através de comparação experimental, uma vez que um corpo de prova, de mesmo material da célula de carga construída, foi testado em uma máquina de ensaio de tração e extraído a curva de relação entre tensão x deformação, que foi utilizada como referência para se projetar e calibrar o equipamento.

Os custos para a construção do projeto foram relativamente baixos. Foi possível montar este protótipo, de uso para fins acadêmicos, com investimento da ordem de mil reais. Se comparado este equipamento simples a um modelo certificado do tipo utilizado em laboratórios industriais, será notável a grande diferença de investimento, onde esse equipamento pode chegar a custar até mil vezes mais. Desse modo, ficou evidenciada a boa relação entre seu custo e sua aplicabilidade.

Uma vez que o protótipo para mensurar a força de união em juntas aparafusadas foi terminado, foi possível executar o ensaio de tração com alguns modelos de parafusos. Nestes ensaios o dispositivo mostrou suas limitações, como por exemplo, fazer testes com parafuso de Aço AISI-304 e parafusos Aço carbono 5.8, onde o resultado foi discrepante em relação ao objetivo. Assim, optou-se por desprezar esses resultados, sendo que sem um estudo mais profundo para essa condição, eles não teriam confiabilidade.

Atendendo à proposta inicial do trabalho, de construir um protótipo para medição de força de aperto em parafusos, considera-se alcançado o objetivo. Foi possível executar ensaios com diferentes combinações de parafuso, arruela e porca, com resultados dentro dos limites proposto pela literatura. Houve desvios que podem ser relacionada às variações das condições operacionais, a precisão do equipamento e até mesmo a o elemento ensaio, o parafuso.

REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, Rodrigo P.; CAMACHO, Jefferson S.; BRITO, Gilberto A.; **Extensometria Básica**. Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Extensometria%20basica.pdf>>. Acesso em: 09 Abr. 2011.

ASM Handbook. **Mechanical Testing and Evaluation: Mechanical Testing of Threaded Fasteners and Bolted Joints**. Vol. 8 2000.

ATLAS COPCO. **Pocket guide Tightening Technique**. 2002. Disponível em: <<http://www.endisys.com/pdf/assemblyTools/PocketGuide.pdf>>. Acesso em 13 Abr. 2013.

BISQUOLO, Paulo Augusto; **Força de Atrito**. Santos, 2005 Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u19.jhtm>>. Acesso em: 03 Set. 2011.

BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis; **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 6. Ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1999.

CAMPOS, Fábio F. da C.; VASCONCELOS, Hugo Guerra de; ÁVILA, José Inácio. Sensores de deformação do tipo *Strain Gage*. **Tecnologia & Humanismo**, Curitiba, n. 11, p. 15 – 22, Jun. 1993.

CAVACO, Marco Antonio M.; **Medição de Grandezas Mecânicas**. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC5236/Deformacao.pdf>>. Acesso em: 18 Ago. 2011.

CIRCUITSTODAY. **Introduction to PIC 16F877**. Disponível em: <<http://www.circuitstoday.com/introduction-to-pic-16f877>>. Acesso em 17 Fev. 2013.

CISER. **Informações Técnicas Tabela de torque**. Disponível em: <http://www.ciser.com.br/htcms/media/pdf/tabela-de-precos/br/informacoes_tecnicas.pdf>. Acesso em 12 Jan. 2013.

EFISICA. **Medidas de resistência elétrica**. São Paulo, 2007. <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/medidas/medida_resist_eletrica/>. Acesso em: 15 Set. 2012.

BEER, Fernand P.; JOHNSTON, E. Russel, Jr.; DEWOLF, John T.; MAZUREK, David F. **Mecânica dos Materiais**. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

GARCIA, Roberto. **Revista do Parafuso On-Line**. São Bernardo do Campo, n. 7 Dez. 2007. Disponível em: <<http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=218>>. Acesso em 05 Abr. 2011.

GRANTE. Grupo de Análise e Projeto Mecânico. **Apostila de Extensometria**. Florianópolis, 2004. Disponível em: <<http://www.grante.ufsc.br/download/SG-Apostila.pdf>>. Acesso em 18 Jul. 2011.

_____. Laboratório de Propriedades Mecânicas. **Aplicação de Extensômetros**. Disponível em: <<http://www.grante.ufsc.br/download/SG-Aplica%E7%E3o.pdf>>. Acesso em 18 Jul. 2011.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl; **Fundamentos de Física**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HBM. **Strain Gage and Accessories**. Disponível em: <<http://www.hbm.com/pt/menu/produtos/strain-gages-acessorios/strain-gagecatalog/>>. Acesso em: 12 Out. 2011.

HIBBELER, R. C.; **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson, 2010.

LIRA, José G. A.; **Amplificador Operacional**. Campina Grande, 2012. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gutemb/AmpOp.pdf>>. Acesso em 15 Set. 2012.

MUNIZ, José M.; **Fenômenos Tribológicos intrínsecos ao travamento de juntas de engenharia aparafusadas**. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

NORTON, Robert L.; **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada**. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

PESQUEIRA, Manoel H.; **Amplificador Operacional**. Recife, 2008. Disponível em: <<http://manoel.pesqueira.ifpe.edu.br/cefet/anterior/2008.1/elebas/aop/AOP.htm>>. Acesso em 18 Set. 2012.

PIRATELLI, Antonio Filho.; **Rugosidade Superficial**. Brasília 2011. Disponível em: <http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/arquivos/Palestra_UFU_17_05_2011.pdf>. Acesso em 18/05/2013.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDUNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7.Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SOUZA, David J. de; **Desbravando o PIC**. 8. Ed. São Paulo: Ética, 2005.

APÊNDICE A – Procedimento para execução do ensaio

1) OBJETIVO:

- Executar ensaio em dispositivo de ensaio de tração em parafusos.

2) DOCUMENTO REFERÊNCIA:

Trabalho de conclusão de curso: **Projeto de um protótipo para medir força de união em montagens aparafusadas.**

3) CONDIÇÕES NECESSÁRIAS:

- Parafusos de ensaio;
- Dispositivo para execução de ensaio de tração em parafusos;
- Torquímetro.

4) PRÉ-REQUISITOS:

- Conhecimento básico em Mecânica;
- Habilidade no manuseio de ferramentas manuais.

5) SEQUENCIA EXECUTIVA:

- Conforme ações a seguir:

1º Passo: Selecionar os parafusos que farão parte do ensaio.

O parafuso deve seguir alguns quesitos:

- Diâmetro de 8 mm ou 5/16 ”;
- Cabeça com formato sextavado de 13 mm ou 1/2 “;
- Comprimento mínimo de 38 mm;
- Comprimento máximo de 60 mm;
- Resistência máxima à tração de 35 KN;
- Deve ser mantido sob as condições de quando foram entregues pelo fornecedor.

2º Passo: Montar o dispositivo de ensaio com o parafuso selecionado.

Antes de iniciar o processo de montagem do dispositivo é preciso conferir se todas as peças necessárias estão preparadas. Na Figura 1 podem ser vistas todas as partes necessárias para montagem do dispositivo. Essas peças têm sua nomenclatura conforme segue abaixo:

1 – BASE PRINCIPAL

Composta por: 1 base de apoio;
1 suporte inferior;
2 suportes laterais.

2 – BASE SUPERIOR

3 – PARAFUSOS FIXAÇÃO BASE SUPERIOR

Composto por: 2 Parafusos M8 x 20 mm cabeça cilíndrica.

4 – SUPORTE SUPERIOR

Composta por: 1 suporte de célula de carga.

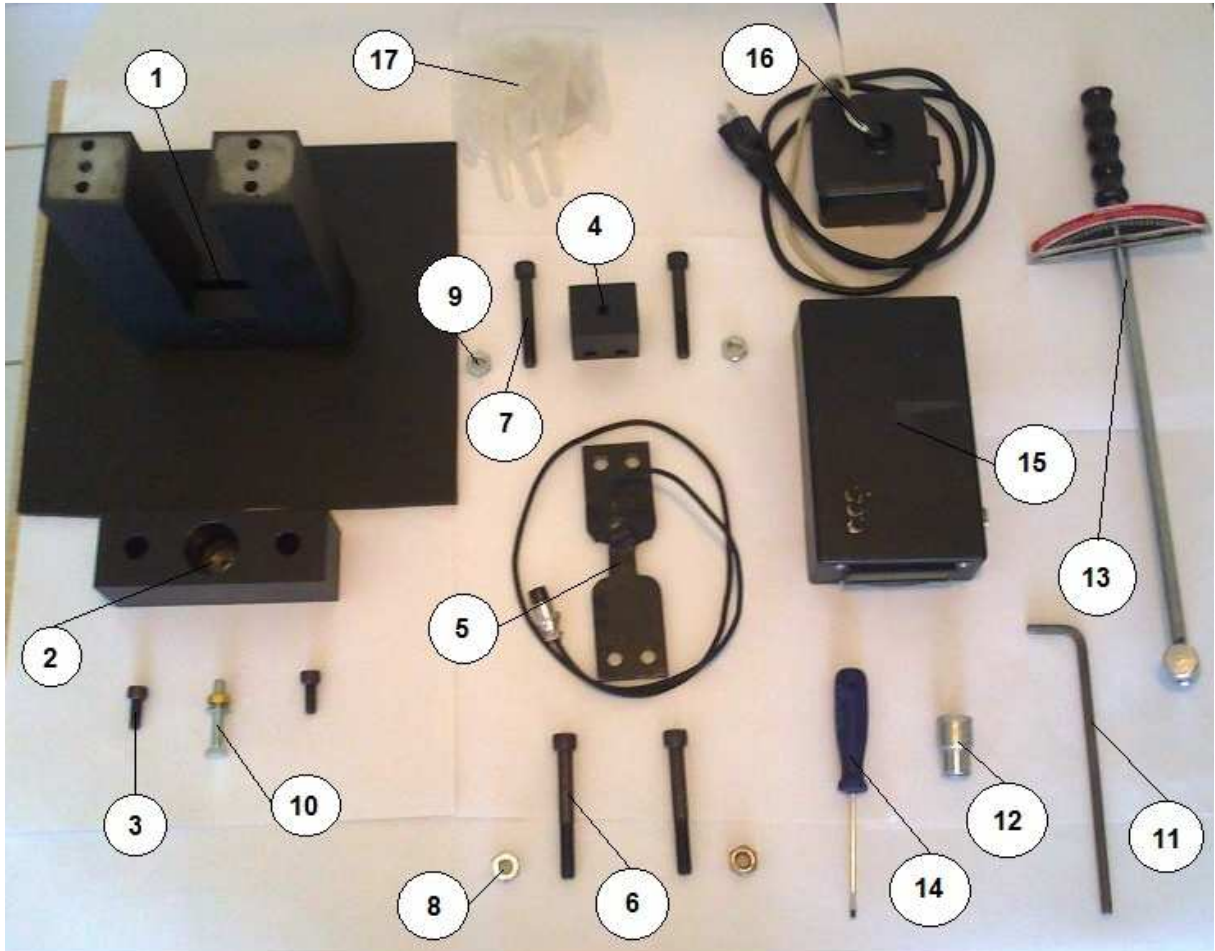


Figura 1 – Conjunto de peças para montagem do dispositivo de medição
 Fonte: Autoria Própria

5 – CELULA DE CARGA

Composta por: 1 Chapa de aço com *Strain Gage*;
 1 Cabo duas vias com malha;
 1 Conector.

6 – PARAFUSOS FIXAÇÃO CÉLULA DE CARGA LADO INFERIOR

Composto por: 2 parafusos M10 x 80 mm.

7 – PARAFUSOS FIXAÇÃO CÉLULA DE CARGA LADO SUPERIOR

Composto por: 2 parafusos M10 x 70 mm.

8 – PORCAS DOS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA LADO INFERIOR

Composto por: 2 porcas M10.

9 – PORCAS DOS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA LADO SUPERIOR

Composto por: 2 porcas M10.

10 – CONJUNTO DE ENSAIO

Composto por: 1 parafuso (segundo os requisitos de ensaio);
 1 Arruela (proporcional ao parafuso);
 1 porca (proporcional ao parafuso).

11 – CHAVE DE MONTAGEM DO DISPOSITIVO

Composto por: 1 chave allen 6 mm.

12 – SOQUETE DE ENSAIO

Composto por: 1 soquete 13 mm.

13 – TORQUIMETRO

Composto por: 1 torquimetro com range de 20 a 50 Nm.

14 – CHAVE DE AJUSTE INICIAL

Composto por: 1 chave de fenda com ponta de 3 mm (chave borne).

15 – CENTRAL ELETRÔNICA

Composta por: 1 circuito ponte de Wheatstone;
1 circuito amplificador de sinal;
1 circuito controlador;
1 display de interface;
1 caixa de proteção.

16 – FONTE DE ALIMENTAÇÃO

Composta por: 1 fonte de 12 V e 500 mA;
1 cabo de alimentação;
1 caixa de proteção.

17 – LUVAS

Composta por: 1 par de luvas cirúrgicas.

Uma vez que todos os componentes do dispositivo estejam conferidos, o mesmo pode ser montado para que se de início ao ensaio. A sequência de montagem se faz da seguinte maneira:

1. Posicionar a célula de carga na base principal;
2. Montar os dois parafusos M10 x 80 mm;
3. Posicionar o parafuso de ensaio no suporte superior;
4. Posicionar o suporte superior no topo da célula de carga;
5. Montar os dois parafusos M10 x 70 mm;
6. Posicionar a base superior sobre o suporte superior;
7. Aparafusar a base superior com os parafusos M8 x 20 mm cabeça cilíndrica;
8. Conectar o cabo da célula de carga à central de controle;
9. Montar com arruela e porca o conjunto de ensaio;
10. Efetuar o ajuste eletrônico de ensaio.

3º Passo: Ajuste eletrônico de início de ensaio

Com todo sistema mecânico montado, deve-se rosquear a porca no parafuso de anseio de modo a garantir que o sistema esteja firme, mas sem haver torque significativo sobre o conjunto.

Na parte superior do emulador, há um pequeno orifício onde se pode visualizar o ponto de ajuste de um trimpot (Figura 2).



Figura 2 – Trimpot de ajuste de início de ensaio
Fonte: Aatoria Própria

- Girando o trimpot em sentido horário, se leva o sinal de entrada ao sentido crescente;
- Girando o trimpot em sentido anti-horário, se leva o sinal de entrada ao sentido decrescente.

Ao se fazer o ajuste de início de ensaio, é necessário estar visualizando o display conforme Figura 3, de modo a facilitar a visualização e garantir que não haverá tensão negativa na entrada. O campo para esse sinal exibe 5 casas decimais. Para quando o sinal for maior que “0” e menor “0,01”, no canto superior direito estará piscando o símbolo “+”. Assim pode-se iniciar o ensaio garantindo um desvio será menor que 2 % para o range máximo de ensaio (sinal de 0 a 5 V). Quanto mais próximo de 0, menor será o desvio.

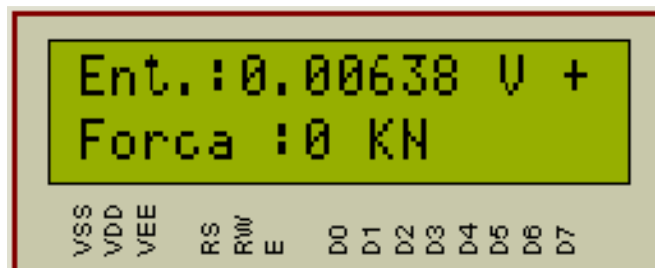


Figura 3 – Display para visualização dos resultados de ensaio
Fonte: Aatoria Própria

4ºPasso: Aplicação do torque

Estando o dispositivo mecânico montado e o display com ajuste inicial dentro da faixa de tolerância, chega o momento de aplicar o torque no conjunto de ensaio (Figura 4).



Figura 4 – Aplicando o torque ao conjunto de ensaio
Fonte: Autoria Própria

5º Passo: Coleta de dados.

A organização dos dados coletados é ponto crucial para garantir a confiabilidade dos resultados. As amostras deverão ser separadas e identificadas (Figura 5) antes da execução dos testes e mantidas desta forma até que os resultados sejam arquivados.

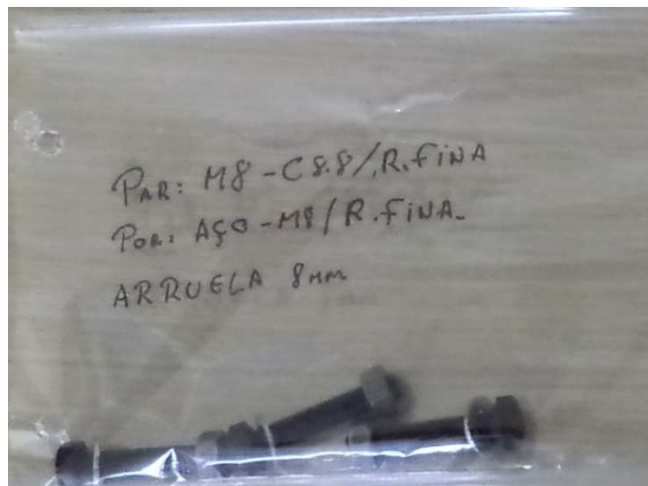


Figura 5 – Identificação e separação das amostras
Fonte: Autoria Própria

Com o objetivo de estabelecer um padrão para coleta dos dados, foi elaborada uma ficha de coleta de dados (Tabela 1). Esta ficha servirá para o preenchimento manual dos valores dados pelas amostras. Posteriormente o usuário poderá proceder da forma que melhor lhe atender.

Tabela 1 – Ficha de coleta de dados de ensaio

RELATÓRIO DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE TRAÇÃO SOBRE PARAFUSOS			
RESPONSÁVEL:		DATA: / /	
EXECUTOR DO ENSAIO:			
PARAFUSO:			
ARRUELA:			
PORCA:			
EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO (K)			
$M_A = F_V \cdot d \cdot K$			
APERTO	TORQUE APLICADO M_A	TORQUE APLICADO F_V	COEFICIENTE DE TORQUE (K) GERADO
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
MÉDIA			

Fonte: Autoria Própria

6) RECOMENDAÇÕES E CUIDADOS A SEREM TOMADOS:

- Antes da execução de um ensaio, o dispositivo deverá ser descontaminado de sujeiras e gorduras que podem estar impregnados no mesmo. A limpeza deverá ser realizada com produtos desengraxantes como álcool livre de água ou produtos a base de benzina. Este procedimento visa impedir que as áreas de contato do conjunto de aperto, como roscas e superfícies de arruela e porcas sejam contaminados por resíduos presentes no mecanismo. Esta contaminação poderia influenciar no resultado dos testes;
- O executor do ensaio deverá utilizar luvas de modo a evitar contaminação de resíduos presentes na pele;
- Ao iniciar um ensaio, o executor deverá permanecer ao posto do início ao fim das amostras de mesmas características. Esta ação tem como objetivo reduzir erros operacionais como erro de paralaxe e outros que podem ser influenciados pela sensibilidade dos sentidos humanos.
- Ao adquirir os parafusos (amostras de ensaio), deve-se evitar contato diretamente com as mãos. O parafuso deve ser mantido ao máximo com as características entregues pelo fabricante.

APÊNDICE B – Procedimento para calibração do dispositivo

Com o passar do tempo e com aumento da utilização do equipamento pode vir acontecer que o sistema de leitura apresente cada vez mais uma maior variação entre o valor médio e o valor real. O valor real é a referência para o equipamento funcionar. Assim, com intuito de minimizar o desvio entre esse valor e a leitura do equipamento, é possível efetuar a calibração através de comparação.

Para se fazer a calibração é necessário levar a célula de carga e o controlador a uma máquina de ensaio de tração calibrada. A célula de carga deverá ser posicionada na máquina e o ensaio de tração deverá ser executado de modo que seja aplicado o carregamento até o limite definido da célula de carga, 30 KN⁶.

Os valores mostrados pelo equipamento calibrado deverão ser comparados em tempo real com os valores mostrados no dispositivo de ensaio de tração em parafusos.

Para limite de desvio deverá ser respeitado o valor médio de 1 %.

Caso o valor mostre-se superior a 1 %, através dos botões de interface do equipamento é possível chegar a um valor chamado “ganho”. Este valor por padrão é 200, gerando a relação de 1 mV para cada 8,75 N. Ao diminuir o ganho, essa relação irá aumentar. Caso o ganho seja aumentado a relação conseqüentemente irá diminuir.

Para chegar a esse menu, o usuário deverá fazer o uso dos botões na parte superior da caixa de proteção do controlador Figura 1.



Figura 1 – Controles de acesso ao valor ganho
Fonte: Autoria Própria

Botão 1 – Acessar o ganho e incrementar valor ganho;

Se este botão for pressionado continuamente, o valor será incrementado a cada 10 e se for dados cliques o valor será incrementado a cada 1 unidade.

Botão 2 – Confirmar e sair da tela de acesso ao ganho;

Botão 3 – Decrementar o valor ganho;

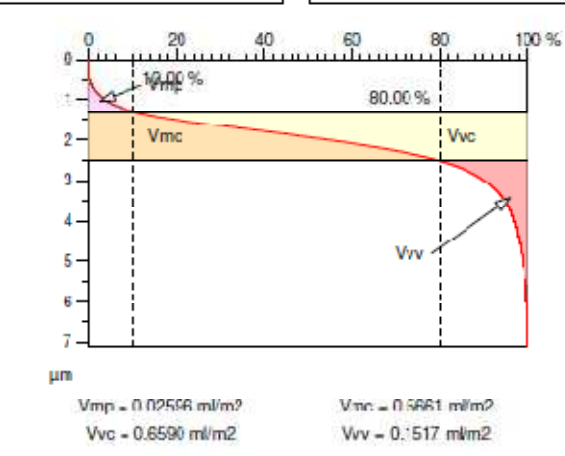
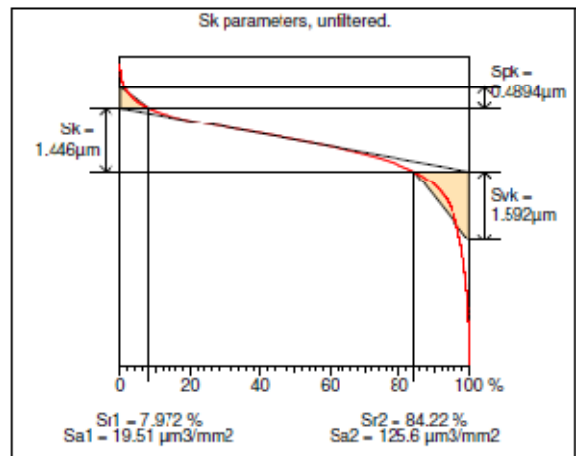
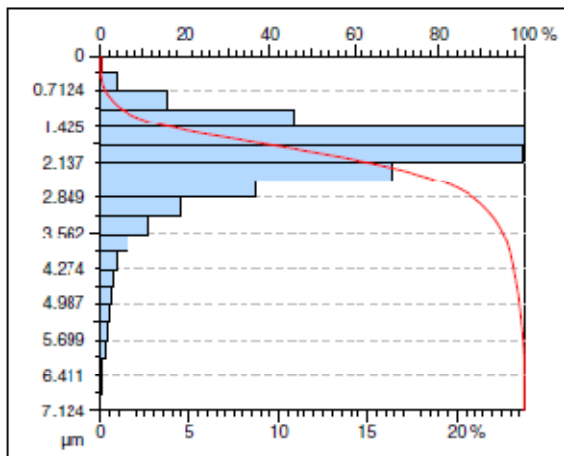
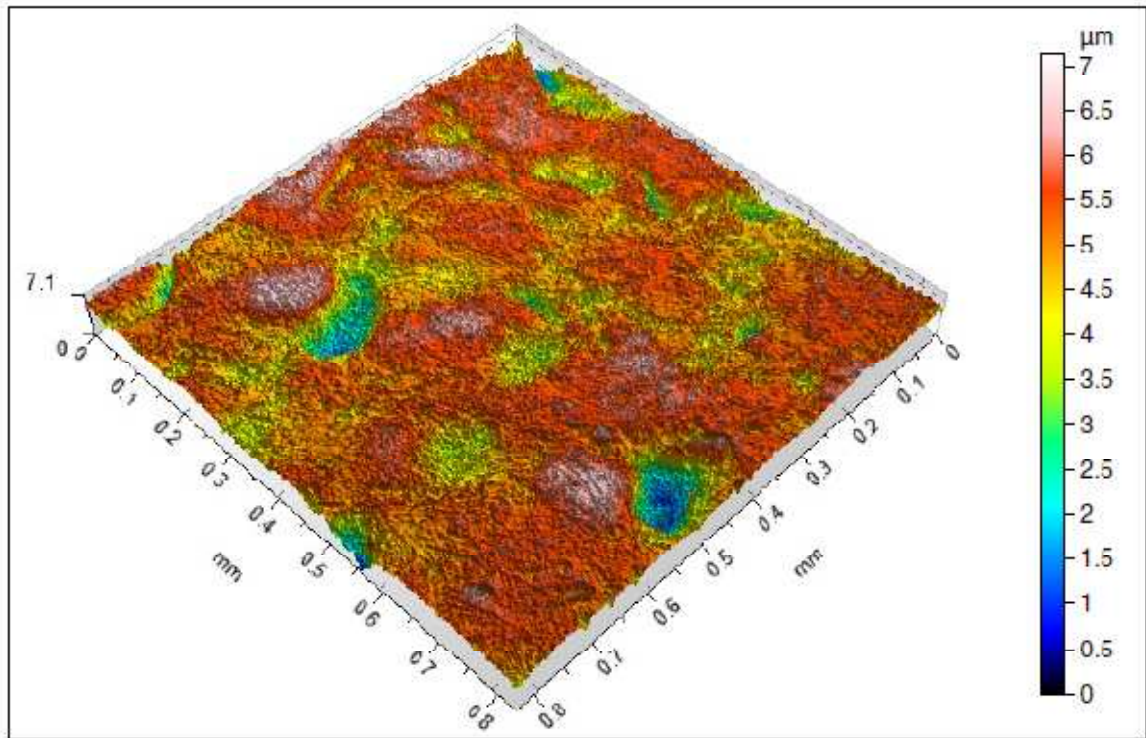
Se este botão for pressionado continuamente, o valor será decrementado a cada 10 e se forem dados cliques o valor será decrementado a cada 1 uma unidade.

⁶ Para este trabalho está especificado como limite de carregamento para a célula de carga o valor de aproximadamente 65 % do valor nominal da força de escoamento da mesma. Sendo este o valor de 30 KN.

APÊNDICE C – Lista de materiais e custo de montagem

MATERIAIS ELÉTRICOS					
TAG	DESCRIÇÃO	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE	REFERÊNCIA	CUSTO
R1	RESISTOR	10 K	OHM	ENABLE	R\$ 0,10
R2	RESISTOR	10 K	OHM	PULLDOWN	R\$ 0,10
R3	RESISTOR	10 K	OHM	PULLDOWN	R\$ 0,10
R4	RESISTOR	10 K	OHM	PULLDOWN	R\$ 0,10
R5	RESISTOR	350	OHM	WHEATSTONE BRIGDE	R\$ 0,10
R6	RESISTOR	352	OHM	WHEATSTONE BRIGDE	R\$ 0,10
R7	RESISTOR	350	OHM	WHEATSTONE BRIGDE	R\$ 0,10
R8	RESISTOR	10 K	OHM	SUBTRACTOR AMPLIFIER	R\$ 0,10
R9	RESISTOR	1 K	OHM	SUBTRACTOR AMPLIFIER	R\$ 0,10
R10	RESISTOR	1 K	OHM	SUBTRACTOR AMPLIFIER	R\$ 0,10
R11	RESISTOR	10 K	OHM	SUBTRACTOR AMPLIFIER	R\$ 0,10
R12	RESISTOR	1 K	OHM	INVERTING AMPLIFIER	R\$ 0,10
R13	RESISTOR	10 K	OHM	INVERTING AMPLIFIER	R\$ 0,10
R14	RESISTOR	10	OHM	WHEATSTONE BRIGDE	R\$ 0,10
RV1	TRIMPOT	10 K	OHM	AJUSTE LCD	R\$ 0,80
RV2	TRIMPOT	12 K	OHM	NON-INVERTING AMPLIFIER	R\$ 0,80
RV3	TRIMPOT	10	OHM	WHEATSTONE BRIGDE	R\$ 0,80
C1	CAPACITOR	33 p	FARAD	STABILIZER	R\$ 0,05
C2	CAPACITOR	33 p	FARAD	STABILIZER	R\$ 0,05
C3	CAPACITOR	330 µ	FARAD	VOLTAGE STABILIZER	R\$ 1,00
C4	CAPACITOR	330 µ	FARAD	VOLTAGE STABILIZER	R\$ 1,00
X1	CRISTAL OSCILADOR	20 M	HZ	EXTARNAL CLOCK	R\$ 2,00
BT1	BOTÃO	DIGITAL	PÇ	INTERFACE	R\$ 2,00
BT2	BOTÃO	DIGITAL	PÇ	INTERFACE	R\$ 2,00
BT3	BOTÃO	DIGITAL	PÇ	INTERFACE	R\$ 2,00
LCD1	DISPLAY LCD	16X2	PÇ	INTERFACE	R\$ 25,00
U1	MICROCONTROLADOR	PIC16F877A	PÇ	CONTROLLER	R\$ 21,00
U2	AMPLIFICADOR OPERACIONAL	UA741CN	PÇ	SUBTRACTOR AMPLIFIER	R\$ 1,00
U3	AMPLIFICADOR OPERACIONAL	UA741CN	PÇ	INVERTING AMPLIFIER	R\$ 1,00
U4	AMPLIFICADOR OPERACIONAL	UA741CN	PÇ	NON-INVERTING AMPLIFIER	R\$ 1,00
U5	REGULADOR DE TENSÃO	LM7908	PÇ	NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR	R\$ 3,40
U6	REGULADOR DE TENSÃO	LM7808	PÇ	POSITIVE VOLTAGE REGULATOR	R\$ 3,00
U7	REGULADOR DE TENSÃO	LM7805	PÇ	POSITIVE VOLTAGE REGULATOR	R\$ 3,00
ST1	STRAIN GAGE	1-LY11-6/350	PÇ	STRAIN GAGE	R\$ 60,00
	PLACA DE FENOLITE PERFURADA	100X150 MM	PÇ	CIRCUITO APLICADOR	R\$ 11,00
	PLACA DE FENOLITE PERFURADA	100X100 MM	PÇ	CIRCUITO CONTROLADOR	R\$ 8,00
TOTAL					R\$ 151,30
MATERIAIS MECÂNICOS					
	DESCRIÇÃO		UNIDADE	OBS	CUSTO
	AÇO SAE - 1020		KG		R\$ 150,00
	USINAGEM		UND		R\$ 250,00
	PARAFUSOS DE ENSAIO		PÇ		R\$ 55,00
TOTAL					R\$ 756,90
TOTAL GERAL					R\$ 908,20

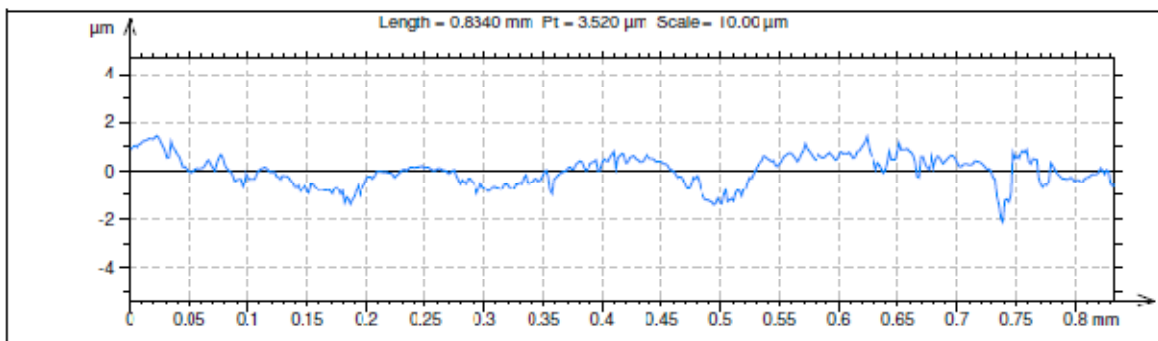
APÊNDICE D – Relatório de testes de rugosidade



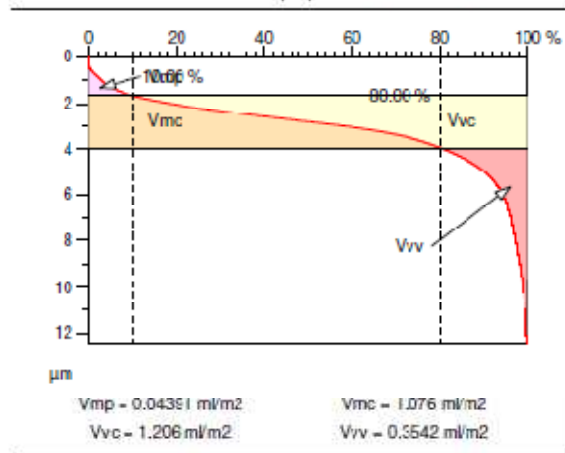
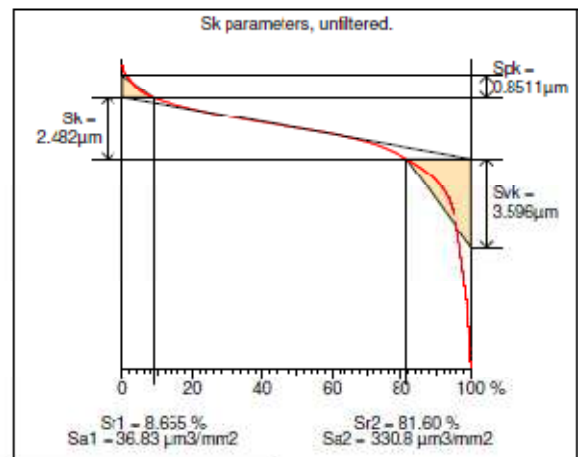
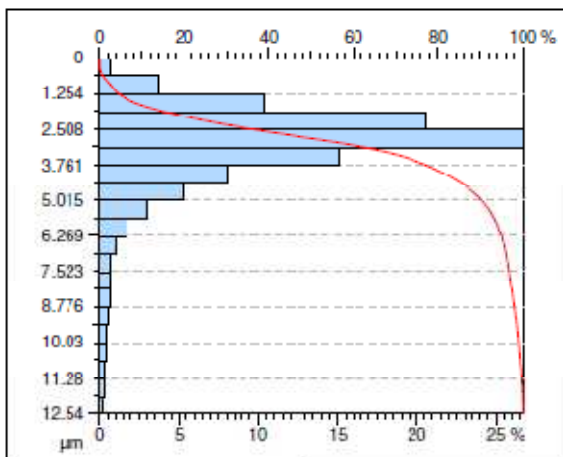
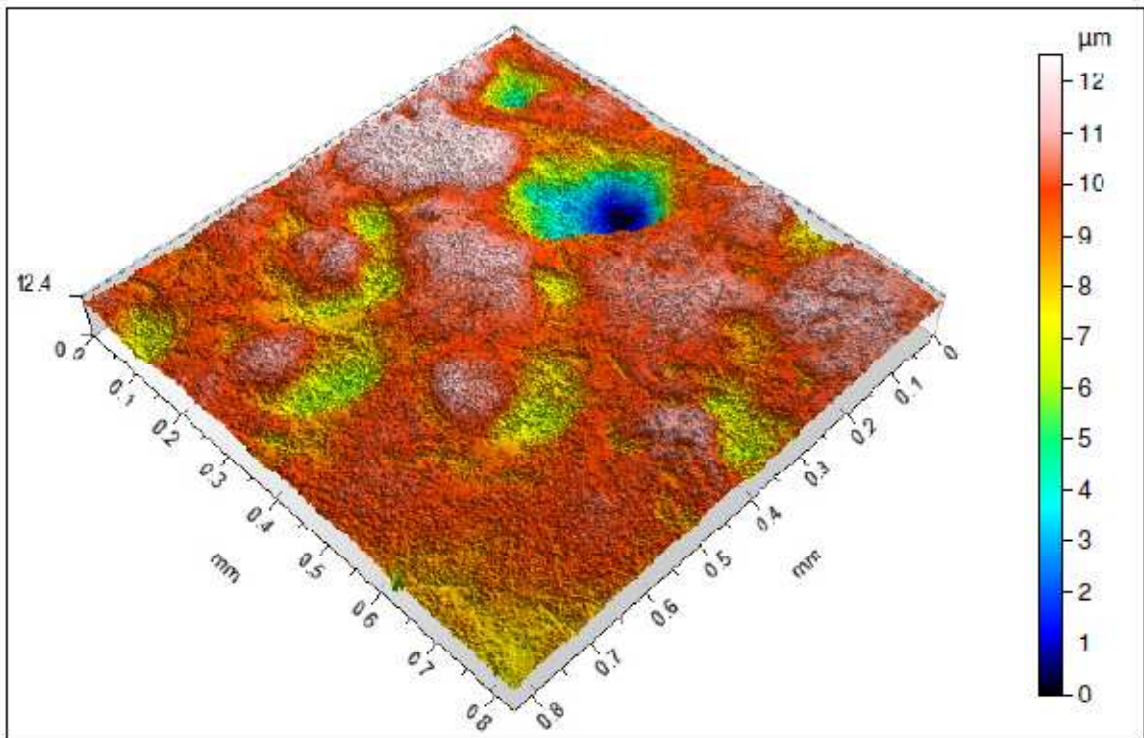
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Arruela Ø8 mm – Ponto 1 lado contato com a porca (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	0.7905	μm		Root mean square height
Ssk	-1.589			Skewness
Sku	7.337			Kurtosis
Sp	2.069	μm		Maximum peak height
Sv	5.055	μm		Maximum pit height
Sz	7.124	μm		Maximum height
Sa	0.5631	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	2.596e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.0008106	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	2.596e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.0005661	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.000659	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0001517	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.084	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.4768	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	1.001	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	9.170	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	84.02	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



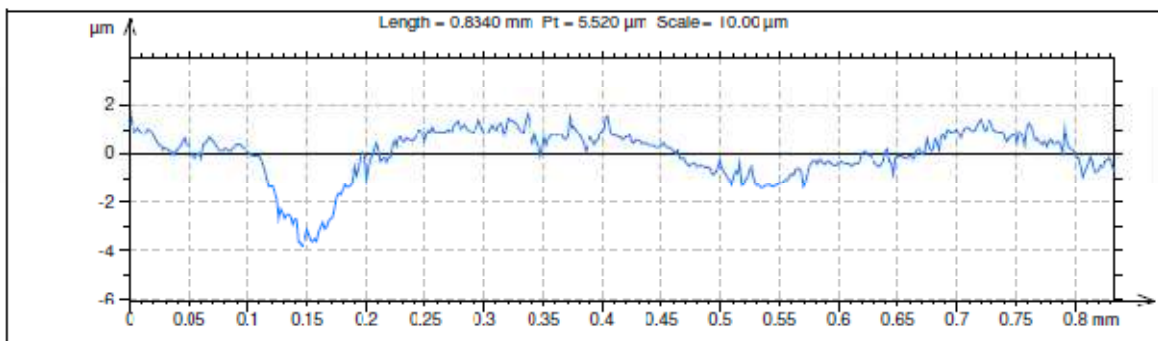
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.6160	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.070	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.686	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	0.8977	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	2.042	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.3409	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.4136	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.8548		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	2.701		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



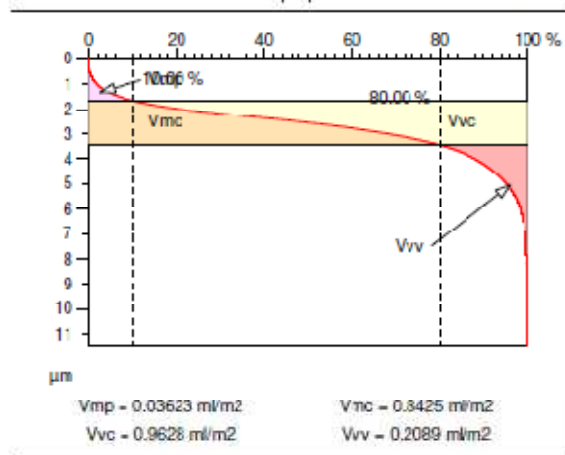
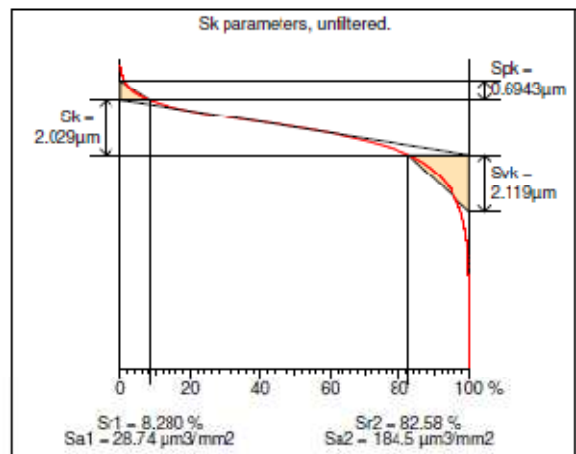
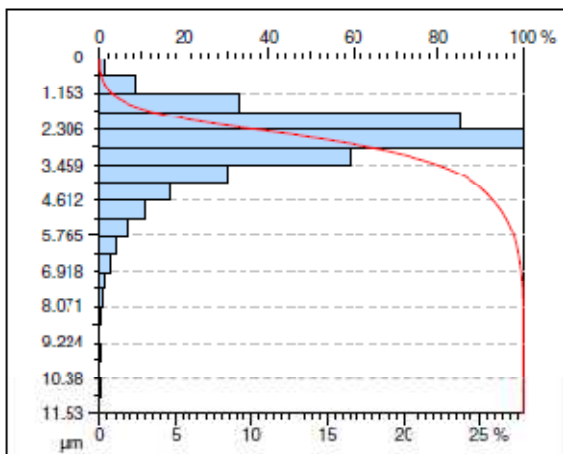
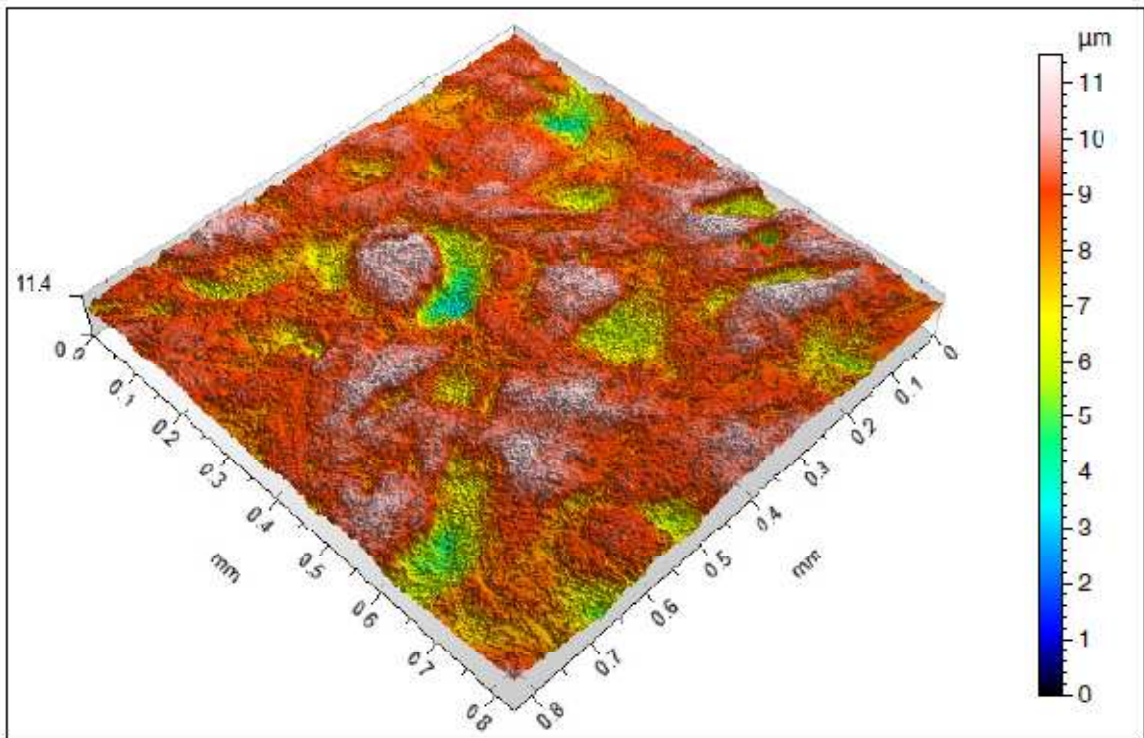
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Arruela Ø8 mm – Ponto 2 lado contato com a porca (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	1.667	μm		Root mean square height
Ssk	-2.138			Skewness
Sku	9.584			Kurtosis
Sp	3.175	μm		Maximum peak height
Sv	9.362	μm		Maximum pit height
Sz	12.54	μm		Maximum height
Sa	1.120	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	4.391e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.00156	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	4.391e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001076	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.001206	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0003542	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.510	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.6728	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	1.733	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	9.925	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	79.28	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



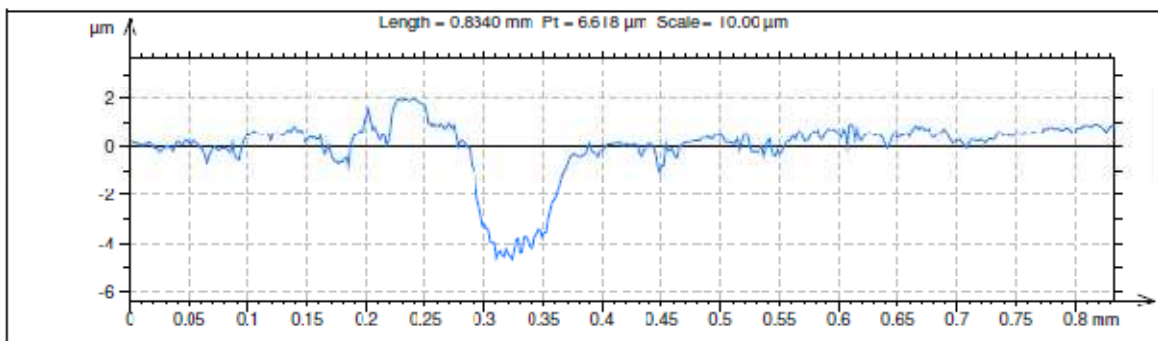
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.052	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.458	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	2.510	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	0.9229	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	3.388	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.4375	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.5681	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.5393		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	3.495		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



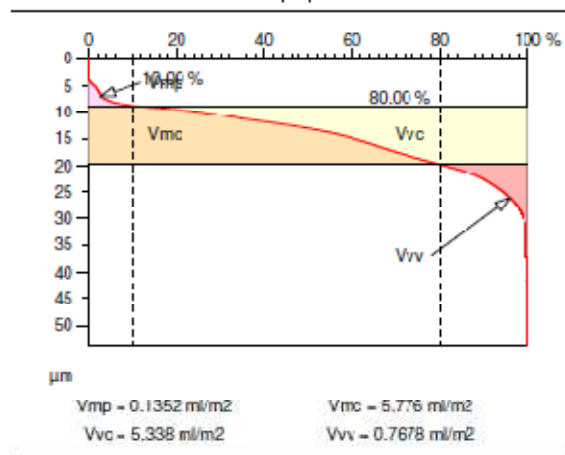
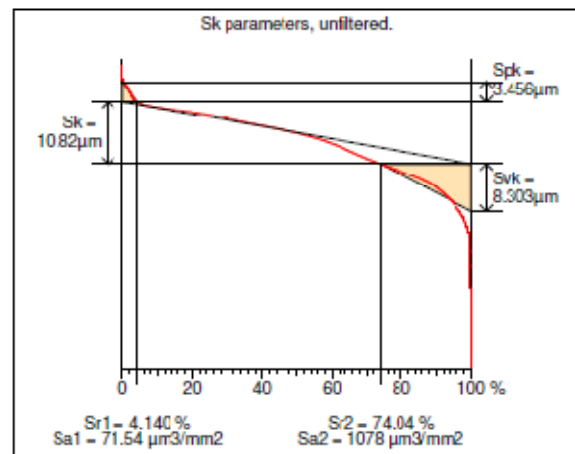
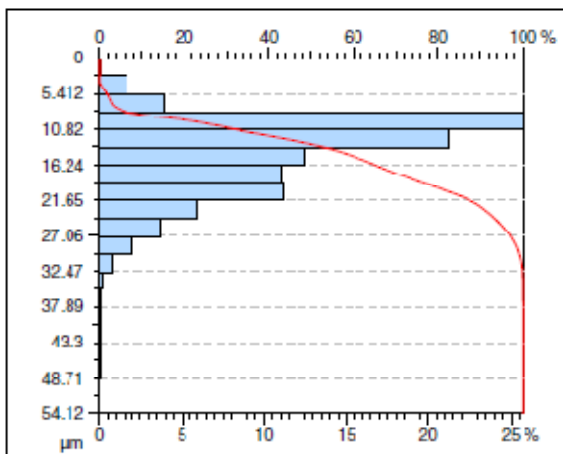
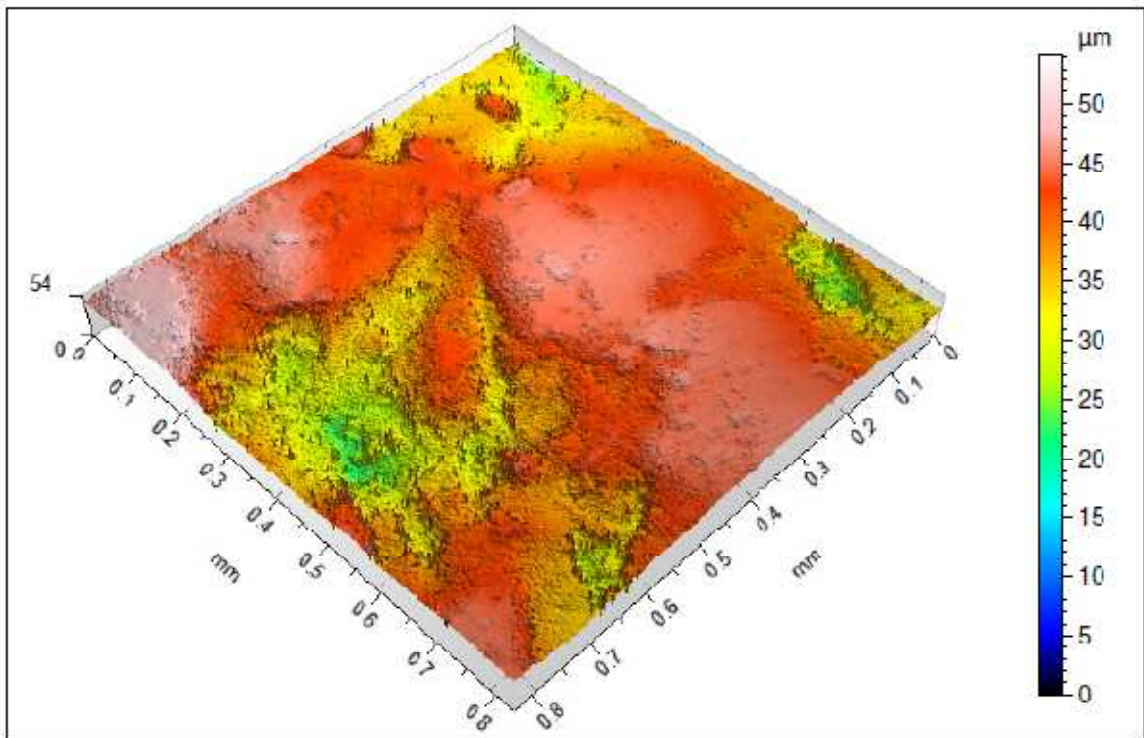
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Arruela Ø8 mm – Ponto 3 lado contato com a porca (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	1.101	μm		Root mean square height
Ssk	-1.333			Skewness
Sku	6.273			Kurtosis
Sp	2.777	μm		Maximum peak height
Sv	8.752	μm		Maximum pit height
Sz	11.53	μm		Maximum height
Sa	0.8082	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	3.623e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.001172	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	3.623e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.0009125	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.0009628	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0002060	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.546	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.6680	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	1.529	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	9.194	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	82.74	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



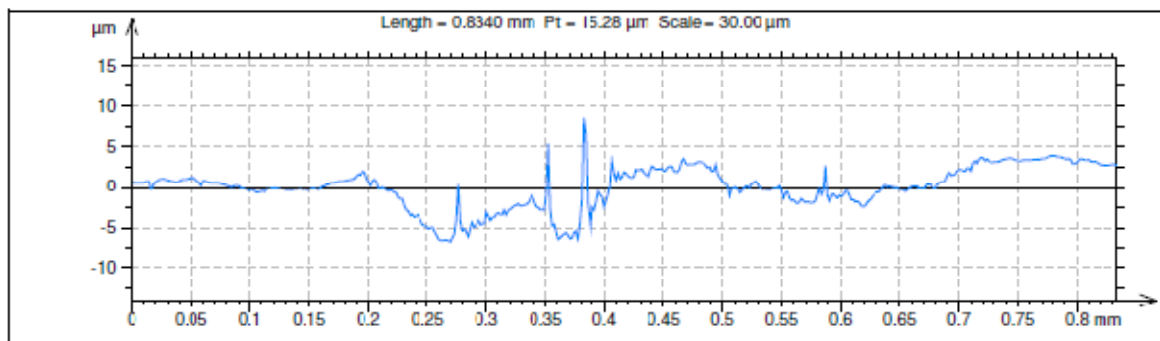
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.471	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.895	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	3.367	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	1.691	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	4.533	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.6976	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.8706	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	0.1718		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	2.713		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



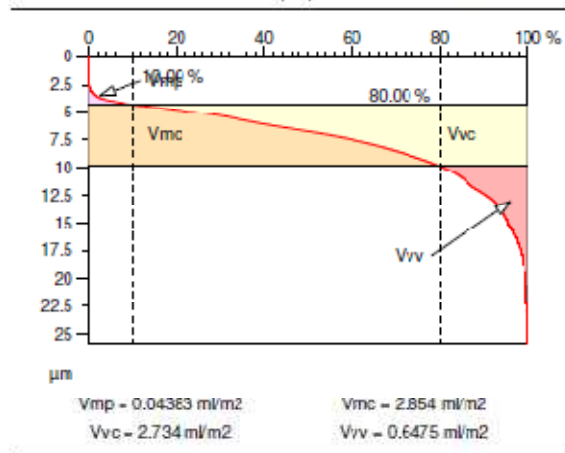
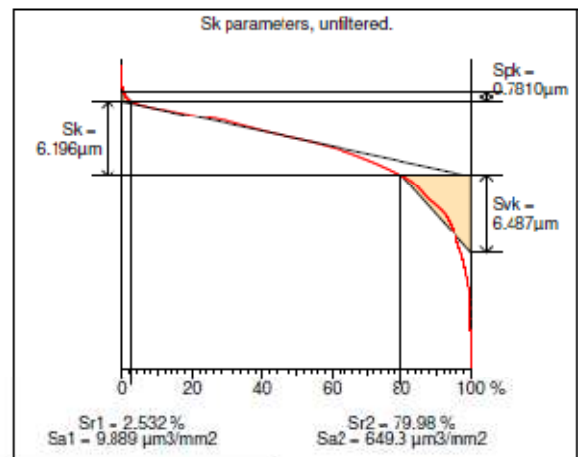
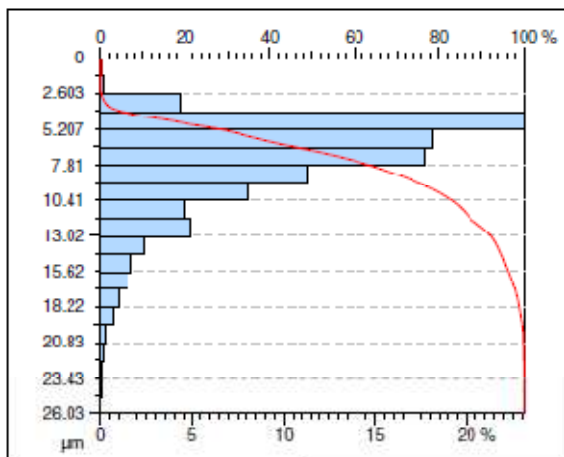
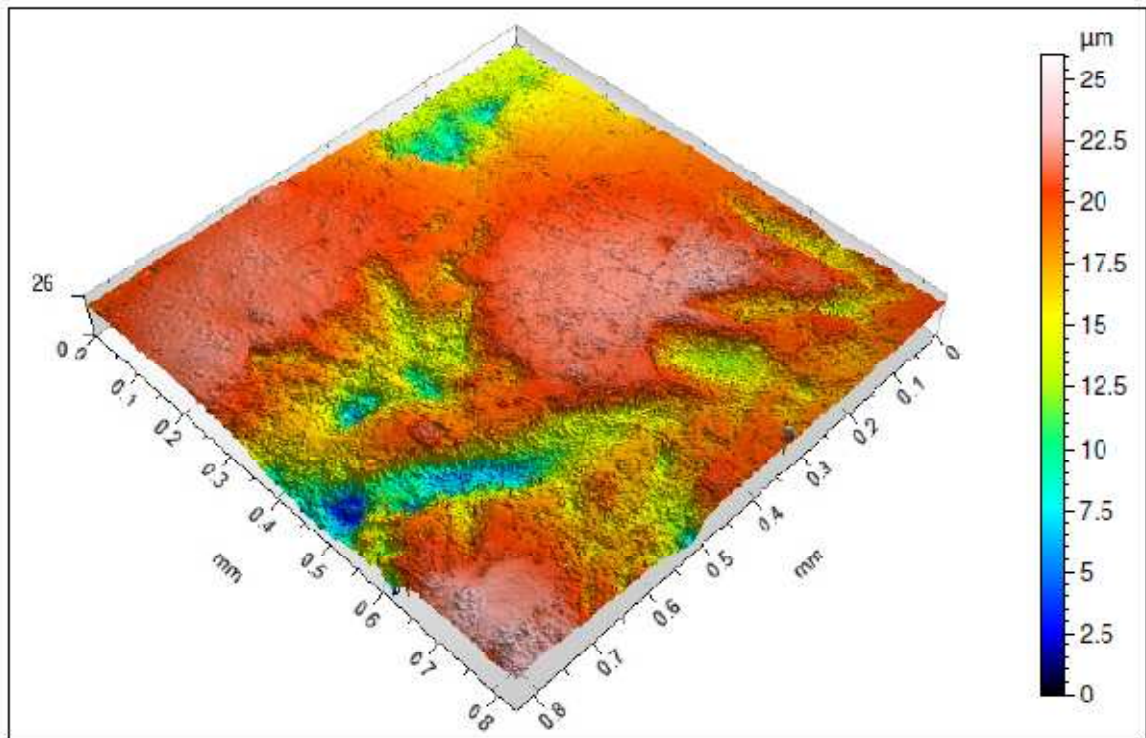
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Arruela 5/16" – Ponto 1 lado contato com a porca (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	5.742	μm		Root mean square height
Ssk	-0.8245			Skewness
Sku	3.589			Kurtosis
Sp	14.60	μm		Maximum peak height
Sv	39.53	μm		Maximum pit height
Sz	54.12	μm		Maximum height
Sa	4.728	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	0.0001352	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.006106	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	0.0001352	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.006776	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core material volume
Vvc	0.005338	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core void volume
Vvv	0.0007678	mm^3/mm^2	$p = 90\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	2.550	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	2.513	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	3.640	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	12.20	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	76.70	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



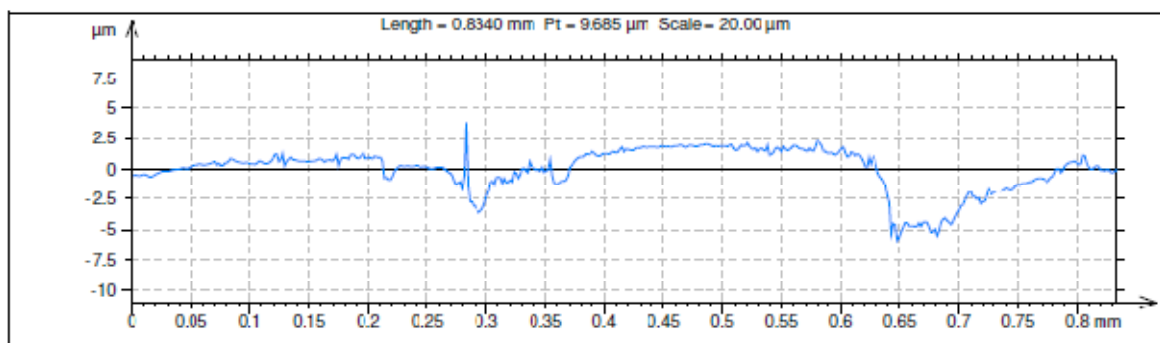
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	8.993	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	4.552	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	13.55	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	4.307	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	14.89	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	1.287	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	1.773	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	0.7769		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	8.263		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



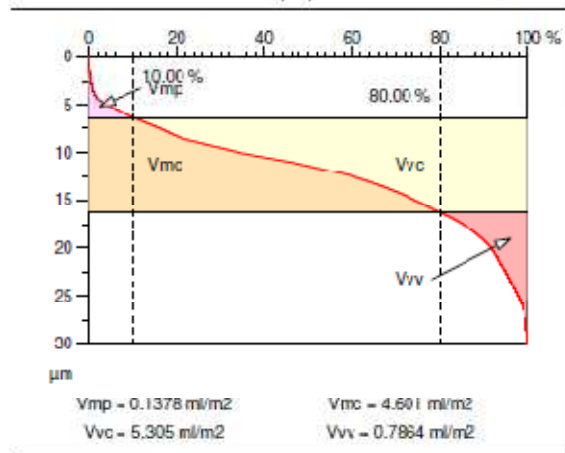
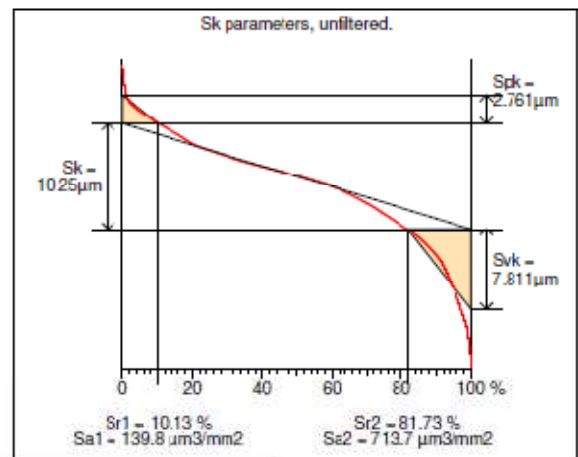
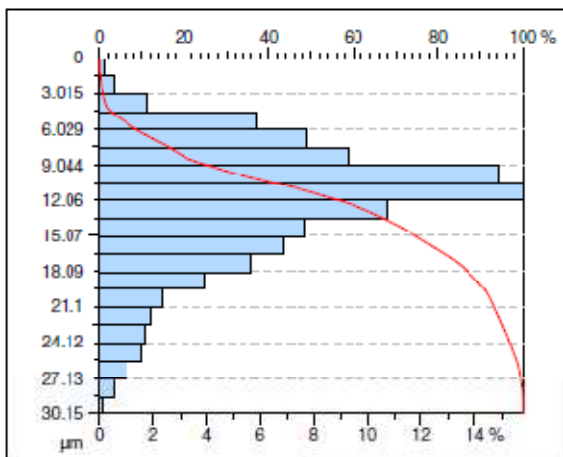
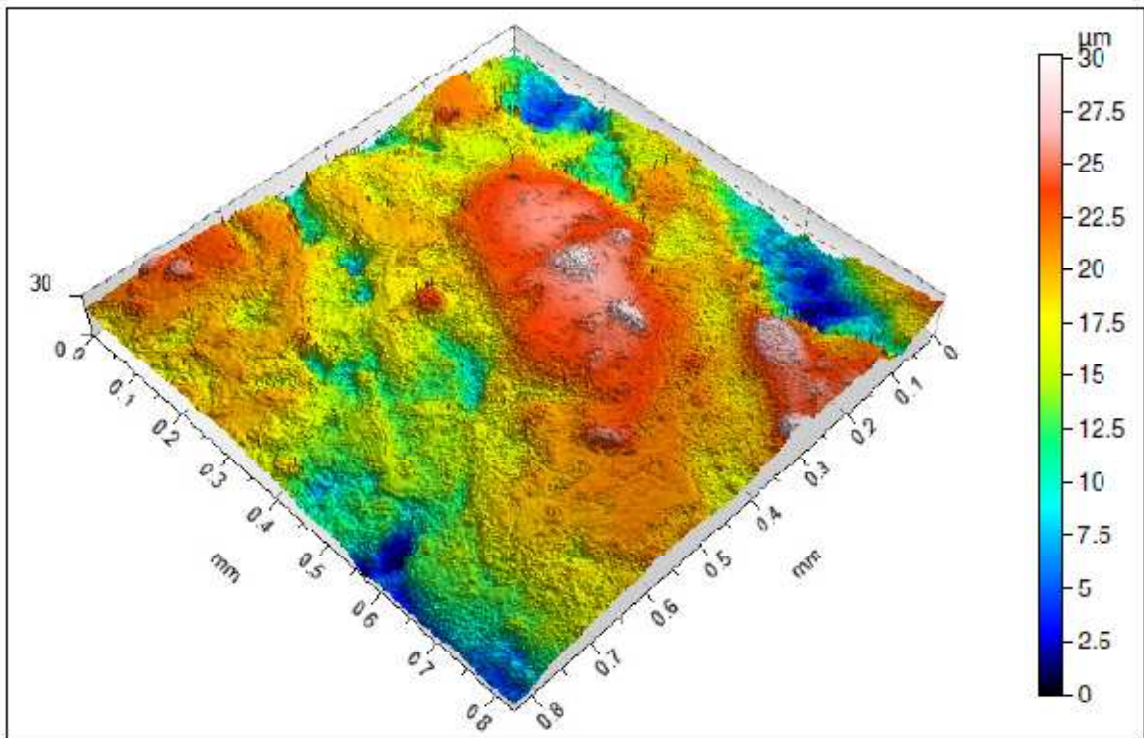
TalyMap Platinum 6.1.0.8001

Arruela 5/16" – Ponto 2 lado contato com a porca (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	3.365	μm		Root mean square height
Ssk	-1.343			Skewness
Sku	4.880			Kurtosis
Sp	7.594	μm		Maximum peak height
Sv	18.44	μm		Maximum pit height
Sz	26.03	μm		Maximum height
Sa	2.579	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	4.383e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.003981	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	4.383e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.002851	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.002734	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0006475	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.569	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	1.730	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	4.064	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	14.81	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	79.66	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



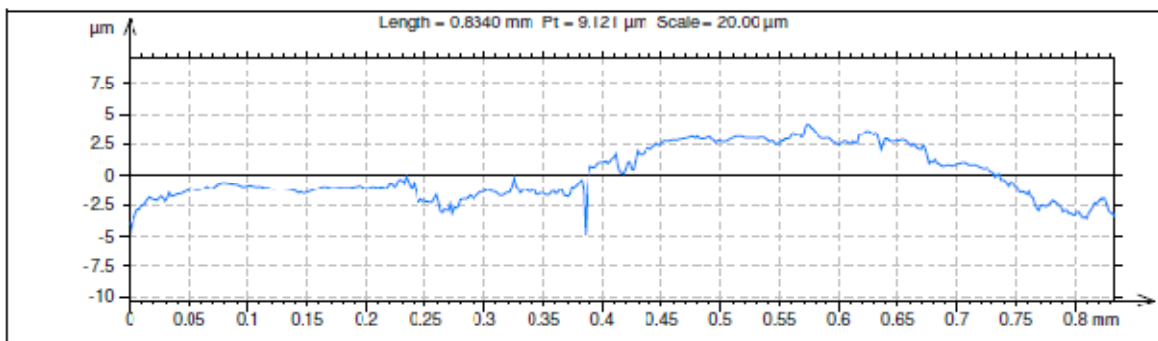
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	3.117	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.645	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	4.763	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	2.243	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	8.293	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.5352	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.7645	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	0.5449		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	6.394		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



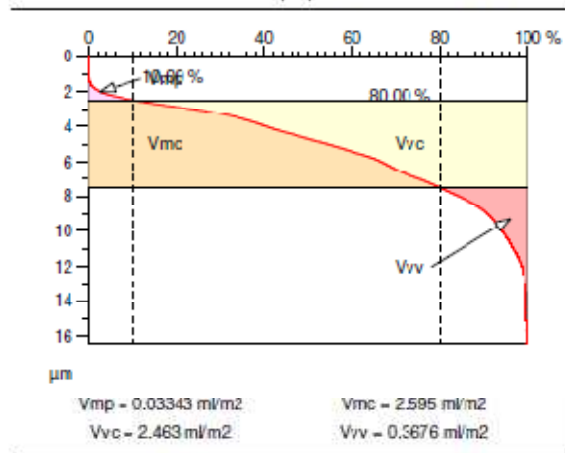
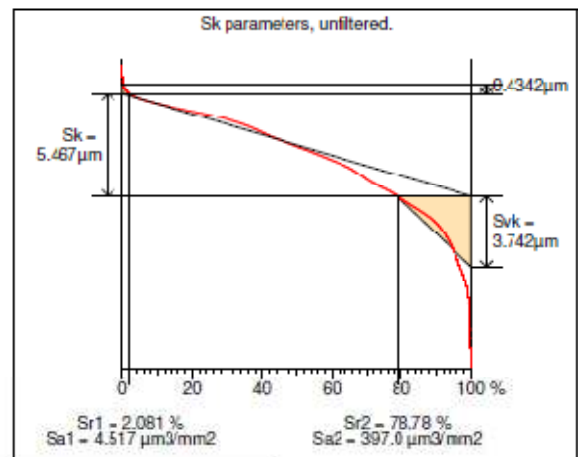
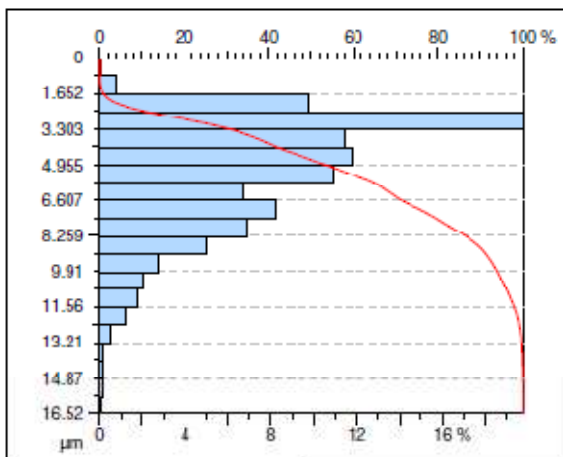
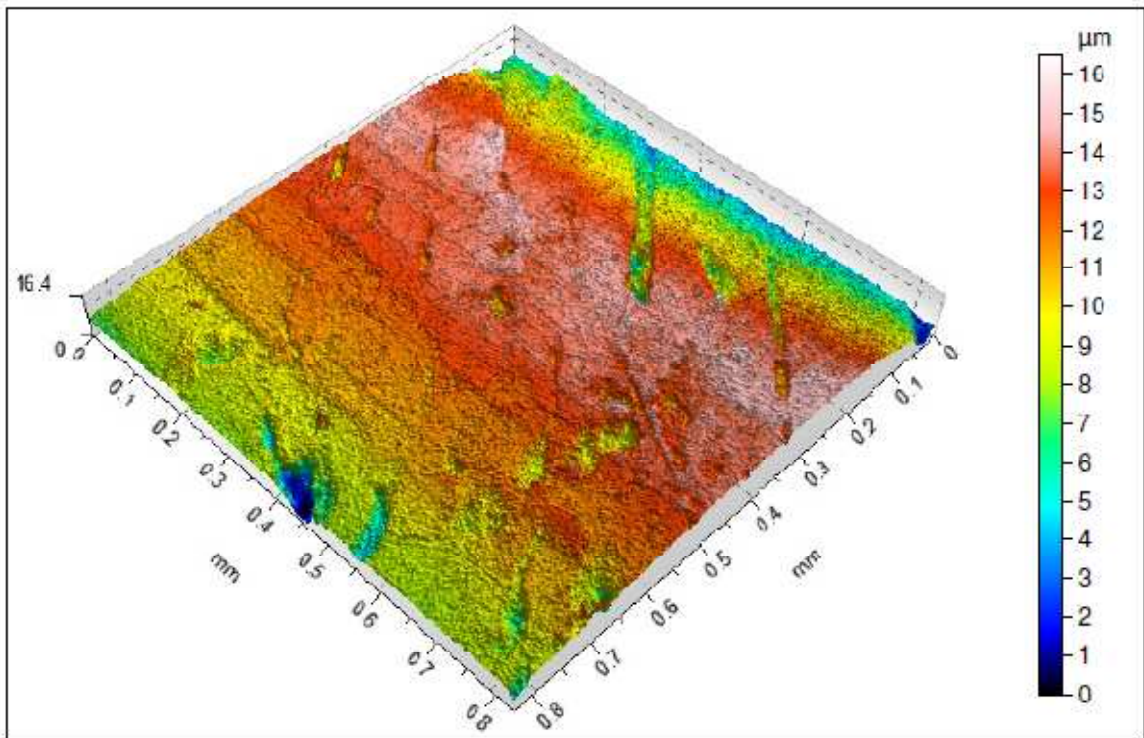
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Arruela 5/16" – Ponto 3 lado contato com a porca (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	5.037	μm		Root mean square height
Ssk	-0.7475			Skewness
Sku	3.436			Kurtosis
Sp	12.30	μm		Maximum peak height
Sv	17.85	μm		Maximum pit height
Sz	30.15	μm		Maximum height
Sa	3.923	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	0.0001373	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.006001	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	0.0001373	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001601	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core material volume
Vvc	0.005305	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core void volume
Vvv	0.0007861	mm^3/mm^2	$p = 90\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	3.033	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	1.905	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	2.950	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	9.582	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	84.23	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



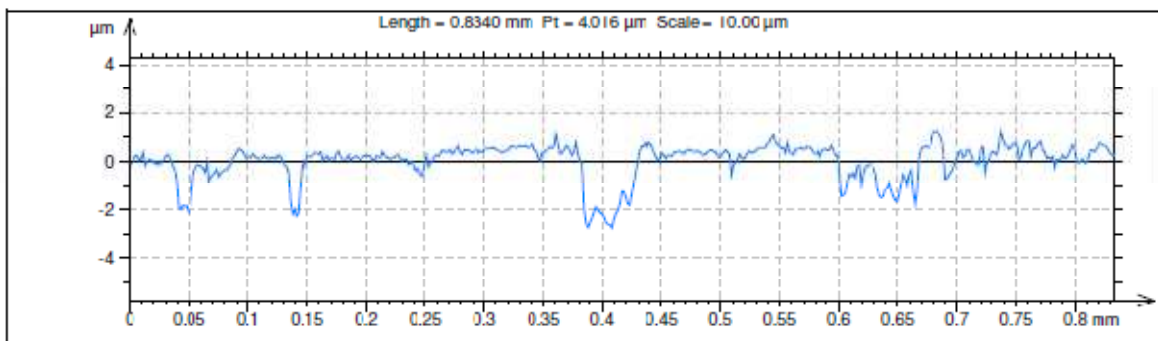
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.225	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	3.241	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	4.467	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	2.255	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	6.203	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.4232	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.5970	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-2.095		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	15.42		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



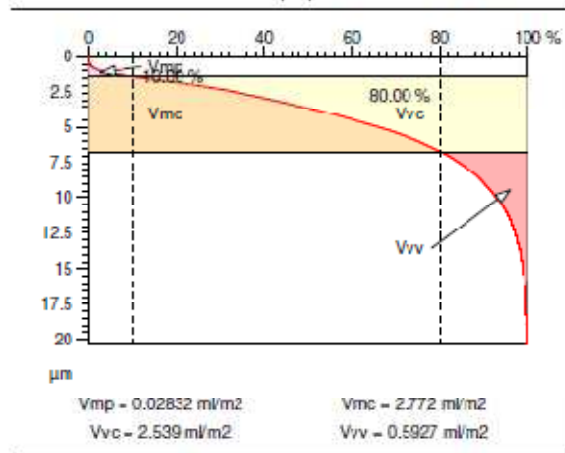
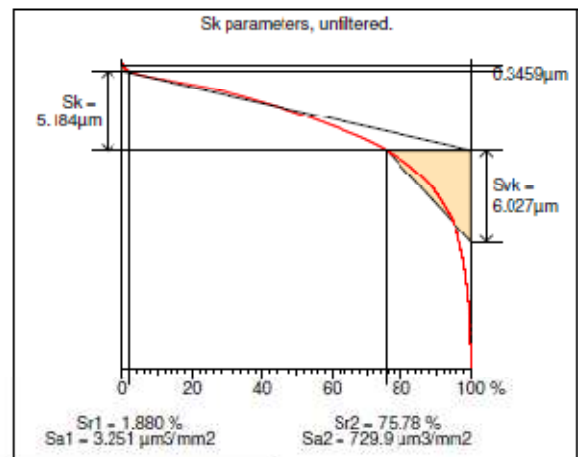
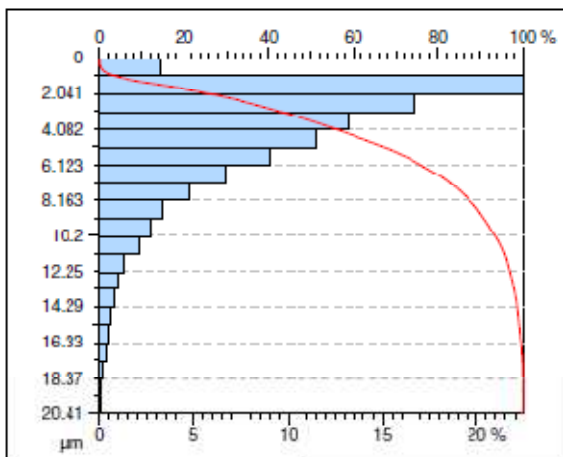
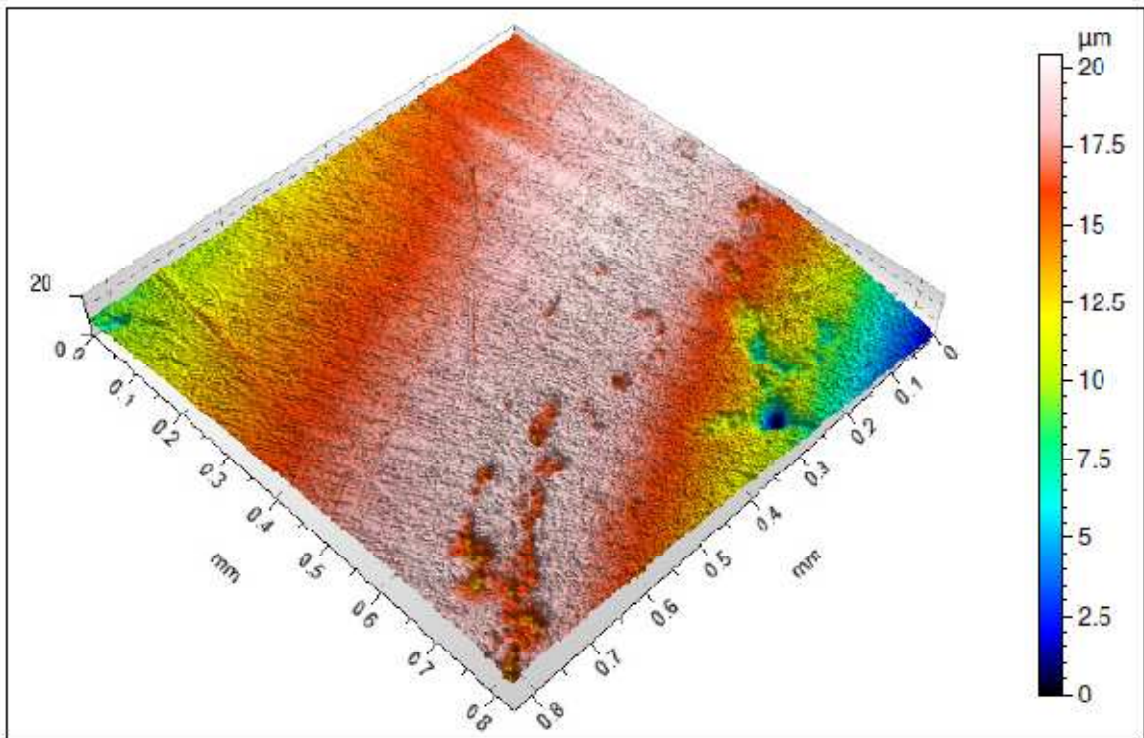
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,00 / classe 8.8 – Ponto 1 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	2.593	μm		Root mean square height
Ssk	-0.869			Skewness
Sku	3.282			Kurtosis
Sp	5.233	μm		Maximum peak height
Sv	11.28	μm		Maximum pit height
Sz	16.52	μm		Maximum height
Sa	2.122	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	3.343e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.002831	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	3.343e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.002606	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.002463	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0003676	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.029	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.7226	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	2.209	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	14.04	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	86.69	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



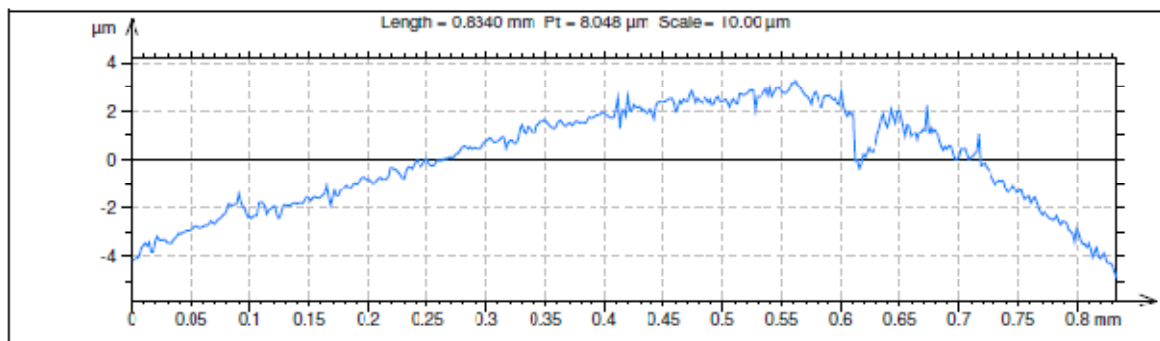
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.235	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	2.213	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	3.444	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	2.433	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	3.627	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.4764	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.6665	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-1.475		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	6.224		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



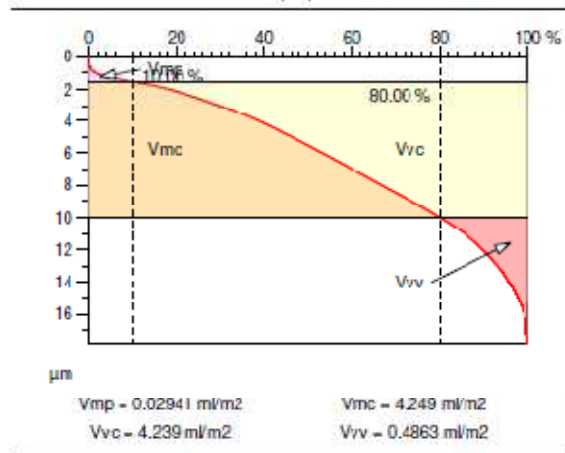
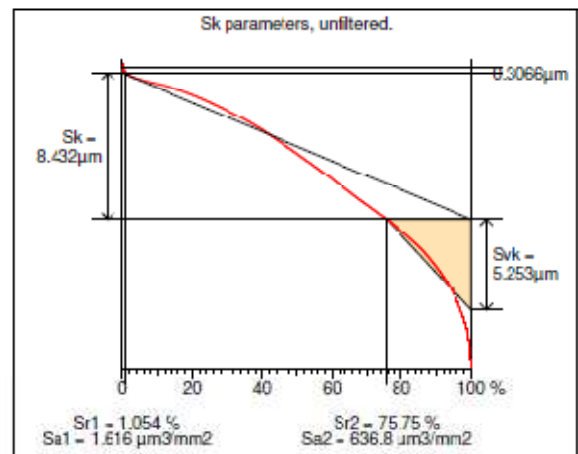
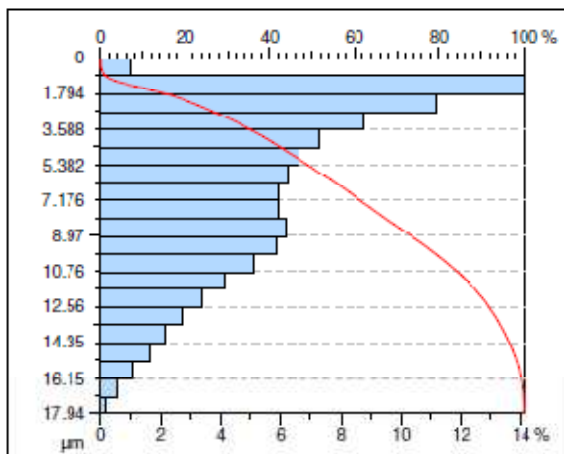
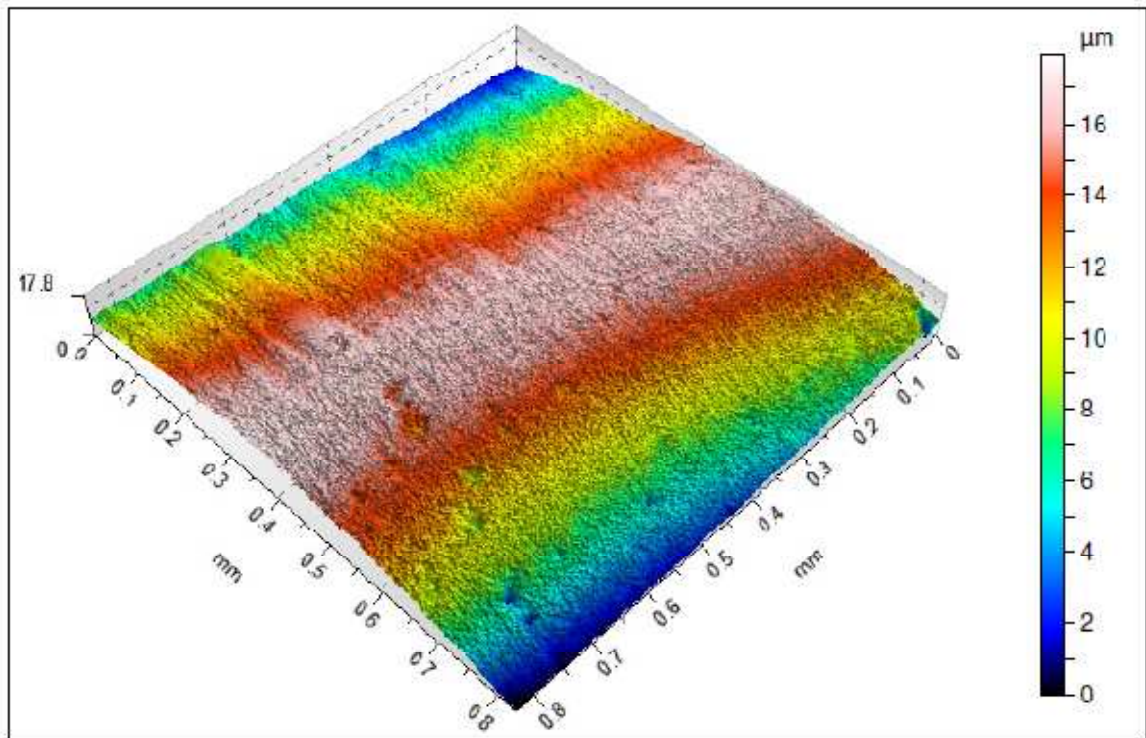
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,00 / classe 8.8 – Ponto 2 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	3.184	μm		Root mean square height
Ssk	-1.391			Skewness
Sku	5.060			Kurtosis
Sp	4.471	μm		Maximum peak height
Sv	15.94	μm		Maximum pit height
Sz	20.41	μm		Maximum height
Sa	2.463	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	2.832e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.003132	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	2.832e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.002772	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.002539	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0006027	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	0.7827	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.5023	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	1.284	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	13.42	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	88.82	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



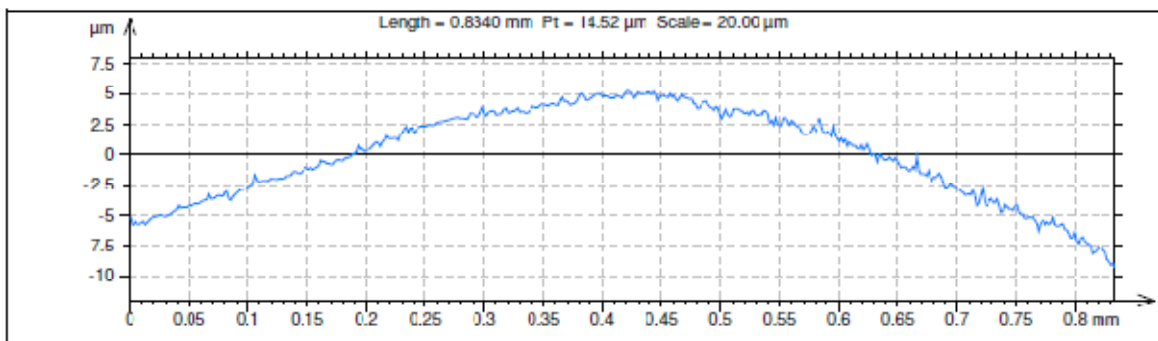
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.6015	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.354	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.955	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	0.6313	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	3.512	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.2129	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.3201	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-1.633		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	6.802		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



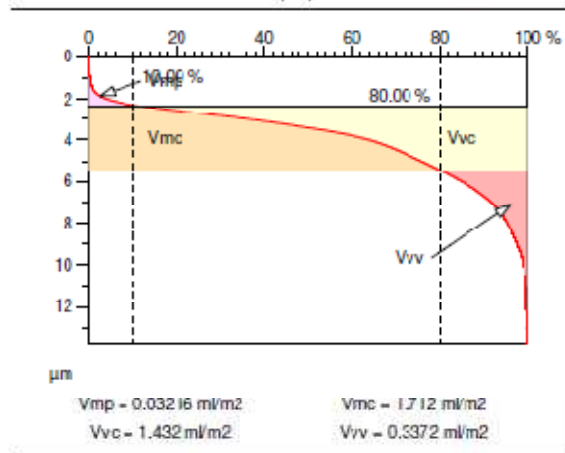
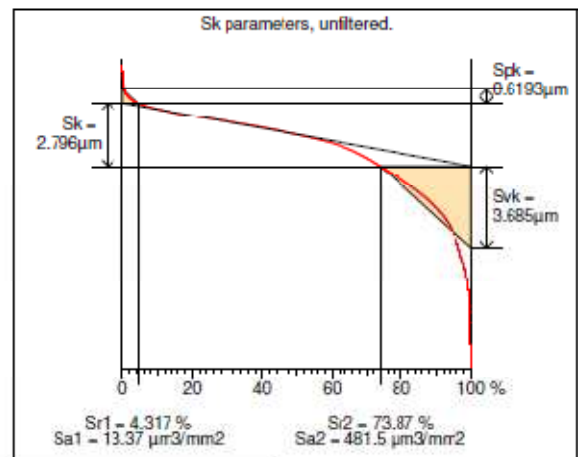
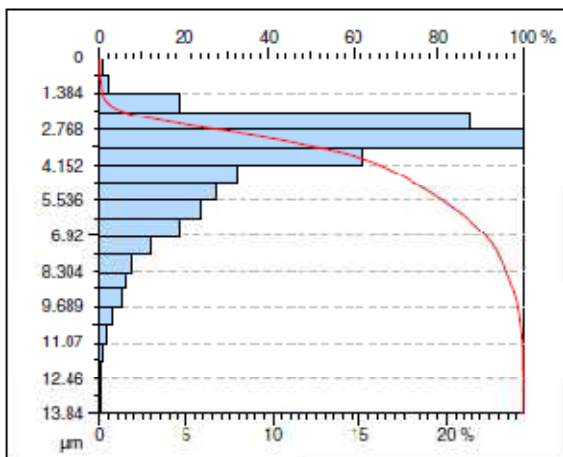
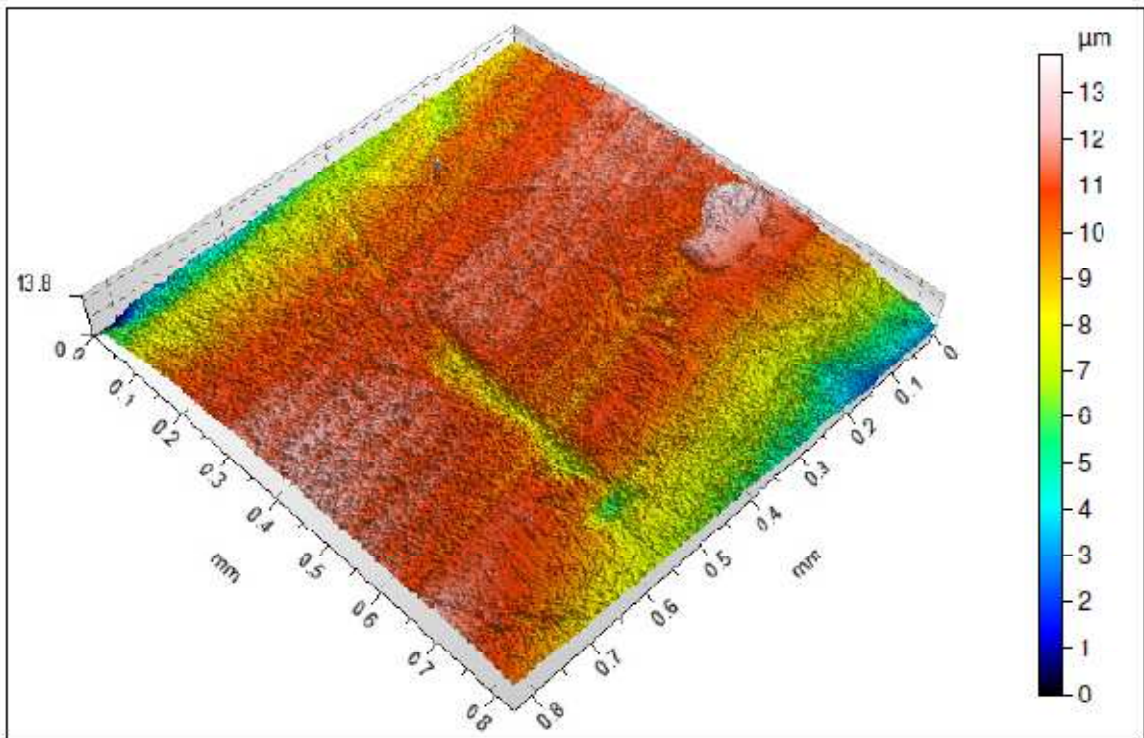
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,00 / classe 8.8 – Ponto 3 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	4.035	μm		Root mean square height
Ssk	-0.5518			Skewness
Sku	2.306			Kurtosis
Sp	6.205	μm		Maximum peak height
Sv	11.73	μm		Maximum pit height
Sz	17.94	μm		Maximum height
Sa	3.441	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	2.941e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.004725	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	2.941e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001210	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.004239	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0001863	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	0.8552	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.3684	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	0.6691	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	9.475	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	88.88	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



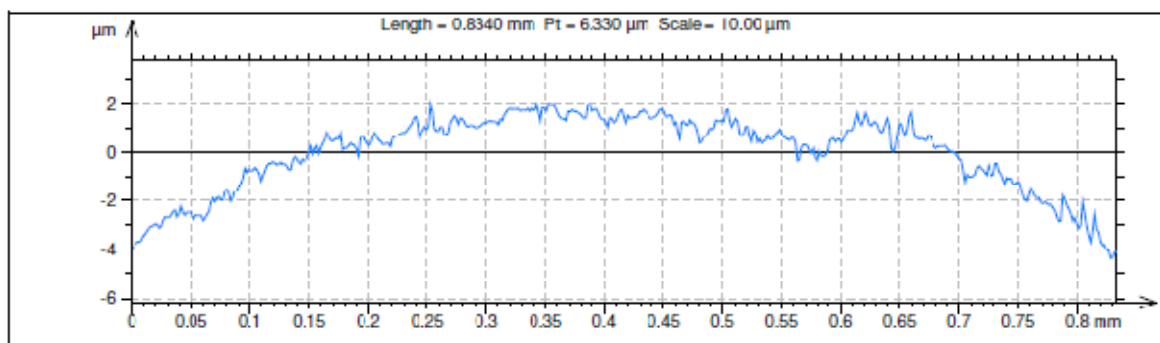
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.9799	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	0.6794	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.559	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	0.6691	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	2.029	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.2194	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.2730	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	0.2136		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	3.190		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



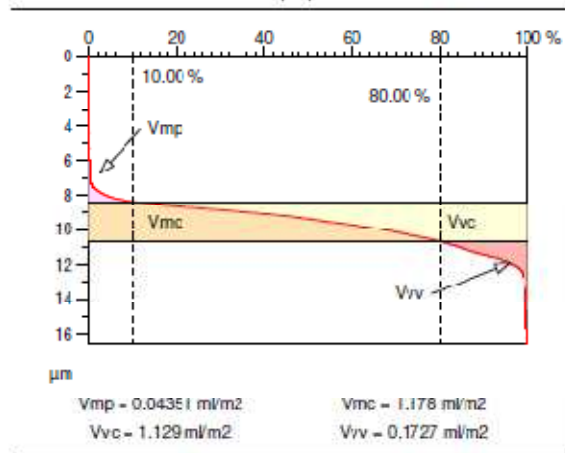
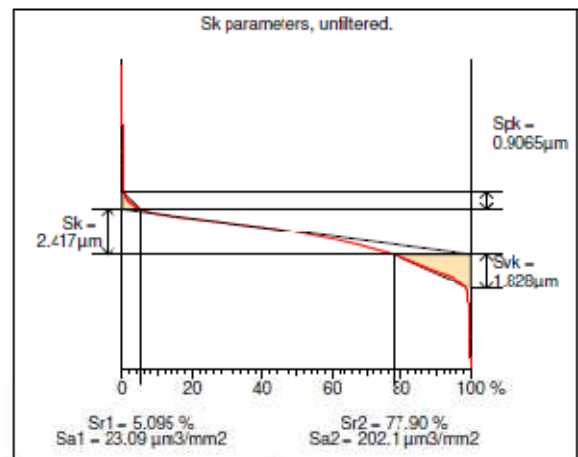
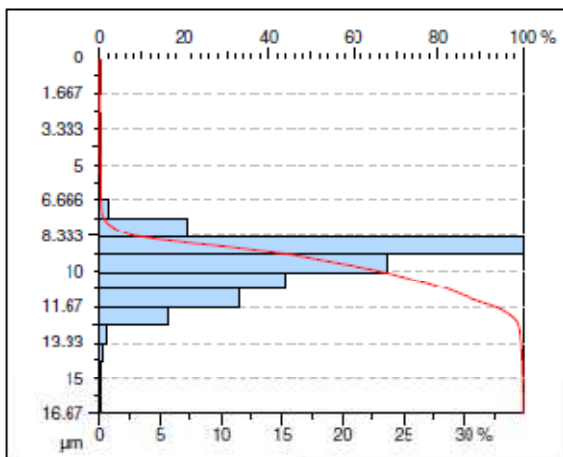
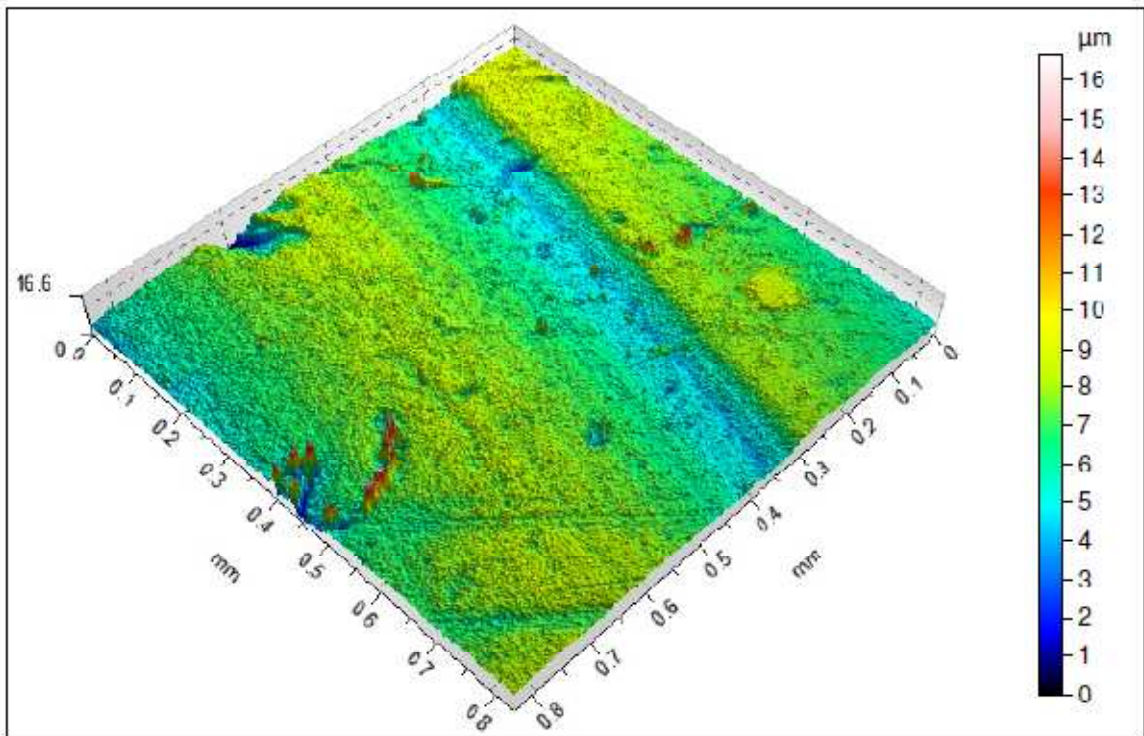
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,25 / classe 8.8 – Ponto 1 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	1.860	μm		Root mean square height
Ssk	-1.377			Skewness
Sku	4.868			Kurtosis
Sp	4.021	μm		Maximum peak height
Sv	9.819	μm		Maximum pit height
Sz	13.84	μm		Maximum height
Sa	1.442	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	3.216e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.001769	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	3.216e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001712	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.001432	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0003372	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	0.9197	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.3972	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	0.7882	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	8.613	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	86.61	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



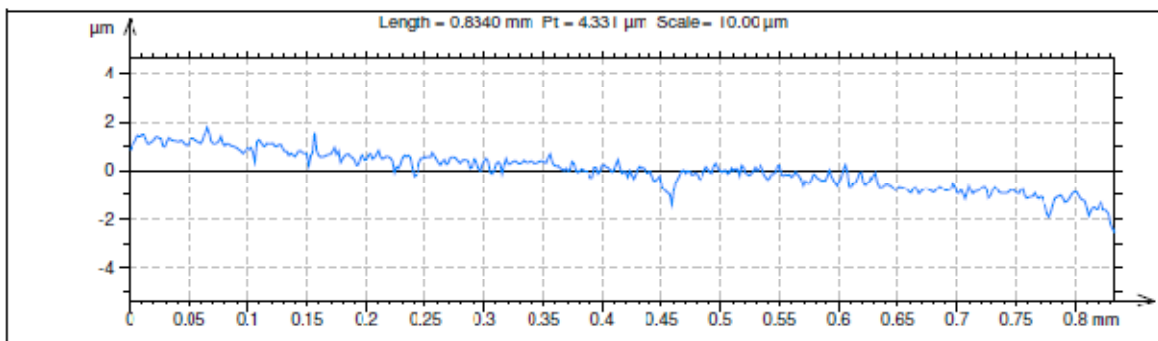
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.9307	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	0.8216	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.752	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	0.7921	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	2.251	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.2504	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.3187	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.1101		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	3.443		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



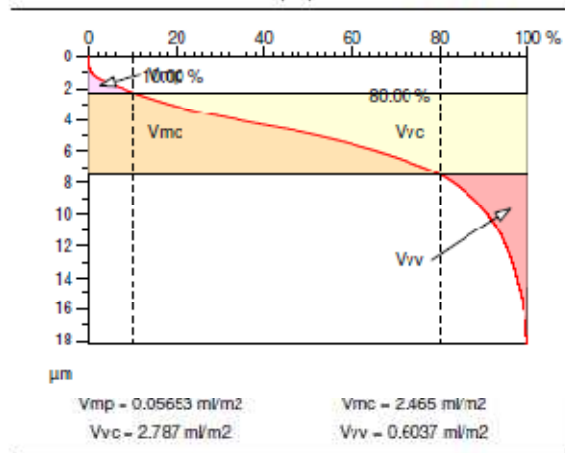
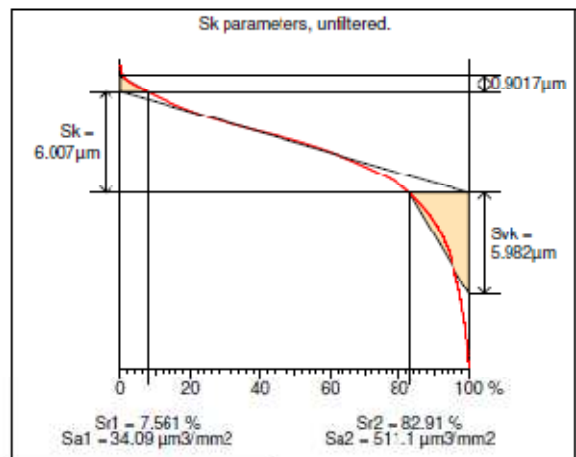
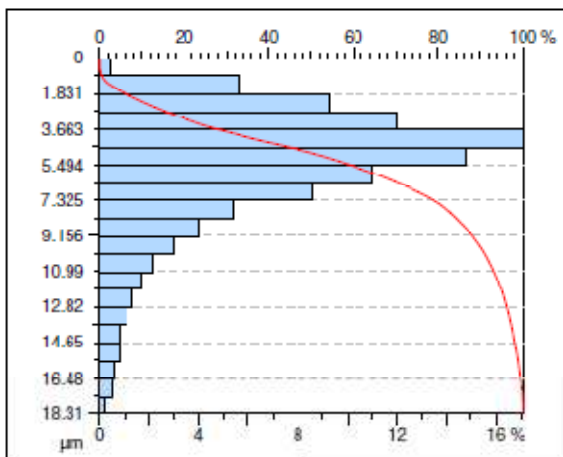
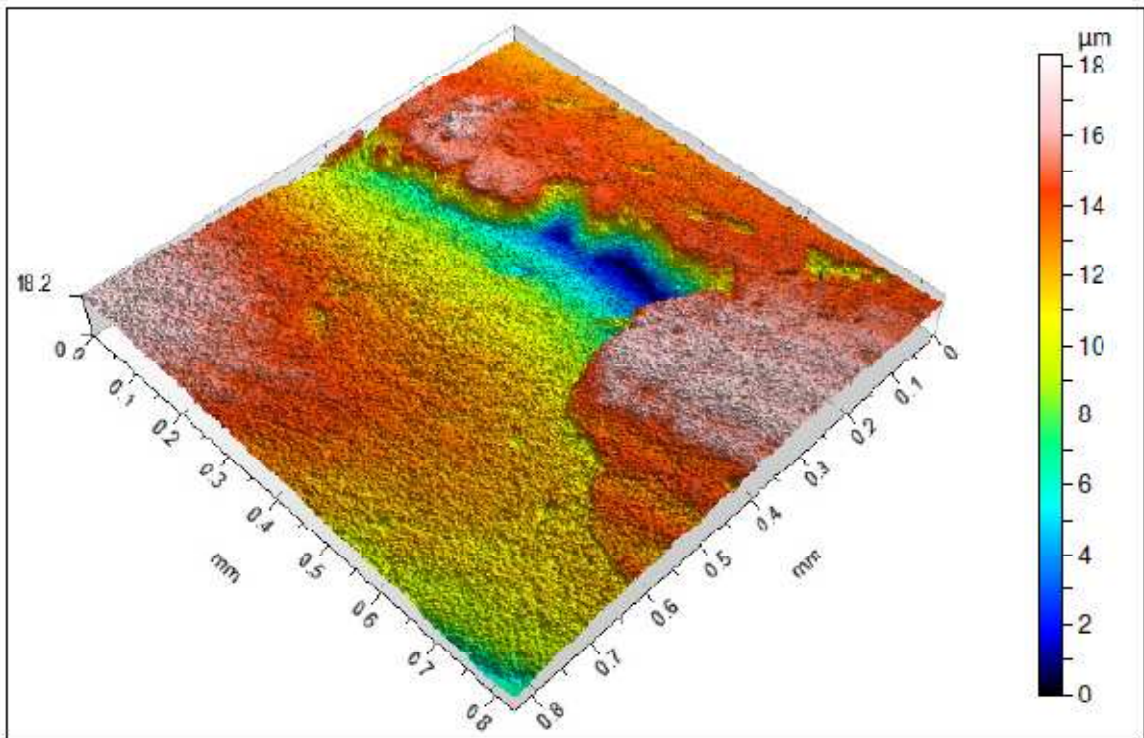
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,25 / classe 8.8 – Ponto 2 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	1.236	μm		Root mean square height
Ssk	-0.5655			Skewness
Sku	5.556			Kurtosis
Sp	9.646	μm		Maximum peak height
Sv	7.020	μm		Maximum pit height
Sz	16.67	μm		Maximum height
Sa	0.9797	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	4.351e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.001902	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	4.351e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001178	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.001129	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0001727	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	0.9071	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.8200	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	0.9316	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	11.40	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	81.90	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



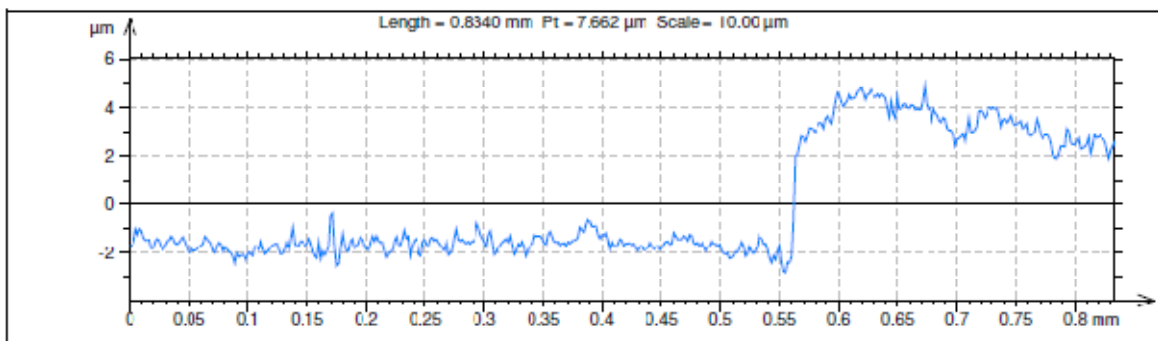
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.7600	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	0.9693	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.729	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	0.5184	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	2.177	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.1623	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.2290	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.8412		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	6.953		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



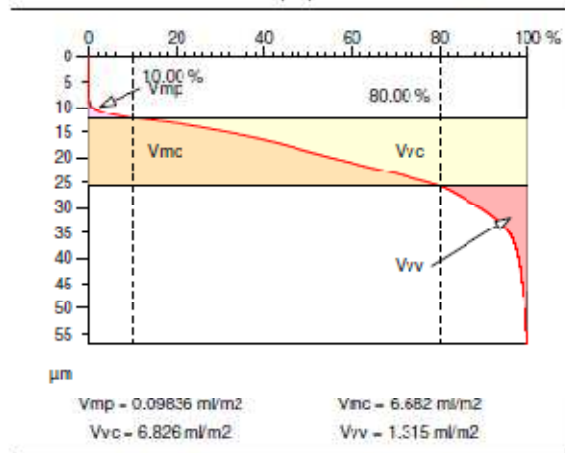
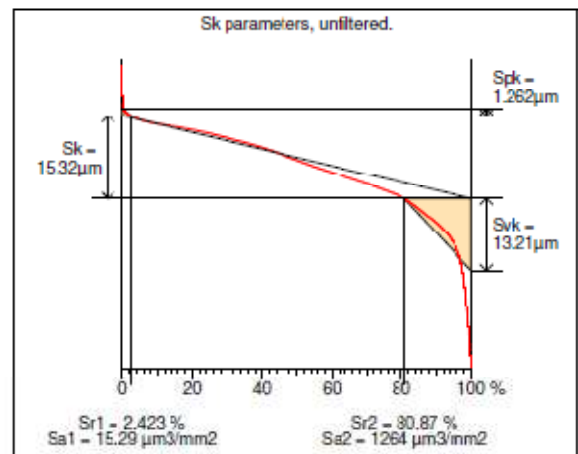
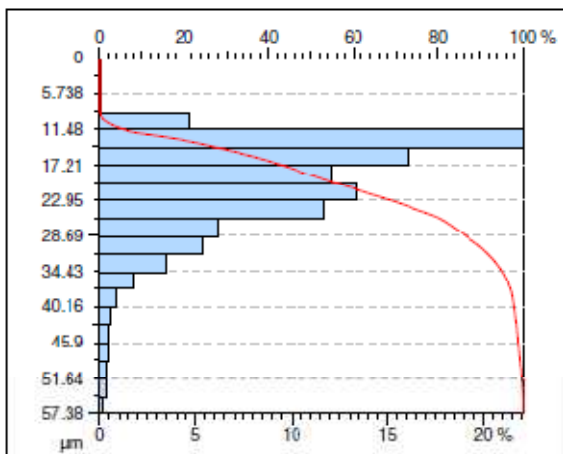
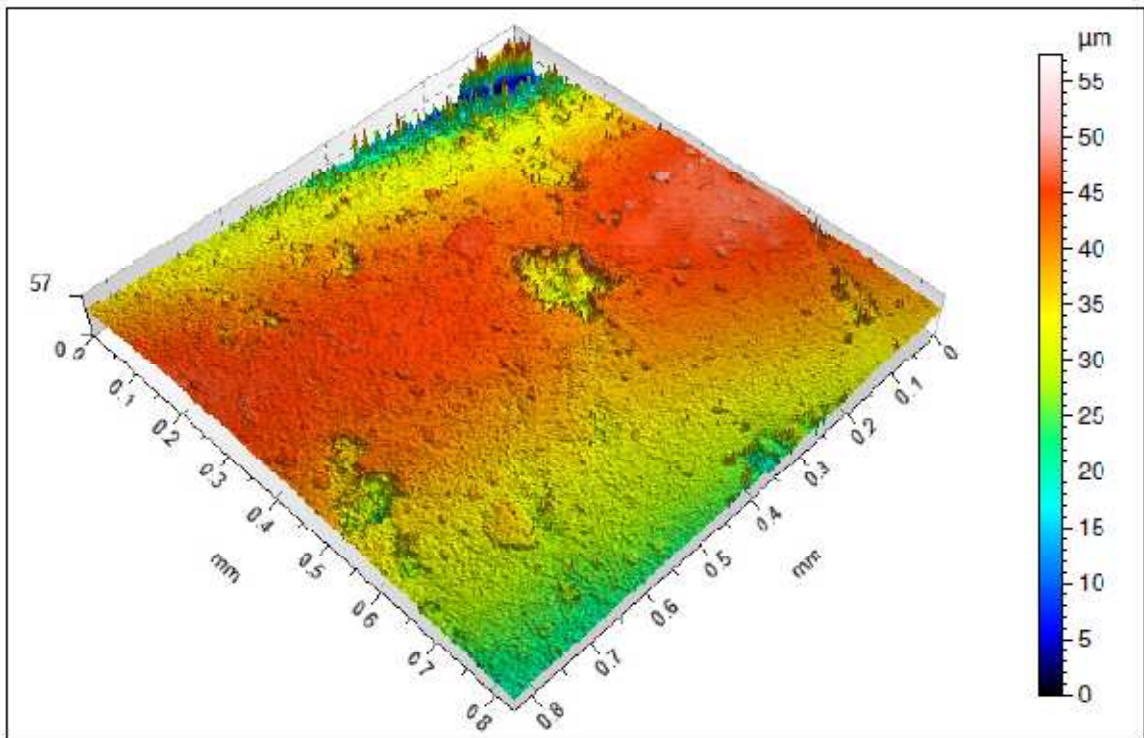
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,25 / classe 8.8 – Ponto 3 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	3.090	μm		Root mean square height
Ssk	-1.283			Skewness
Sku	4.885			Kurtosis
Sp	5.556	μm		Maximum peak height
Sv	12.76	μm		Maximum pit height
Sz	18.31	μm		Maximum height
Sa	2.321	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	5.653e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.00390	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	5.653e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.002165	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.002787	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0006037	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.714	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	2.389	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	3.302	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	15.19	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	82.04	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



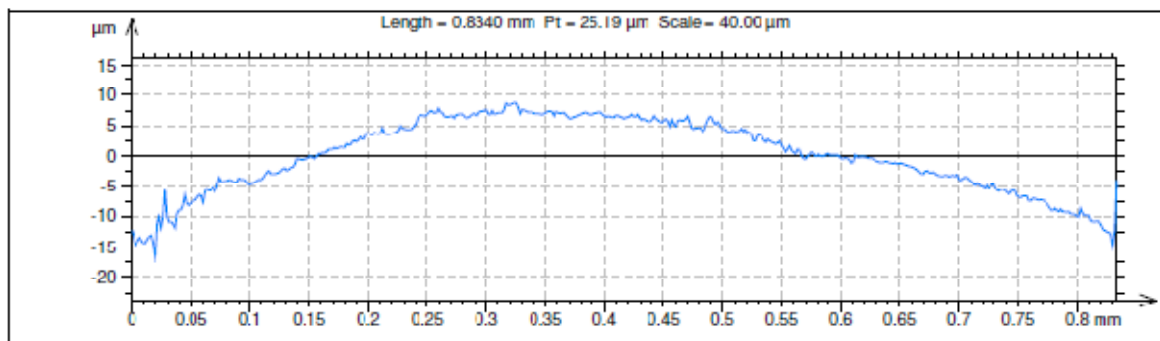
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.638	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	2.075	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	3.714	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	1.581	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	5.276	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.5364	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.7215	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.1401		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	4.437		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



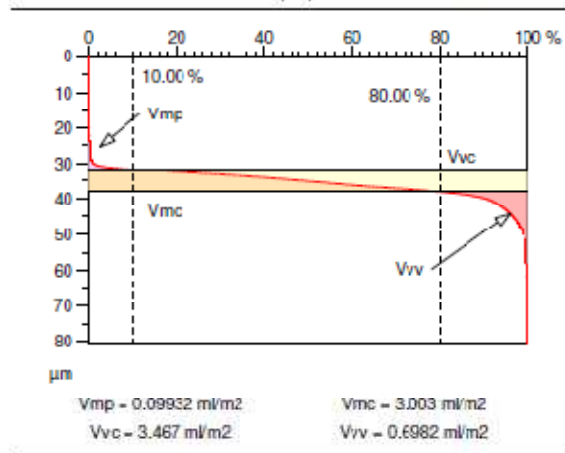
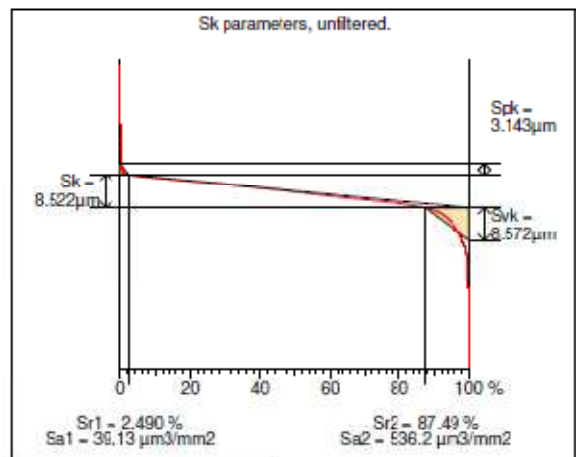
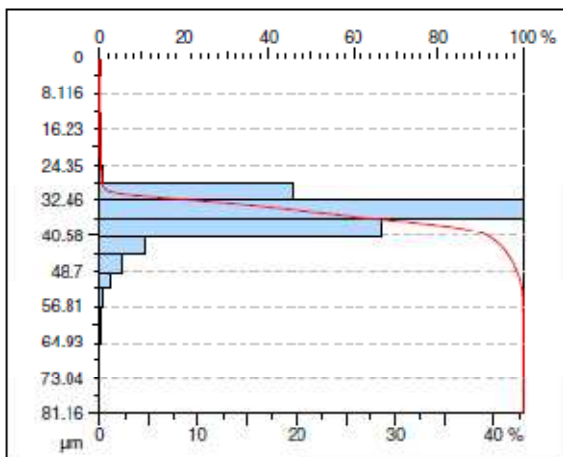
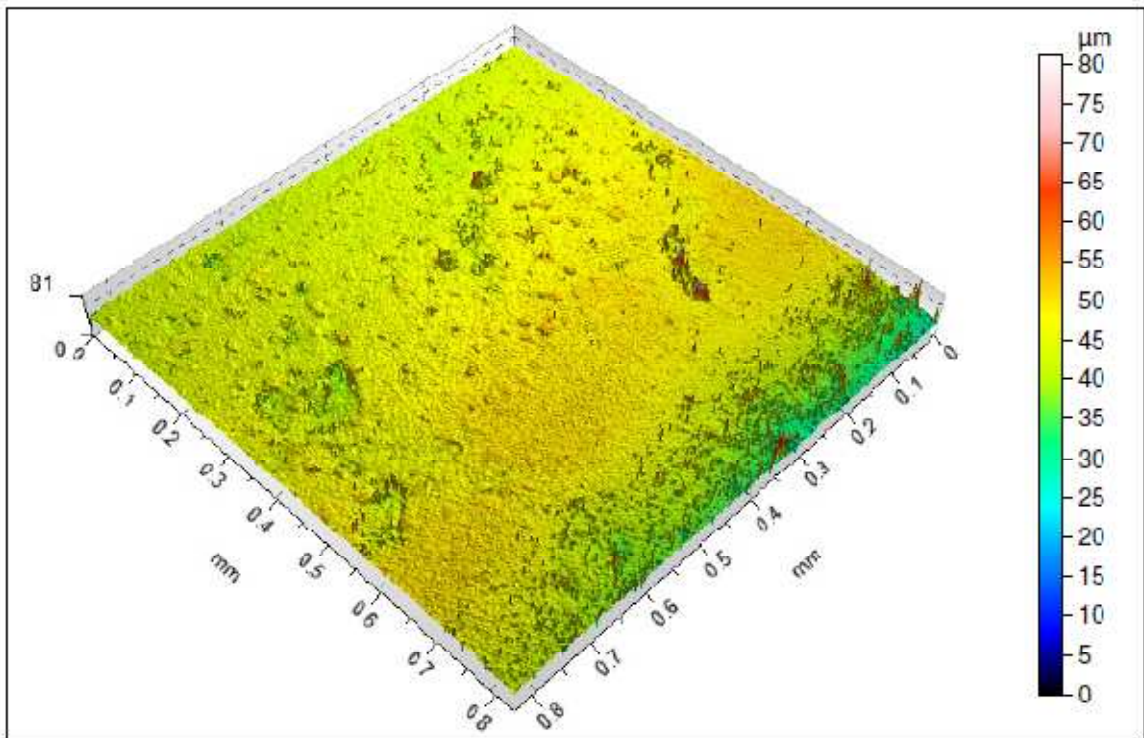
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,25 / classe 5.8 – Ponto 1 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	7.728	μm		Root mean square height
Ssk	-1.221			Skewness
Sku	5.000			Kurtosis
Sp	20.26	μm		Maximum peak height
Sv	37.11	μm		Maximum pit height
Sz	57.38	μm		Maximum height
Sa	6.077	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	9.836e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.008141	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	9.836e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.006692	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.006826	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.001315	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.513	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	1.837	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	3.654	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	16.44	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	84.39	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



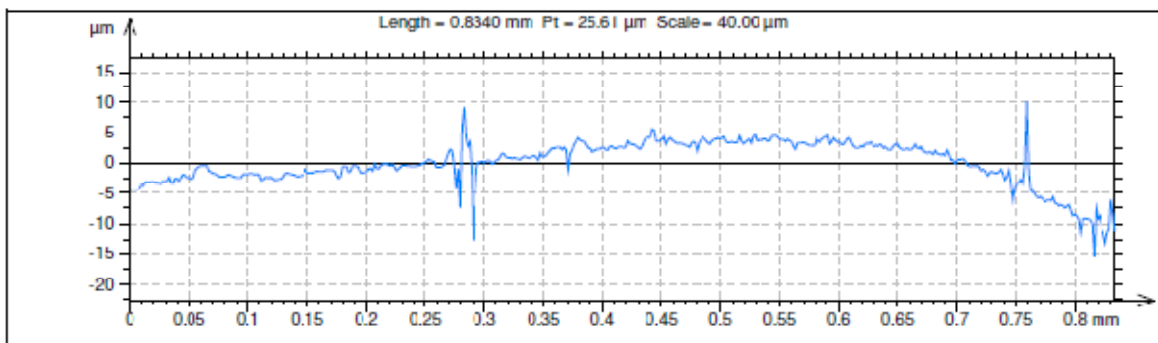
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.803	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.401	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	3.201	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	0.9156	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	3.712	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.4369	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.5909	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	0.4763		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	4.083		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



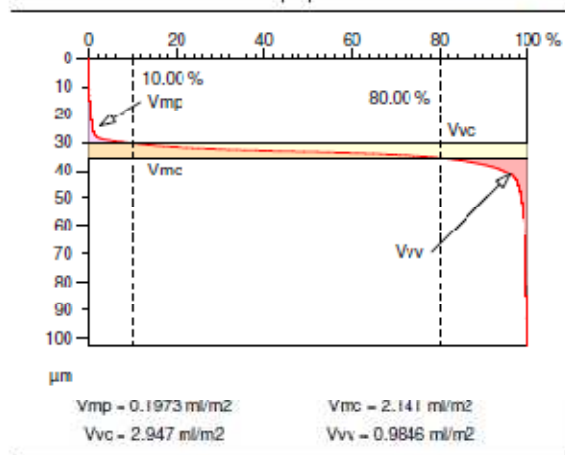
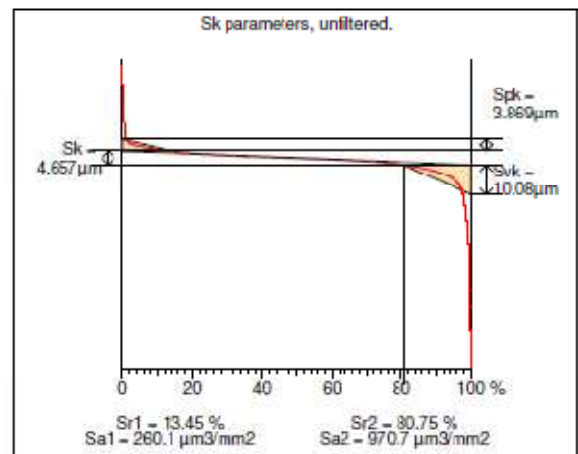
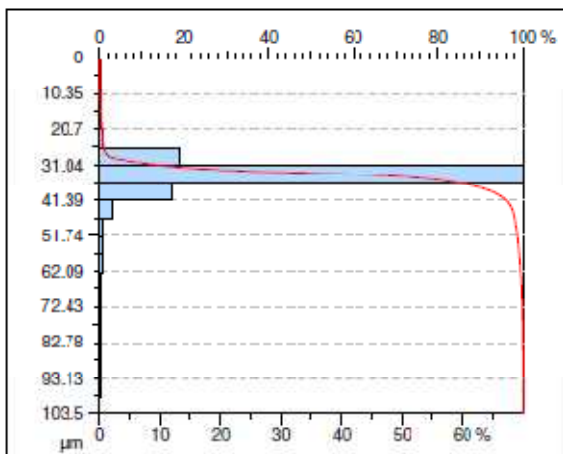
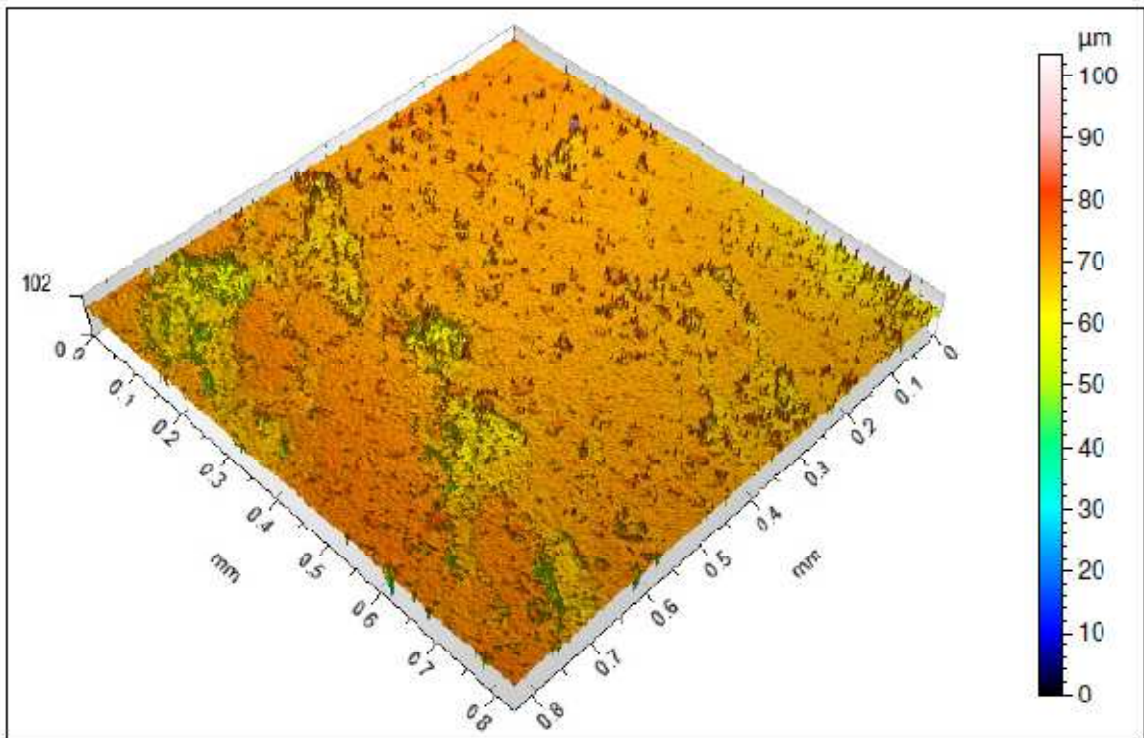
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,25 / classe 5.8 – Ponto 2 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	4.076	μm		Root mean square height
Ssk	-1.403			Skewness
Sku	10.83			Kurtosis
Sp	35.65	μm		Maximum peak height
Sv	45.51	μm		Maximum pit height
Sz	81.16	μm		Maximum height
Sa	2.967	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	9.932e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.004165	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	9.932e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.003003	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.003467	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0006082	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.551	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	2.172	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	3.177	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	14.87	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	84.77	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



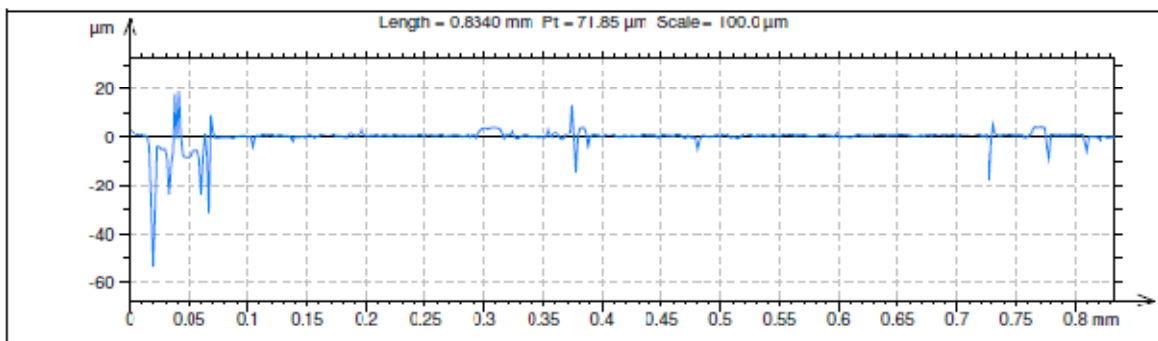
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	5.591	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	7.388	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	12.98	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	3.282	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	21.93	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.6226	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	1.182	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.6897		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	16.81		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



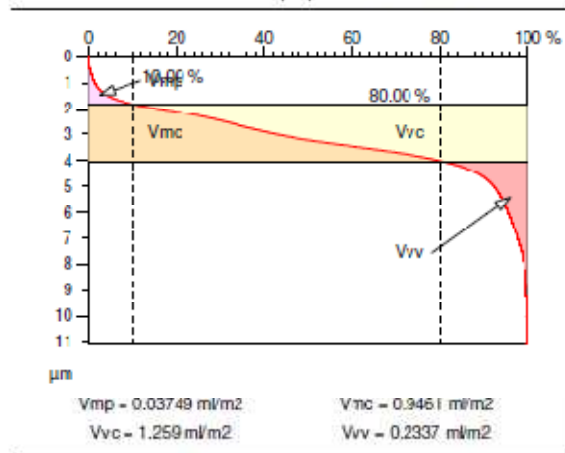
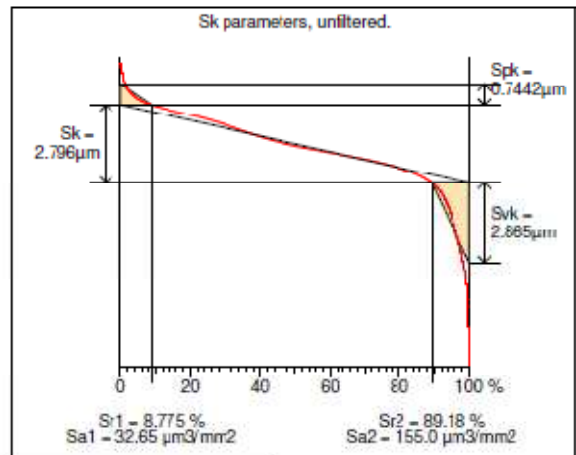
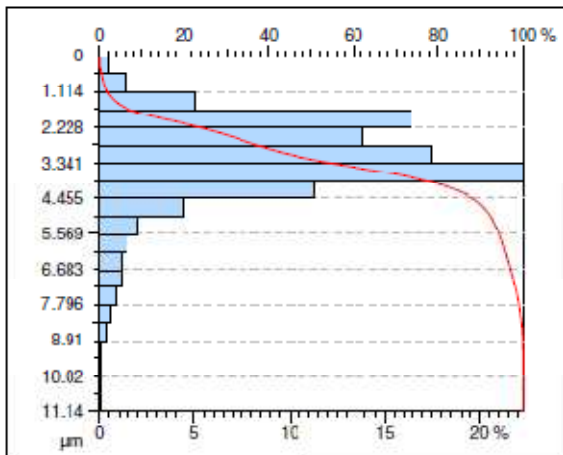
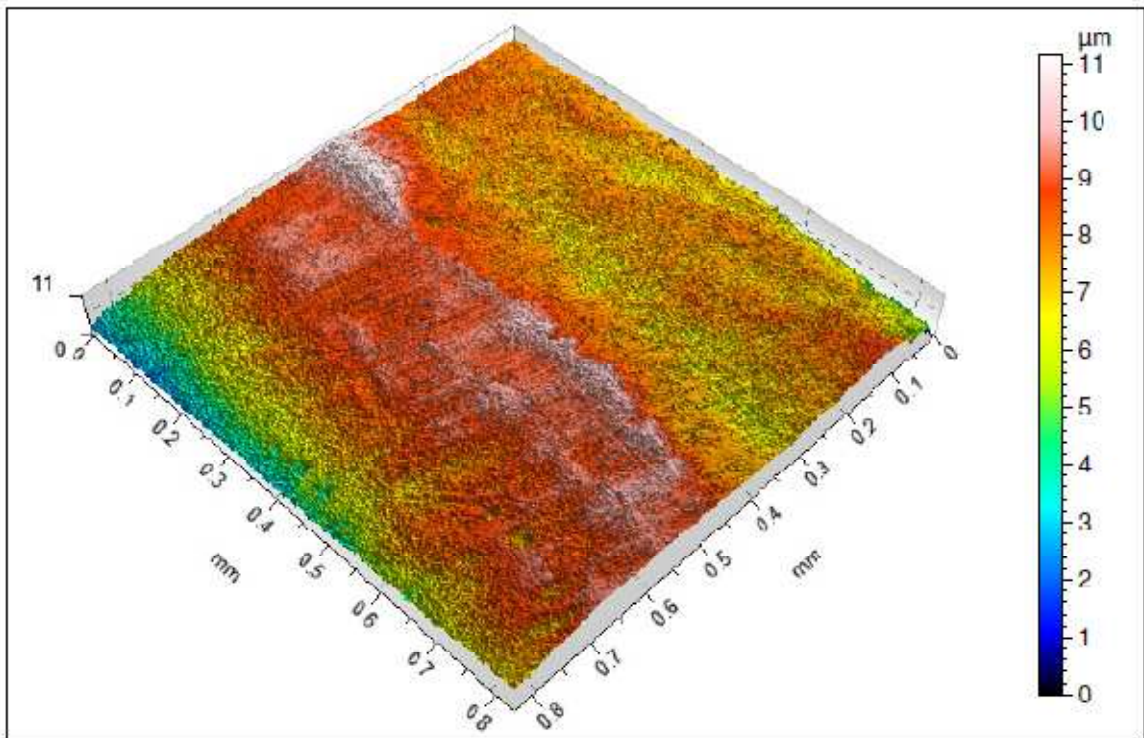
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca M8 passo 1,25 / classe 5.8 – Ponto 3 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	5.175	μm		Root mean square height
Ssk	-4.334			Skewness
Sku	42.09			Kurtosis
Sp	34.03	μm		Maximum peak height
Sv	69.45	μm		Maximum pit height
Sz	103.5	μm		Maximum height
Sa	2.683	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	0.0001973	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.0003031	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	0.0001973	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.0002141	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core material volume
Vvc	0.0002947	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core void volume
Vvv	0.0000815	mm^3/mm^2	$p = 90\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	2.545	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	3.947	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Skv	8.533	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	16.94	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	86.44	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



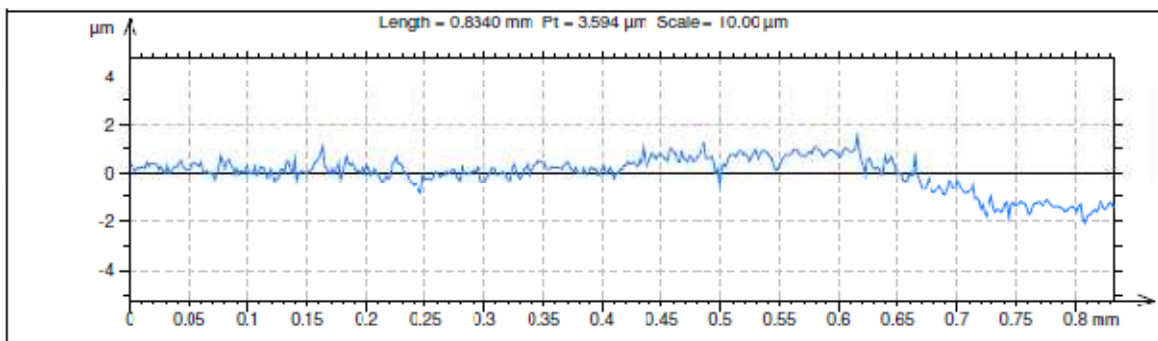
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	8.267	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	8.409	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	16.68	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	3.004	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	27.35	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.7788	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	1.501	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.1212		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	22.95		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



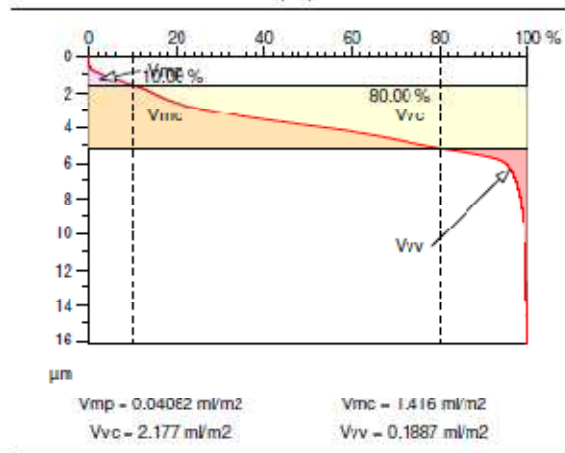
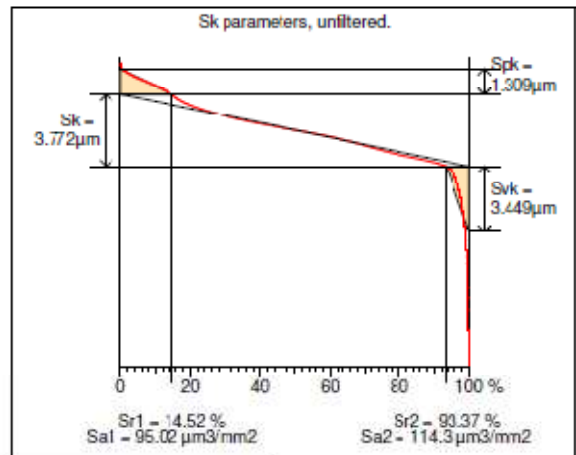
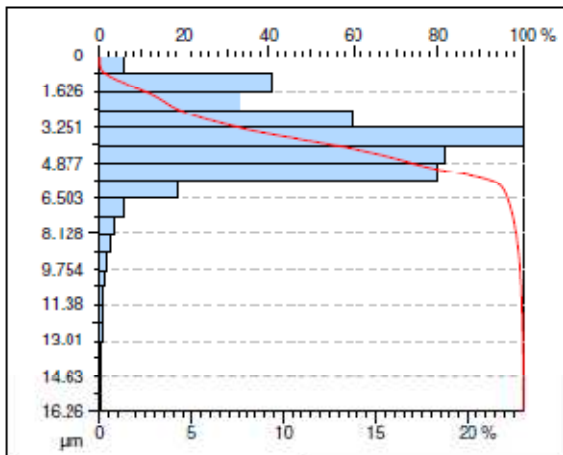
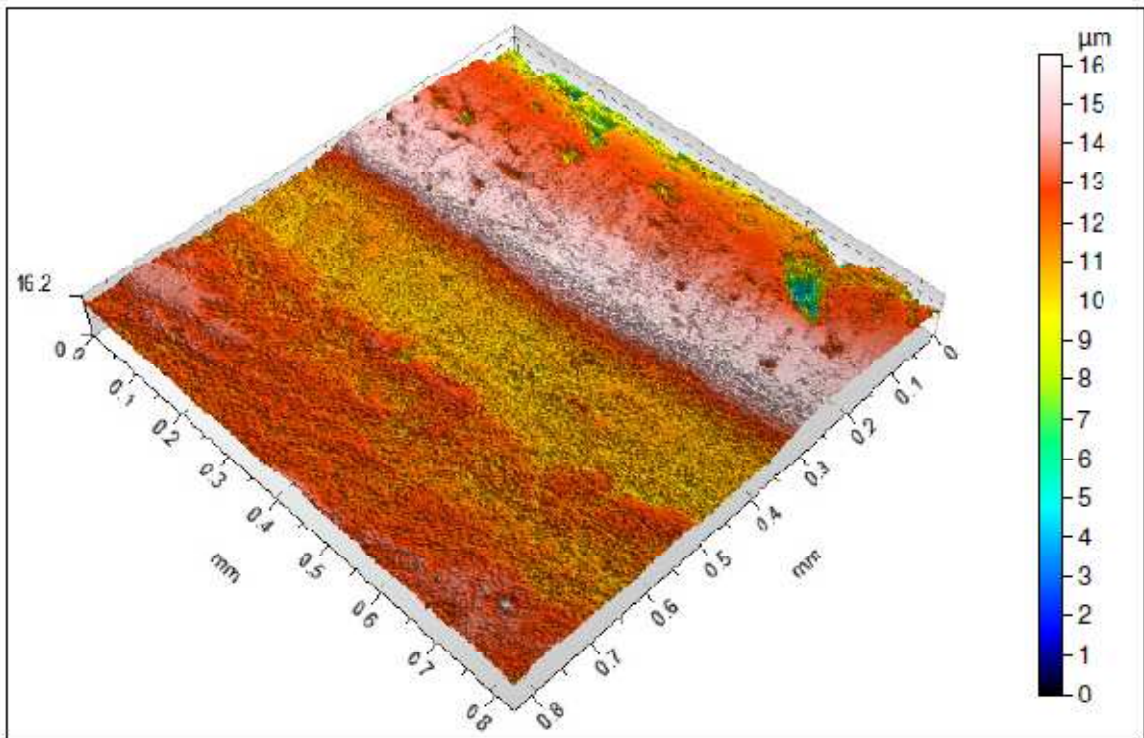
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca 5/16" 24 / classe G5 – Ponto 1 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	1.320	μm		Root mean square height
Ssk	-1.20			Skewness
Sku	5.861			Kurtosis
Sp	3.257	μm		Maximum peak height
Sv	7.881	μm		Maximum pit height
Sz	11.14	μm		Maximum height
Sa	0.9666	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	3.749e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.001409	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	3.749e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.0000461	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.001259	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0002337	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	0.8531	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.4437	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	0.5140	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	11.07	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	88.37	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



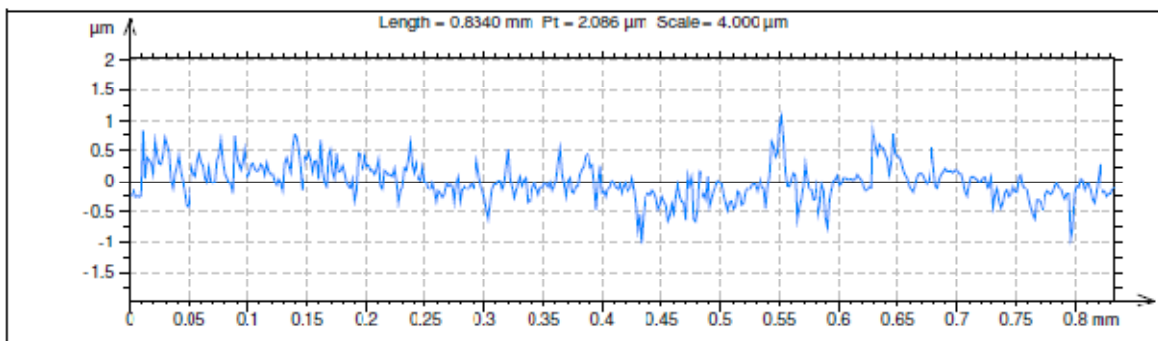
ISO 4267				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.9898	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	0.9973	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.987	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	0.6427	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	2.189	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.2007	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.2682	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.09822		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	4.604		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



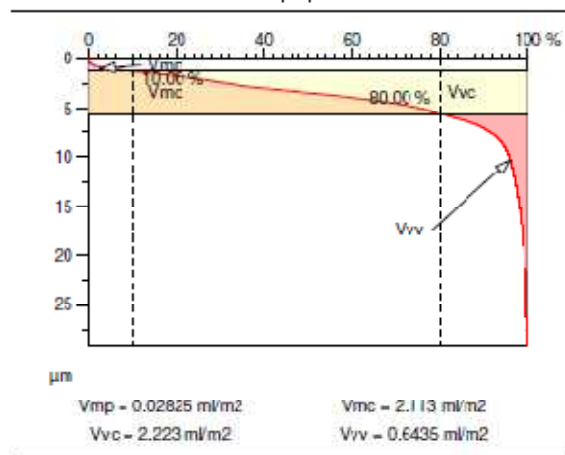
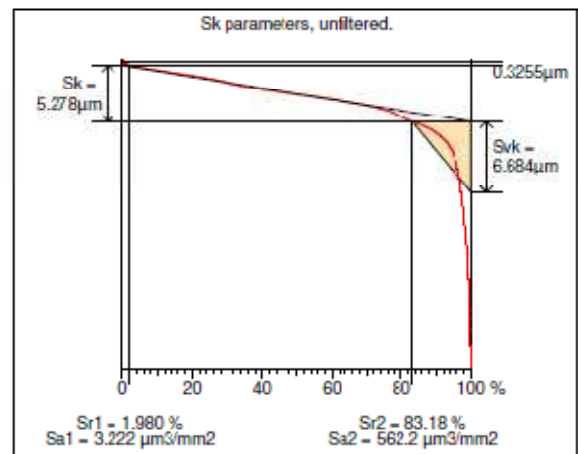
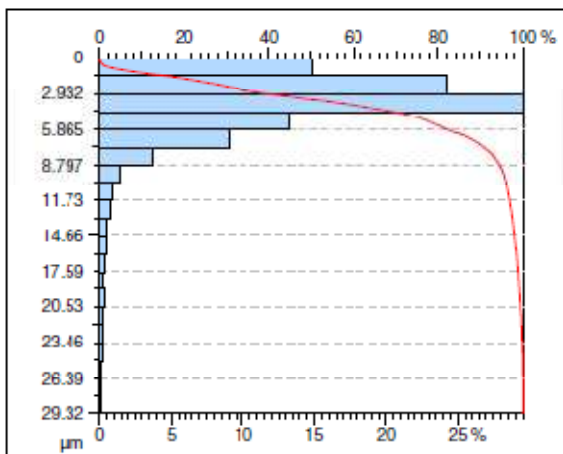
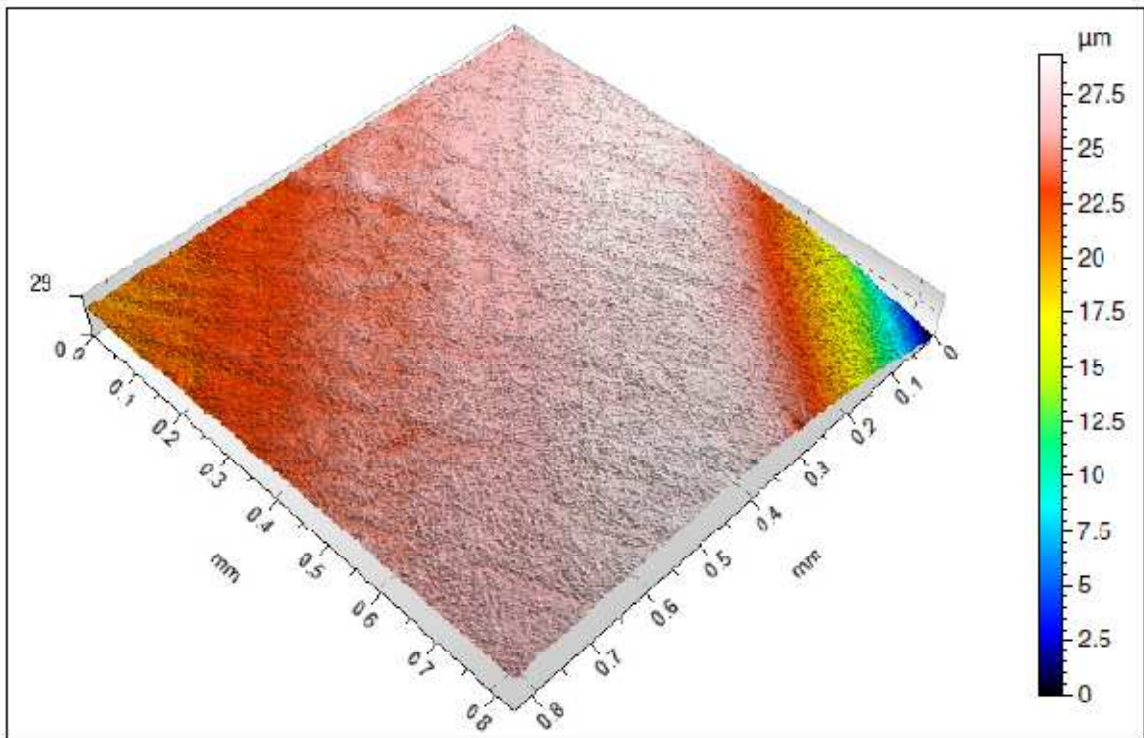
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca 5/16" 24 / classe G5 – Ponto 2 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	1.670	μm		Root mean square height
Ssk	-0.9373			Skewness
Sku	7.335			Kurtosis
Sp	3.881	μm		Maximum peak height
Sv	12.38	μm		Maximum pit height
Sz	16.26	μm		Maximum height
Sa	1.242	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	4.082e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.002365	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	4.082e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001116	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.002177	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0001887	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.373	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.5721	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	0.7974	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	11.24	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	91.19	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



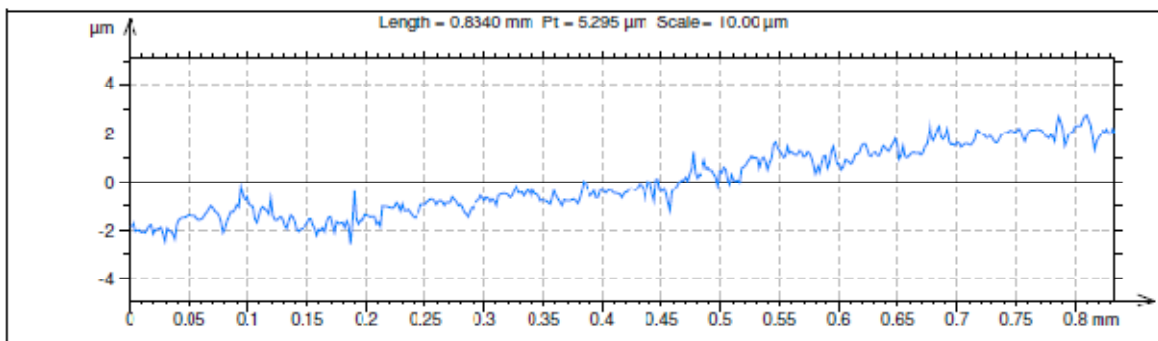
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	0.8541	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	0.7041	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	1.553	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	0.5755	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	1.947	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.1872	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.2551	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	0.2097		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	4.063		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



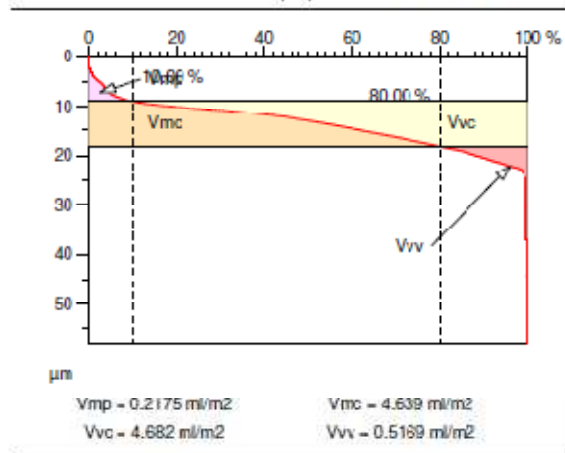
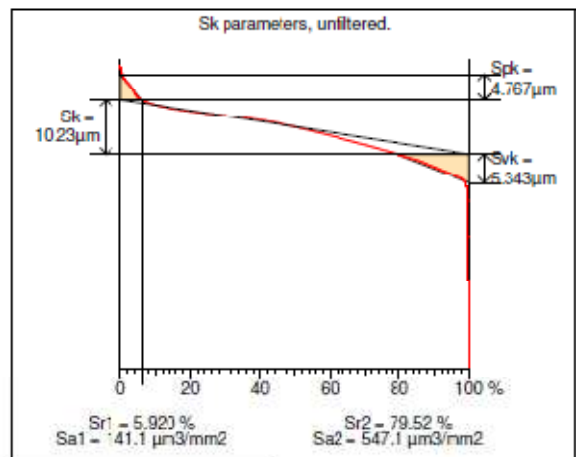
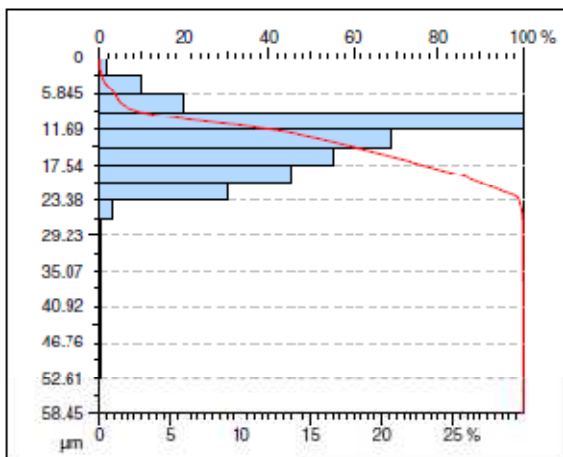
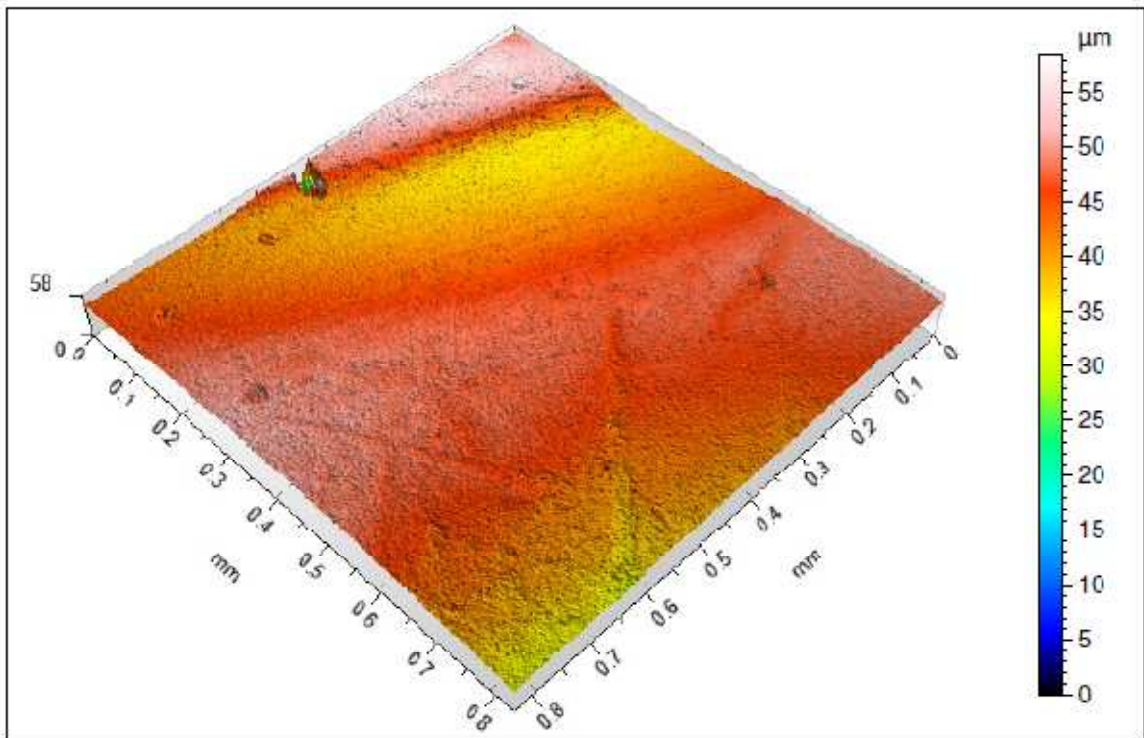
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca 5/16" 24 / classe G5 – Ponto 3 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	3.228	μm		Root mean square height
Ssk	-2.904			Skewness
Sku	15.58			Kurtosis
Sp	4.054	μm		Maximum peak height
Sv	25.27	μm		Maximum pit height
Sz	29.32	μm		Maximum height
Sa	2.091	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	2.825e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.002867	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	2.825e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.002113	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.002223	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0006435	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	0.8524	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.3649	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	0.4049	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	10.49	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	90.29	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



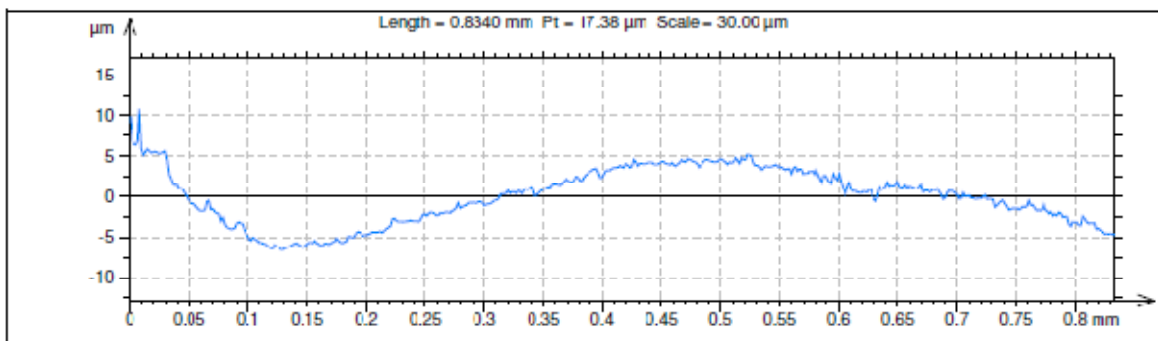
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.076	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.097	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	2.173	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	0.8041	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	2.234	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.2346	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.2979	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.1727		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	4.227		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



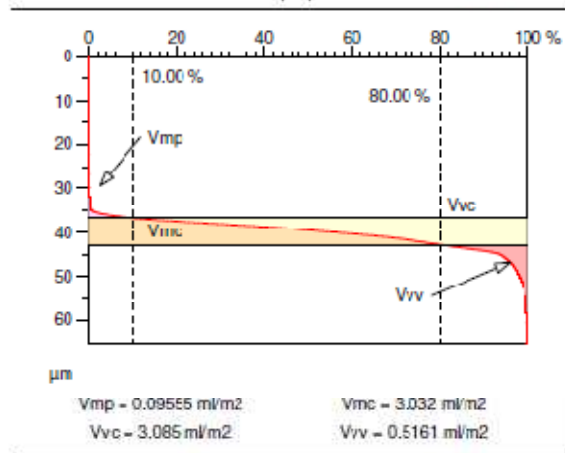
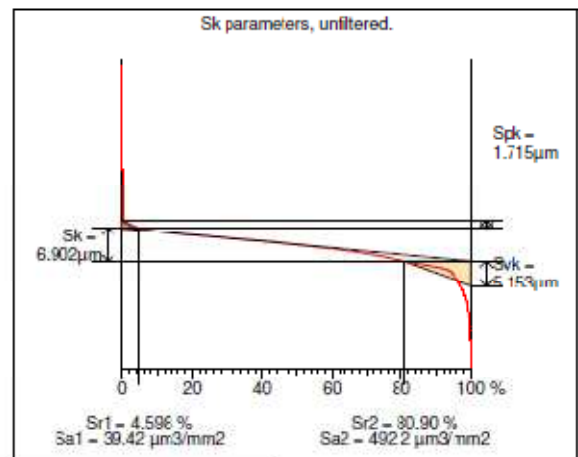
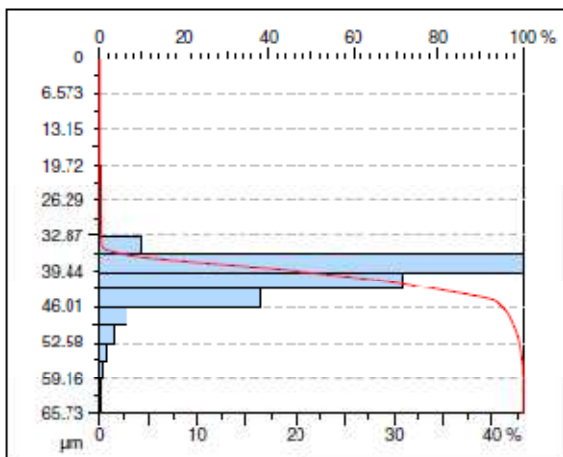
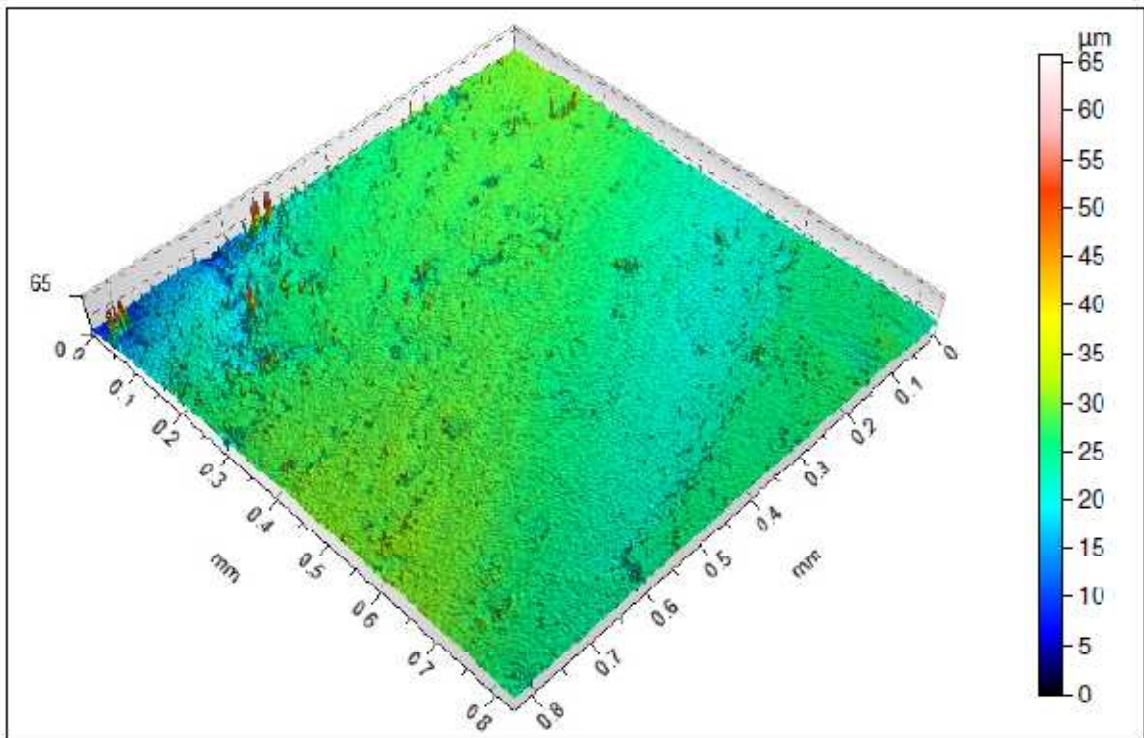
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca 5/16" 18 / classe G5 – Ponto 1 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	4.676	μm		Root mean square height
Ssk	-0.6171			Skewness
Sku	5.435			Kurtosis
Sp	13.83	μm		Maximum peak height
Sv	44.62	μm		Maximum pit height
Sz	58.45	μm		Maximum height
Sa	3.817	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	0.0002175	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.005100	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	0.0002175	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.001630	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core material volume
Vvc	0.004682	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 90\%$	Core void volume
Vvv	0.0005163	mm^3/mm^2	$p = 90\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.412	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	0.6097	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	1.812	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	8.213	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	85.31	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



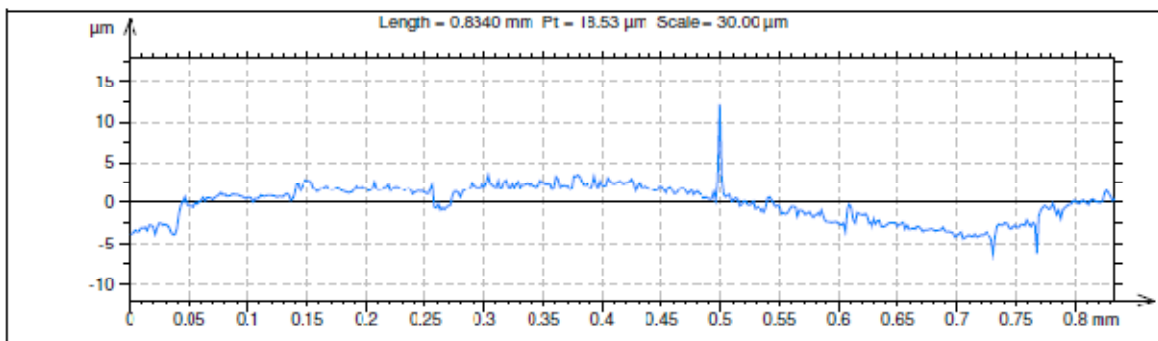
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	1.078	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	1.729	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	2.807	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	1.221	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	3.329	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.4581	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.5860	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.6726		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	3.449		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



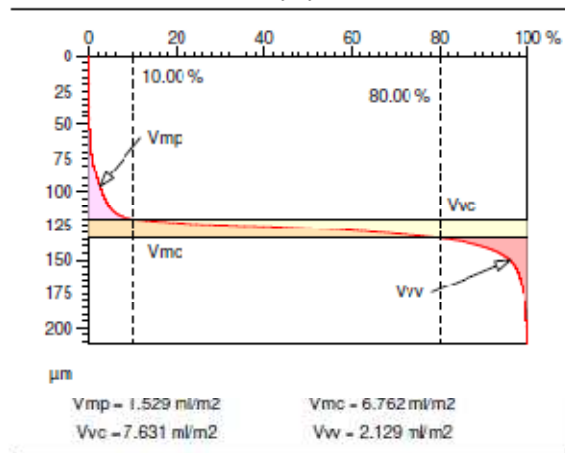
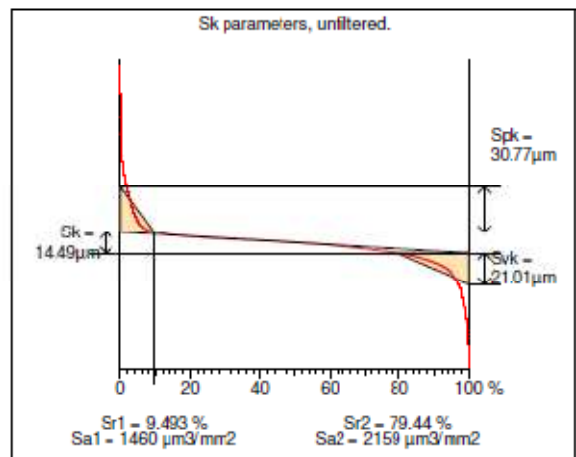
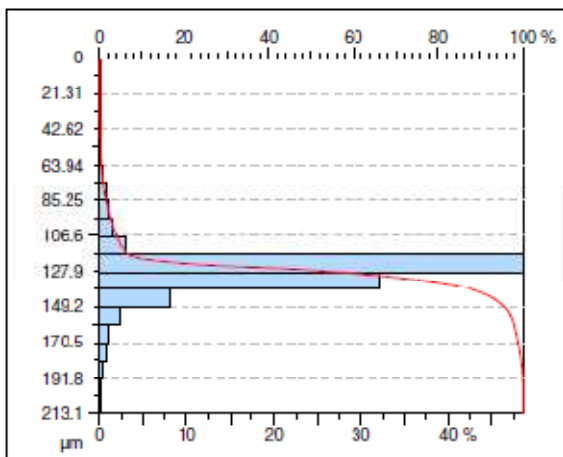
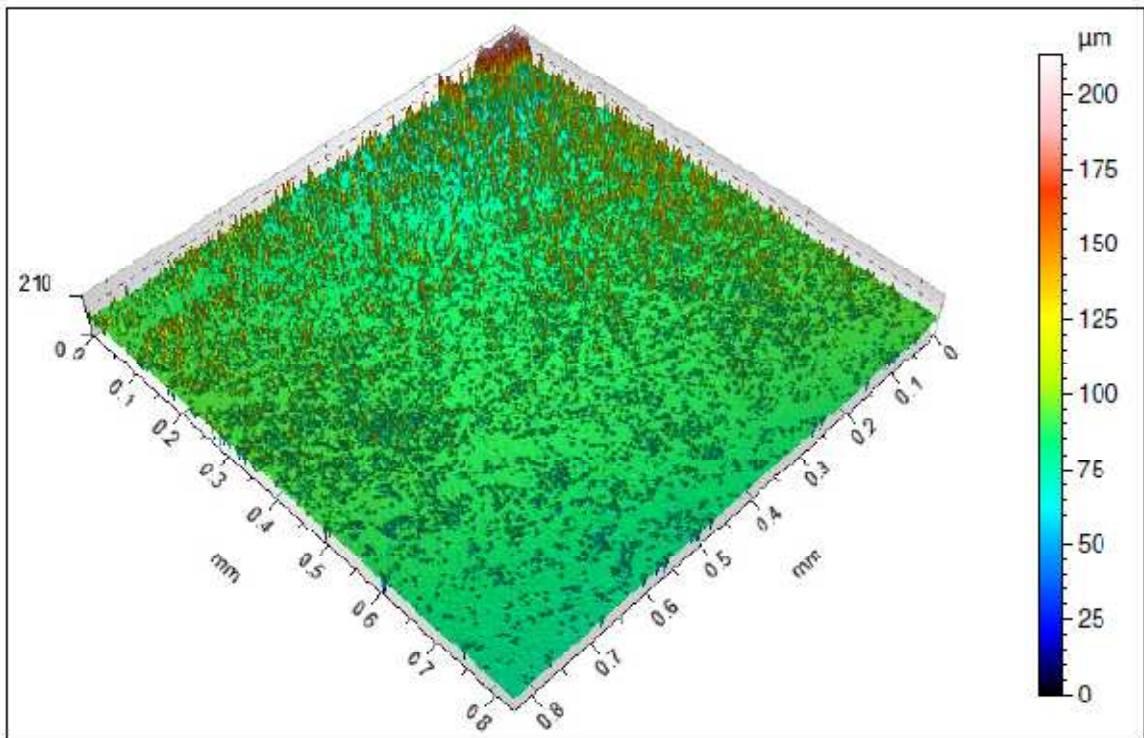
TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca 5/16" 18 / classe G5 – Ponto 2 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	3.490	μm		Root mean square height
Ssk	-0.9585			Skewness
Sku	10.35			Kurtosis
Sp	40.27	μm		Maximum peak height
Sv	25.46	μm		Maximum pit height
Sz	65.73	μm		Maximum height
Sa	2.592	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	9.555e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.003601	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	9.555e-005	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.003032	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.003085	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.0005161	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	1.368	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	1.262	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	1.749	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	11.07	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	84.07	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



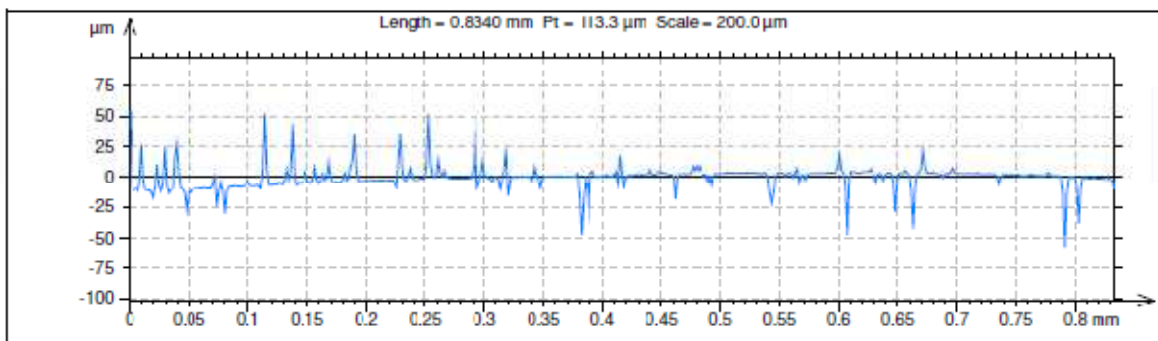
ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	6.543	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	2.053	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	8.601	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile
Rc	1.552	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	13.85	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	0.5092	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	0.9121	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	3.130		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	40.21		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.



TalyMap Platinum 6.1.0.6001

Porca 5/16" 18 / classe G5 – Ponto 3 lado de contato com arruela (relatório gráfico)

ISO 25178				
Height Parameters				
Sq	13.69	μm		Root mean square height
Ssk	0.7126			Skewness
Sku	14.63			Kurtosis
Sp	128.1	μm		Maximum peak height
Sv	85.00	μm		Maximum pit height
Sz	213.1	μm		Maximum height
Sa	8.017	μm		Arithmetic mean height
Functional Parameters (Volume)				
Vm	0.001529	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Material volume
Vv	0.000976	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Void volume
Vmp	0.001529	mm^3/mm^2	$p = 10\%$	Peak material volume
Vmc	0.006762	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core material volume
Vvc	0.007631	mm^3/mm^2	$p = 10\%, q = 80\%$	Core void volume
Vvv	0.002120	mm^3/mm^2	$p = 80\%$	Pit void volume
EUR 15178N				
Functional Parameters				
Sk	8.301	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Core roughness depth
Spk	20.92	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced summit height
Svk	20.33	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Reduced valley depth
Sr1	11.45	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Upper bearing area
Sr2	79.50	%	Gaussian filter, 0.25 mm	Lower bearing area



ISO 4287				
Amplitude parameters - Roughness profile				
Rp	33.50	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Peak Height of the roughness profile.
Rv	32.82	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Valley Depth of the roughness profile.
Rz	66.31	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Maximum Height of roughness profile.
Rc	27.36	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Mean height of the roughness profile elements.
Rt	98.41	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Total Height of roughness profile.
Ra	4.317	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.
Rq	8.535	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	Root-Mean-Square (RMS) Deviation of the roughness profile.
Rsk	-0.1579		Gaussian filter, 0.25 mm	Skewness of the roughness profile.
Rku	19.83		Gaussian filter, 0.25 mm	Kurtosis of the roughness profile.