



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO ENGENHARIA MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

CRYSANTO AUGUSTO GOMES DE DEUS FILHO

**PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE CILINDRO DE MOTORES DE
COMBUSTÃO INTERNA: UMA ANÁLISE DO ESCOAMENTO E
CIRCULARIDADE DOS CILINDROS**

FORTALEZA

2019

CRYSANTO AUGUSTO GOMES DE DEUS FILHO

PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE CILINDRO DE MOTORES DE
COMBUSTÃO INTERNA: UMA ANÁLISE DO ESCOAMENTO E CIRCULARIDADE
DOS CILINDROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D495p Deus Filho, Crysanto Augusto Gomes de.

Processo de brunimento em camisas de cilindro de motores de combustão interna : uma análise do escoamento e circularidade dos cilindros / Crysanto Augusto Gomes de Deus Filho. – 2019.
40 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima..

Coorientação: Prof. Dr. Roberto de Araújo Bezerra.

1. Brunimento. 2. Retífica de motor. 3. Escoamento. 4. Ângulo de cruzamento de ranhura. 5. Erro de circularidade. I. Título.

CDD 620.1

CRYSANTO AUGUSTO GOMES DE DEUS FILHO

PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE CILINDRO DE MOTORES DE
COMBUSTÃO INTERNA: UMA ANÁLISE DO ESCOAMENTO E CIRCULARIDADE
DOS CILINDROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Roberto de Araujo Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Santino Loruan Silvestre de Melo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Este trabalho finaliza uma etapa em minha vida para se iniciar outra e preciso agradecer a algumas pessoas que influenciaram direta e indiretamente para a conclusão deste.

Agradeço primeiramente a Deus, que sem Ele nada é possível, Ele que me deu forças para concluir esse trabalho e devemos sempre confiar Nele.

Agradeço à minha família e em especial aos meus pais Carmen Sílvia e Crisanto Augusto que sempre fizeram de tudo para me dar um ensino de qualidade e me apoiar sempre nos estudos.

À minha namorada Leilane Soares que está sempre ao meu lado e me deu forças e estímulos para concluir a faculdade.

Quero agradecer também aos meus amigos que me ajudaram nessa jornada de estudos na universidade. Em especial ao amigo Yves Soares que me ajudou a prosseguir na construção desse trabalho.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar”(ESOPO).

RESUMO

As popularmente conhecidas “retífica de motores”, que são empresas de serviço que fazem a remanufatura de motores, são de grande importância na cadeia automotiva. Nestas empresas são feitos processos de manutenção do motor para reparar danos causados pelo desgaste natural de sua utilização, prolongando sua vida útil. Dentre as partes importantes do motor de combustão interna, existem as camisas do cilindro, que juntamente com os pistões delimitam a câmara de combustão. Existe um processo dentro da retífica chamado de brunimento, que é um processo de usinagem, pelo qual é feito o uso para o reparo dessas camisas, deixando-as dentro das especificações que o motor necessita para o seu funcionamento. Este trabalho foi feito com o intuito, através de ângulos de ranhuras feitos pelo processo de brunimento em um motor de combustão interna, fazer análises nos cilindros com diferentes ranhuras desse motor para obtenção de melhor escoamento do óleo, juntamente com uma análise de circularidade nesses cilindros. Este motor possui quatro cilindros e cada cilindro passou pelo processo de brunimento com diferentes velocidades de avanço, posteriormente passando por um processo para análise do erro de circularidade na retífica de motores, por último fazendo uma análise de escoamento. Os resultados encontrados através da análise individual de cada cilindro mostraram valores de escoamento diferenciados que foram comparados com velocidade de avanço e ângulos de cruzamento de ranhura. Concluindo-se que o estudo de brunimento feito possui não conformidades, notando a necessidade de melhorias em determinados pontos para resultados mais satisfatórios. Podendo-se sugerir para trabalhos futuros alterações na máquina de brunimento, para uma de rotação variável, que faz com que esse processo fique com uma precisão maior.

Palavras-chave: Brunimento. Retífica de motor. Escoamento. Ângulo de cruzamento de ranhura. Erro de circularidade.

ABSTRACT

The service companies that specialize in engine overhauling are of great importance to the automotive industry. These companies perform maintenance on engines to repair regular, use-related damages, extending its service life. One of the most important parts of an internal combustion engine is the cylinder liners, which, along with the pistons, delimit the combustion chamber. One of the processes used in engine overhauling is burnishing, a machining process that is used to repair the cylinder liners so they retain the specifications required for the engine to function. This paper's goal is to analyze the angles of grooves left by the burnishing process on different cylinders of an internal combustion engine, as well as their circularity, to obtain optimal oil flow. This engine has four cylinders, and each cylinder was burnished in different progress speeds. They each went through a metrology process afterwards so circularity errors created during engine overhaul could be analyzed. A flow analysis was also performed. The results obtained through the individual analysis of each cylinder have provided different flow values that can be compared to the progress speed of each cylinder and the angles of the groove intersections made by the burnishing machine. It was concluded that the burnishing study performed presented irregularities, which call for improvements in order to obtain more satisfactory results. For future papers, it could be best to switch to a variable rotation burnishing machine instead, which would provide greater precision.

Keywords: Burnishing. Engine overhaul. Oil flow. Groove intersection angle. Circularity error.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Motor de combustão interna.....	16
Figura 2 – Velocidades de brunimento.....	22
Figura 3 – Brunidora vertical Chinelatto BH-200.....	24
Figura 4 – Bloco com camisas.....	25
Figura 5 – Máquina brunidora na camisa do cilindro.....	26
Figura 6 – Óleo e seringa utilizados no escoamento.....	28
Figura 7 – Cálculo do ângulo de cruzamento das ranhuras.....	29
Figura 8 – Cabeçote com centrador.....	30
Figura 9 – Relógio marcador da BCF-200.....	31
Figura 10 – Ângulo encontrado da superfície de 11 cursos por minuto.....	34
Figura 11 – Ângulo encontrado da superfície de 13,2 cursos por minuto.....	35
Figura 12 – Ângulo encontrado da superfície de 15,4 cursos por minuto.....	36
Figura 13 – Ângulo encontrado da superfície de 17,6 cursos por minuto.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidades de escoamento em cada cilindro.....	32
Tabela 2 – Valores de erros de circularidade em cada cilindro.....	33
Tabela 3 – Valores encontrados no experimento.....	39

LISTA DE ABREVIACÕES

UFC	Universidade Federal do Ceará
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAREM	Conselho Nacional de Retificas de Motores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	14
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Motores de combustão interna.....	16
2.2	Componentes do motor	17
2.3	Órgãos fixos.....	17
2.4	Órgãos móveis	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Bloco de motor de combustão interna.....	24
3.2	Máquina de brunimento.....	24
3.3	Camisas dos cilindros do bloco	25
3.4	Fluido de brunimento	25
3.5	Procedimento de brunimento	26
3.6	Análise de escoamento	27
3.6.1	<i>Seringa de 6 ml</i>	27
3.6.2	<i>Fluido utilizado</i>	27
3.6.3	<i>Cronômetro</i>	27
3.6.4	<i>Procedimento para obtenção do escoamento</i>	27
3.7	Procedimento para obtenção do ângulo de cruzamento	28
3.8	Análise da circularidade	29
3.8.1	<i>Medição da circularidade</i>	29
3.8.2	<i>Procedimento para obtenção da circularidade</i>	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	Escoamentos nos cilindros.....	32
4.2	Erro de circularidade	32
4.3	Ângulos de ranhura e velocidade de avanço	33
4.4	Relações entre os resultados encontrados de escoamento e velocidade de avanço.....	38
5	CONCLUSÕES.....	40
6	BIBLIOGRAFIA.....	41

1 INTRODUÇÃO

O motor de combustão interna é um conjunto de peças mecânicas e elétricas, cuja finalidade é produzir trabalho pela força de expansão resultante da queima da mistura de ar com combustível, no interior de cilindros fechados. Para atender as mais variadas necessidades do atual estado de desenvolvimento tecnológico, os fabricantes constroem motores de todos os tipos. Assim, encontram-se motores a gás, gasolina, óleo diesel, querosene, álcool e movidos com outras misturas dos vários combustíveis existentes. Normalmente, os motores podem ser construídos com um ou mais cilindros, sendo os motores monocilíndricos mais empregados em implementos agrícolas, motonetas e pequenas lanchas. Os policilíndricos, com 4, 6, 8, 10, 12 ou até mais cilindros, destinam-se a automóveis, locomotivas, navios e aviões (OLIVEIRA e ROSA 2003).

Motores de combustão interna são máquinas intensamente usadas no mundo. Simultaneamente, uma fonte de satisfação, mas também de problemas, entre eles os ambientais (Martins 2006). Uma das formas de se amenizar esses impactos ambientais causados por estes motores é a remanufatura, mais comumente chamado de retífica de motores, que restauram e prolongam a vida dessas máquinas.

Atualmente, as usinagens de peças possuem alta tecnologia para produção de componentes mecânicos, visto que, a maioria do que é fabricado requer processos de retirada do material excedente, ou seja, cavaco para a criação da peça desejada. Sendo assim, existe uma busca constante por produtividade sem desperdício de material usinado e da qualidade dos produtos, no que tange ao seu acabamento superficial (ALMEIDA 2017).

Por isso, nos últimos anos tem-se buscado avanços ainda maiores nos processos de usinagem. Tais avanços ocorrem tanto nas operações convencionais ou de remanufatura, processo industrial que consiste nas etapas de desmontagem do produto usado, na limpeza de suas peças, reparação ou substituição de peças danificadas e remontagem do produto que deverá apresentar perfeitas condições de funcionamento, iguais a de um produto novo.

Segundo Sherwood&Shu (2000), o principal objetivo da remanufatura é a reutilização de peças para diminuir a quantidade de recursos naturais que devem ser extraídos e retrabalhados para a utilização, gerando menores quantidades de lixo industrial.

Um bloco de um motor de combustão interna foi o objeto de estudo deste trabalho, e nesses blocos a retificação é o processo de maior remoção de material, em que pode ser assemelhado ao processo de usinagem por torneamento, mas sendo ela ocasionada por uma retificadora. Esse procedimento é responsável pela usinagem interna da camisa do

motor, sendo retirado o máximo de defeitos possíveis. Após esse processo tem o brunimento, que é um processo de usinagem que corrige erros de forma em uma superfície e produz ranhuras nas paredes do cilindro. Esse tipo de textura é importante para reter fluidos que mantêm a lubrificação e refrigeração do sistema, além de diminuir o atrito entre dois objetos. Essa característica faz o processo de brunimento ser largamente utilizado no acabamento de mancais, camisas de compressores e de cilindros de motores de combustão. Especificamente no caso dos motores, a qualidade do brunimento impacta diretamente no rendimento, vida útil, consumo, nível de emissão de poluentes e outros parâmetros de desempenho (Sousa 2005).

Levando em consideração a importância da remanufatura de motores e do processo de brunimento, este estudo foi realizado em parceria com uma retífica afiliada ao CONAREM (Conselho Nacional de Retíficas de Motores), chamado Retífica Central, localizada na cidade de Fortaleza, estado do Ceará. Por meio, principalmente, da análise do escoamento, circularidade e ângulo de cruzamento de ranhuras das camisas.

Este trabalho foi organizado com Introdução que inicialmente contextualiza o tema abordado e justifica a importância da pesquisa, juntamente com seus objetivos. Em segundo está descrita a Revisão Bibliográfica, que apresenta conceitos com fundamentação teórica para o entendimento do trabalho. Em terceiro é apresentado Materiais e Métodos, que apresentam os procedimentos utilizados na pesquisa e os materiais. Em quarto é mostrado os Resultados e Discussões, que expõem os resultados obtidos com comentários analíticos. E, por fim, é apresentada a Conclusão do trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar a influência da velocidade de avanço na qualidade superficial de camisas de cilindro usinadas pelo processo de brunimento.

1.1.2 Objetivos específicos

- Compreender a relação das diferentes velocidades de avanço no ângulo de cruzamento de ranhura nas camisas de cilindro.

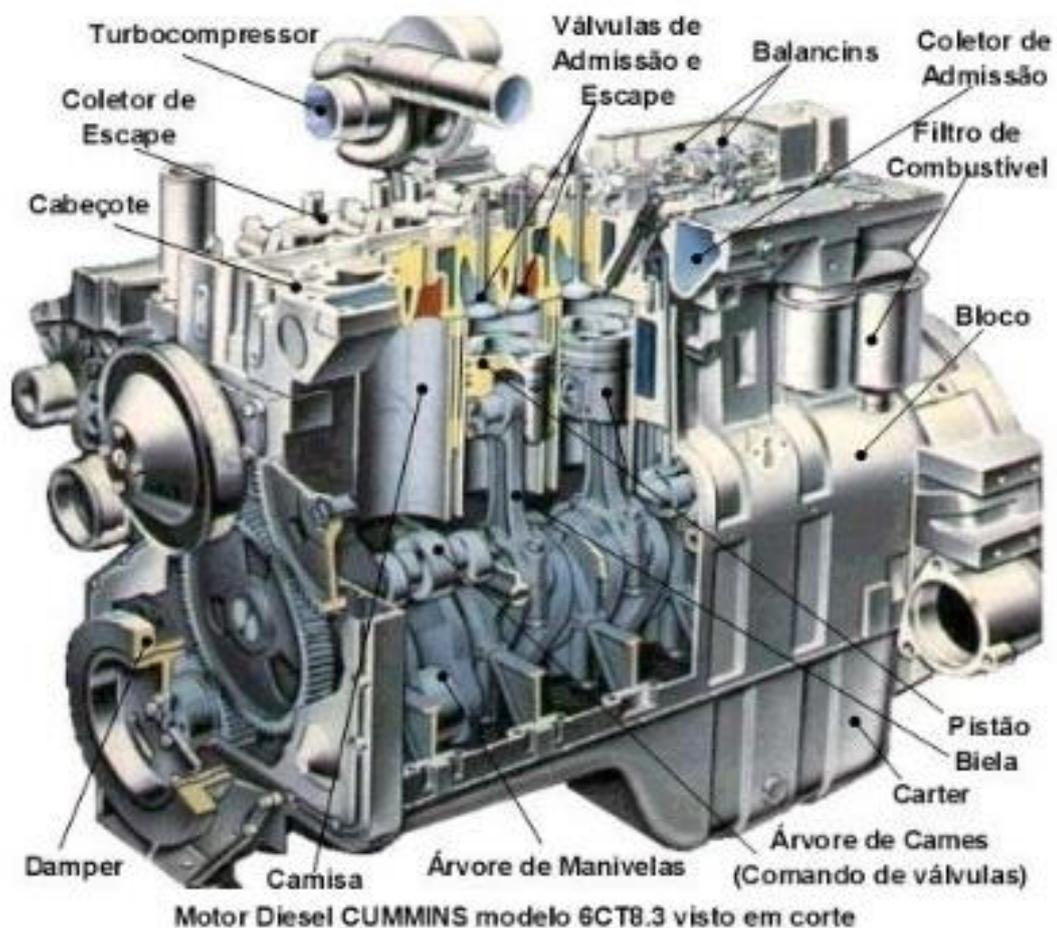
- Analisar o tempo de escoamento de um fluido nos ângulos de cruzamento de ranhura nas camisas de cilindro.
- Verificar os erros de circularidade nas camisas de cilindro.
- Comparar valores encontrados na pesquisa para averiguar qual tem maior influência no escoamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Motores de combustão interna

Os motores térmicos são máquinas cuja finalidade é transformar a energia térmica em energia mecânica diretamente utilizável. A energia térmica pode ser proveniente de diversas fontes, tais como a energia química, energia elétrica, energia atômica, etc. No caso de motores de combustão interna ou endotérmicos a energia pode ser proveniente de combustíveis líquidos, gasosos ou sólidos. O experimento abordado nesse trabalho foi realizado em um motor endotérmico, que utiliza combustível líquido, tendo em vista que os demais combustíveis são raramente empregados (FILHO 1983).

Figura 1- Motor de combustão interna



Fonte: Meirelles (2007).

2.2 Componentes do motor

São denominados componentes as partes auxiliares que trabalham em conjunto para o funcionamento do motor. Os órgãos dos motores alternativos, quanto a sua característica de funcionamento se dividem em três partes que são os órgãos fixos, órgãos móveis e órgãos auxiliares. Nos principais órgãos fixos se encontram o cilindro, bloco, cárter, cabeçote, câmara de combustão, sede de válvula e guia de válvula. Nos órgãos móveis se encontram o pistão, pino munhão, anéis de segmento, biela, árvore de manivela, volante, casquilho, válvula, mola de válvula e eixo comando de válvula. Os órgãos auxiliares são de menor importância que contribuem para o bom funcionamento do motor, os principais são: carburador, velas, coletores de aspiração e de descarga, motor de arranque, alternador, filtro de ar, de óleo e de combustível, bomba d'água e de combustível, distribuidor, etc (FILHO 1983).

2.3 Órgãos fixos

Bloco

O bloco é geralmente uma peça de ferro ou alumínio ou os mais modernos sendo feitos de alumínio e ligas que tem resultados melhores na dissipação do calor e redução de peso. O bloco é considerado a principal estrutura ou o corpo do motor e nele contém os cilindros. Na sua parte de baixo ficam acoplados os mancais centrais onde se apoiam o eixo motor, e na parte de cima fica acoplado o cabeçote. O bloco tem a serventia também de suporte para bomba de água, alternador, bomba de gasolina, distribuidor, etc. (Tillmann 2013)

Ele é usinado para permitir a passagem do óleo e da água que fazem parte dos sistemas de lubrificação e de arrefecimento respectivamente. Alguns blocos possuem cilindros removíveis em formato de tubos, os quais formam as paredes do cilindro no bloco propriamente dito, denominados camisas. As camisas podem ser úmidas ou secas. As úmidas são quando o líquido de arrefecimento está em contato direto com a camisa e entre si trocam calor. As secas quando o líquido de arrefecimento não está em contato direto com a camisa.

Cabeçote

É a cabeça do motor, a parte que tampa e cobre a parte superior do bloco, com o qual também tem a função de tampar os cilindros, formando a câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. Antigamente os cabeçotes eram construídos junto com os cilindros, mas hoje, devido à forma variada da câmara de combustão, que torna difícil a sua usinagem, os cabeçotes são construídos separados do bloco. Tendo as vantagens de maior facilidade de limpeza da câmara de combustão, maior facilidade de usinagem tanto da câmara quanto do cilindro e possibilidade de variar a taxa de compressão (Tillmann 2013).

No cabeçote ocorrem altas pressões por conta da compressão da mistura pelo pistão, isto no ciclo Otto, ou o ar, no caso de motores de ciclo Diesel. Nele geralmente existem orifícios com roscas onde são colocadas velas de ignição ou bicos injetores e alojadas as válvulas de admissão e escape (Tillmann 2013). Para que tenha uma total vedação, a união do bloco com o cabeçote requer uma junta de amianto revestida de metal. Geralmente o material empregado nos cabeçotes é de ligas de alumínio, enfatizando os motores refrigerados a água usam também cabeçotes de ferro fundido, quando se tem a necessidade de redução de peso ou para melhorar a condução de calor, tendo em vista que impedem a formação de pontos quentes nas paredes internas do cabeçote.

Cárter

O cárter do óleo é a tampa inferior do motor, ele é um recipiente que protege e assegura a lubrificação de determinados mecanismos do motor e tem a função de armazenar o óleo de lubrificação. Geralmente é uma peça de aço estampado, com o qual apresenta uma boa resistência ao choque, sendo também vista fundida em alumínio. Ele forma a parte principal do bloco do motor que contém o virabrequim e a bomba de óleo (MARTINS 2006).

Cilindro

O cilindro que foi o objeto de estudo desse trabalho, é uma peça de formato cilíndrico, na qual o pistão se desloca, descrevendo um movimento retilíneo alternado. Em sua fabricação geralmente é utilizado ferro fundido à base de fósforo-manganês, ao níquel (FILHO 1983).

Os cilindros podem ser fixos, quando são fundidos junto ao bloco ou substituíveis, quando não fazem parte do bloco e podem assim serem trocados. Esses cilindros substituíveis recebem o nome de camisas. Eles também podem ser secos, quando estão em contato direto com as paredes do bloco, ou úmidos, quando estão em contato direto com a água de refrigeração.

As camisas de cilindros em questão de reparo são muito importantes, pois quando se pode remover um cilindro, além desse cilindro poder ser fabricado de um material diferente do que o bloco é fabricado, ele também pode ser facilmente substituído ou reparado em caso de danos a ele.

2.4 Órgãos móveis

Pistão

O pistão tem sua responsabilidade em transmitir e ampliar a energia resultante da expansão dos gases após a combustão. No pistão está apresentado a parte móvel da câmara de combustão, recebendo ele a força de expansão dos gases queimados, transmitindo-a a biela, por intermédio de um pino de aço (pino do pistão). Os pistões são de fundição maleável, de liga de alumínio ou de aço, o que lhes dá mais leveza. Eles apresentam três espaços para alojamento dos anéis de segmento (Tillmann 2013).

Anéis de segmento

Os anéis de segmento são peças montadas nos pistões que trabalham em contato com a camisa. Apresentam três funções básicas, elas sendo, vedação da compressão e combustão, controle do óleo lubrificante e a transferência de calor para o sistema de arrefecimento. Os anéis de segmento evitam ainda o vazamento dos gases e mantêm o fluxo de óleo na câmara de combustão com vazão mínima necessária para a adequada lubrificação dos anéis do pistão.

Bielas

As bielas são como braços de ligação entre os pistões e o eixo de manivelas. Eles recebem impulsos dos pistões, transmitindo-os ao eixo de manivelas ou virabrequim. O

conjunto biela- virabrequim transforma o movimento retilíneo dos pistões em movimento rotativo do virabrequim.

Virabrequim

O virabrequim é um elemento de força do motor, considerado o eixo motor propriamente dito, o qual, na maioria das vezes, é instalado na parte inferior do bloco, sendo acopladas nele as manivelas que lhe imprimem movimento.

Válvulas

As válvulas são dispositivos mecânicos feitos para misturar ou regular o escoamento, pressão ou temperatura de um determinado fluido. São elementos metálicos responsáveis pela vedação da abertura de admissão do ar e pela vedação dos orifícios de saída dos gases de combustão. Existem as válvulas de admissão e as válvulas de escape. A primeira abre-se para a entrada da mistura de combustível/ar (ou ar puro) no interior dos cilindros e a de escape abre para a saída de gases queimados na combustão.

Eixo comando de válvulas

O eixo comando de válvulas tem como função abrir corretamente as válvulas de admissão e escape por meio do seu acionamento realizado pelo eixo de manivelas através de engrenagens, de corrente ou correia dentada.

Circularidade

A circularidade é uma propriedade do círculo, caracterizando uma linha circular, mas não é suficiente para definir, em seu conjunto, uma superfície de revolução. Tendo em vista isso, o desvio de circularidade é a distância radial mínima entre duas circunferências concêntricas e coplanares que contêm o conjunto dos pontos do perfil analisado (Morais 2006).

Desvio de circularidade é, portanto, um fator muito importante a ser considerado na manufatura de peças de precisão. Quando a peça é usinada por um processo qualquer,

ocorrem vibrações de múltiplas origens. Nem a peça nem a máquina são totalmente rígidas (Barczak 1996).

Existem vários modos de se obter estes desvios. Podendo-se medir com blocos V ou fazer inspeções entre centros, sendo que os erros de medições desses processos são muito influenciados pelos operadores e não conseguem obter desvios segundo a norma (WHITEHOUSE 1994).

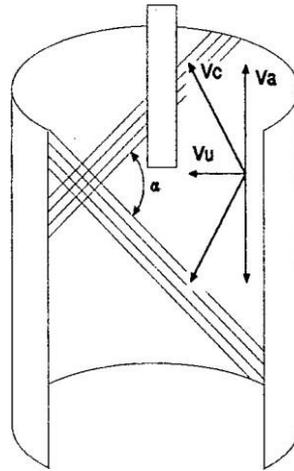
Brunimento

O brunimento é uma execução de usinagem em que a ação de avanço é feita simultaneamente ao movimento de corte, trazendo um resultado na peça de superfície cruzada. Esse processo de brunimento possui baixas pressões e velocidades de corte, tendo isso bons resultados para a peça usinada, pois é menos agressivo à superfície da peça, permitindo também boa exatidão dimensional, boa exatidão geométrica e boa qualidade superficial (BYRNES 1992).

O tipo de brunimento abordado será o de curso longo, sendo esse processo mais utilizado para brunimento em camisas de cilindro, que é o objeto de estudo desta pesquisa. Dois movimentos são fundamentais nesse tipo de usinagem, que é o movimento de avanço e o de rotação, ambos executados pela ferramenta.

A velocidade de corte (V_c), nesse caso, é uma resultante entre uma componente tangencial (V_u) proveniente do movimento de rotação e uma de avanço (V_a) proveniente do movimento de avanço. A combinação desses movimentos possibilita a formação de uma superfície cruzada característica do processo de brunimento, formada por traços que possuem entre si um ângulo α , que dar-se o nome de ângulo de cruzamento.

Figura 2 – Velocidades de brunimento



Fonte: König, 1989.

Como resultante vetorial, a velocidade de corte V_c pode ser calculada por meio da equação a seguir:

$$V_c = \sqrt{V_u^2 + V_a^2} \quad (1)$$

Conforme sabe-se da Dinâmica, a velocidade tangencial de corpo rígido pode ser expressa segundo a equação abaixo:

$$V_u = \frac{\pi d_c n}{1000} \quad (2)$$

Onde:

V_u : velocidade tangencial (m/min)
 d_c : diâmetro interno do cilindro (mm)
 n : rotação (rpm).

Segundo DINIZ (2013), enquanto a velocidade de avanço (V_a) pode ser expressa como:

$$V_a = \frac{nf}{1000} \quad (3)$$

Onde:

Va : velocidade de avanço (m/min)

f : avanço (mm)

n : rotação (rpm).

Enquanto a velocidade de avanço (Va) depende dos comprimentos da pedra, da peça e da capacidade do mecanismo utilizado para acionar o cabeçote. É mais frequentemente expressa em cursos por minuto, embora a unidade padrão seja m/min (FERREIRA e MAGALHÃES 2009).

Conforme exposto anteriormente, o ângulo de cruzamento ou de brunimento é obtido de acordo com a manipulação da rotação e do avanço do cabeçote brunidor. Quando as velocidades de avanço e rotação são iguais, o ângulo de brunimento é 90° . Nos casos em que a rotação excede a velocidade de translação, o ângulo é menor que 90° . Como é possível de se analisar por meio de um estudo trigonométrico simples do movimento, o ângulo de cruzamento, simbolizado como α na Figura 29 pode ser encontrado em graus pela relação mostrada na equação abaixo (FERREIRA e MAGALHÃES 2009).

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{Va}{Vu} \quad (4)$$

Substituindo Va e Vu pelas equações 3 e 2, respectivamente, encontra-se que o ângulo de cruzamento também pode ser escrito como:

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \frac{f}{\pi d_c} \quad (5)$$

O ângulo de cruzamento é de extrema importância no caso de camisas de cilindro de motores, pois afeta diretamente o desempenho dos mesmos. Este possibilita a retenção de óleo na parede do cilindro, logo é especificado a fim de garantir a correta lubrificação do sistema pistão-anéis-cilindro.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Bloco de motor de combustão interna

O motor utilizado nesse experimento foi um motor de combustão interna, composto por quatro cilindros em linha com bloco feito com ferro fundido, cabeçote de alumínio e comando de válvulas no cabeçote. Com cilindrada 1600 cm³, combustível à gasolina fabricado pela KIA MOTORS.

3.2 Máquina de brunimento

A máquina de brunimento que foi utilizada neste processo de brunimento é a máquina hidráulica vertical da marca CHINELATTO e modelo BH-200, utilizada para brunimento de cilindros de motores.

Figura 3 – Brunidora vertical Chinelatto BH-200



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Camisas dos cilindros do bloco

As camisas analisadas neste experimento são integradas e refrigeradas a água e possuem altura de 132,6 mm e diâmetro interno de 78 mm.

Figura 4 – Bloco com camisas



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Fluido de brunimento

O óleo diesel foi o fluido utilizado no brunimento das camisas e ele é comumente usado para esse tipo de usinagem (AAROM 1995). No processo analisado que está sendo feito pela retifica, o fluido de brunimento não tem controle de vazão e pressão, sendo ele, manipulado pelo operador ao longo de todo o processo.

3.5 Procedimento de brunimento

Figura 5 – Máquina brunidora na camisa do cilindro



Fonte: Elaborado pelo autor.

O bloco de motor utilizado foi de doação da empresa Retífica Central. Local este, onde foram realizados também todos os processos no mesmo. O bloco doado foi da KIA MOTORS.

O bloco primeiro passou pela máquina BCF-200 da marca FAMOP, que usinou e broqueou os cilindros, para que tivesse uma limpeza e aderência superficial. Esta máquina também é utilizada para colocar os cilindros nos padrões CAMIS necessária para o recebimento das camisas nesses motores automotivos. Em seguida, o bloco foi levado para a máquina brunidora BH-200. Os cilindros foram brunidos com diferentes velocidades de avanço e com mesma velocidade de rotação do eixo brunidor, sendo a velocidade de rotação de 95rpm.

Os cilindros foram numerados do 1 ao 4, sendo cada um deles brunido em diferentes passos da máquina. Sendo o cilindro 1 na escala de 3, o 2 na escala de 3,5, o 3 na escala de 2,5 e o 4 na escala de 4. As velocidades de avanço de cada passo foram: para a escala de 3 foi de 13,2 cursos por minuto; para a escala de 3,5 foi de 15,4 cursos por minuto; para a escala de 2,5 foi de 11 cursos por minuto; e para a escala de 4 foi de 17,6 cursos por minuto.

3.6 Análise de escoamento

3.6.1 Seringa de 6 ml

O medidor escolhido que foi utilizado para injetar o líquido nos cilindros para a análise do escoamento foi a seringa. Este se trata de um dispositivo que pode ser feito em vidro, metal ou plástico. Sendo este último o utilizado, por ser mais fácil encontrado.

3.6.2 Fluido utilizado

O fluido escolhido para análise do escoamento foi o óleo para motor da marca MOBIL SUPER com especificação 20W50, este óleo é produzido com óleos básicos minerais e possui aditivos detergentes dispersantes. Ele possui boa proteção antidesgaste, alto índice de viscosidade e proteção antiferrugem.

3.6.3 Cronômetro

Foi cronometrado o tempo de escoamento do óleo no cilindro do bloco do motor.

3.6.4 Procedimento para obtenção do escoamento

O procedimento para obtenção do escoamento utilizado foi o de menor custo possível.

Primeiramente foi pego a seringa de 6 ml, preenchendo-a até a marca de 0,2 ml com o fluido óleo MOBIL SUPER 20W50. Em seguida foi pego o cronômetro e posicionado em uma mão, para quando o fluido fosse despejado com a outra mão, começasse a marcar seu tempo de escoamento. O fluido foi despejado na parede do bordo superior dos cilindros e medido o tempo até sua chegada no bordo inferior do cilindro. Tendo esse processo se repetido três vezes para cada cilindro.

Figura 6 – Óleo e seringa utilizados no escoamento

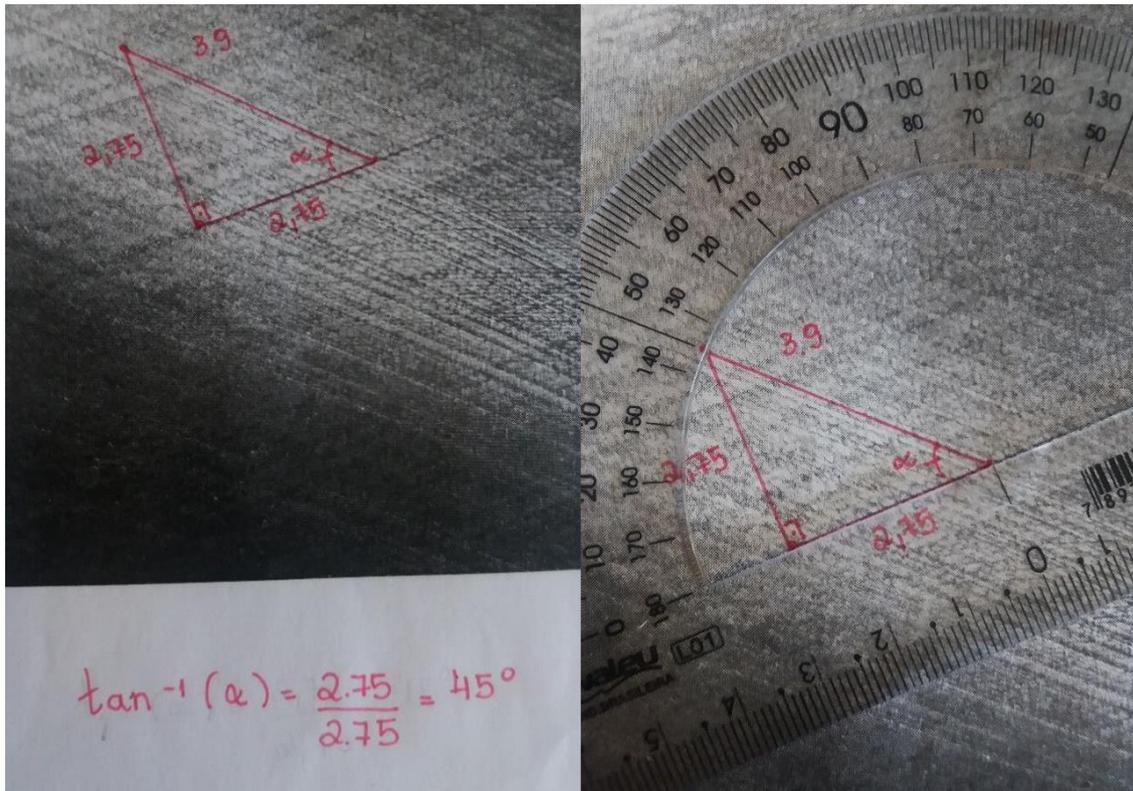


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.7 Procedimento para obtenção do ângulo de cruzamento

Os ângulos de cruzamento feitos pela máquina brunidora foram obtidos através da análise de fotos das superfícies brunidas, que foram feitas pelo posicionamento de uma câmera perpendicular ao plano médio em todas as camisas. Através dessas imagens das ranhuras foram feitos, por meio de uma análise trigonométrica, utilizando um transferidor, o ângulo para cada passo da máquina brunidora foi medido.

Figura 7 – Cálculo do ângulo de cruzamento das ranhuras



Fonte: (M. L. Silva 2017).

3.8 Análise da circularidade

3.8.1 Medição da circularidade

A circularidade foi medida na máquina BCF-200 da marca FAMOP que estava disponível na empresa Retífica Central. Esta máquina é uma broqueadora de cilindros construída em ferro fundido, que possui um alto grau de estabilidade e proporciona um excelente desempenho de usinagem. São máquinas de simples operação que proporcionam precisão e rapidez nos serviços executados. Esta máquina é equipada com sistema elétrico de variação de velocidade de corte e avanço simultâneo. Retorno automático com régua reguladora de curso.

3.8.2 Procedimento para obtenção da circularidade

A máquina BCF-200 foi utilizada para usinar e broquear os cilindros antes de ir para a máquina de brunimento, como já mencionado. Ela não tem registros de medição de

circularidade, mas pode-se medi-la, pois os cilindros precisam de exatidão geométrica para se ter um bom funcionamento do motor.

Primeiramente, para se obter o erro de circularidade, é realizado o procedimento de inserção da peça que se chama centrador na máquina, posteriormente o cabeçote da BCF-200 é baixado manualmente e centralizado em um dos cilindros. Com o centralizador inserido no cilindro, é acionado pelo operador o modo de rotação de centragem da máquina. Tendo isso feito, a variação de circularidade é vista pelo relógio marcador da máquina que é acionado pelo centrador.

Figura 8 – Cabeçote com centrador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse procedimento de circularidade foi realizado nos quatro cilindros analisados neste experimento, com o qual, foi feito três pontos de análise em cada um deles: no bordo superior, no centro e no bordo inferior. A oscilação vista no relógio marcador da máquina foi o erro de circularidade encontrado neste experimento.

Figura 9 – Relógio marcador da BCF-200



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Escoamentos nos cilindros

Com o preenchimento de 0,2 ml da seringa com o fluido 20W50, foram feitas 3 medições de tempo para cada cilindro. Os tempos obtidos foram dos despejos do líquido no ponto inicial no bordo superior até seu final no bordo inferior de cada cilindro, tendo os seguintes resultados na tabela 1:

Tabela 1 – Velocidades de escoamento em cada cilindro

Cilindro	Tempo 1 (s)	Tempo 2 (s)	Tempo 3 (s)	Média
1	3,9	2,6	3,3	3,27
2	3,8	4,6	2,1	3,5
3	4,5	4,5	4,6	4,55
4	5	4,5	3	4,17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode ser notado que nos cilindros 1 e 2 foram visto menores médias de tempo de escoamento, sendo eles, seguindo a numeração, o de escala 3 com velocidade de avanço 13,2 cursos por minuto e o de escala 3,5 com velocidade de avanço 15,4 cursos por minuto.

4.2 Erro de circularidade

O erro de circularidade foi feito através da análise nos três pontos dos cilindros (bordo superior, meio e bordo inferior), feitos pela máquina BCF-200, tendo obtido os resultados que constam na tabela 2:

Tabela 2 – Valores de erros de circularidade em cada cilindro

Cilindro	Superior (mm)	Meio (mm)	Inferior (mm)
1	0,03	0,04	0,08
2	0,01	0,05	0,09
3	0,01	0,01	0,04
4	0,03	0,02	0,04

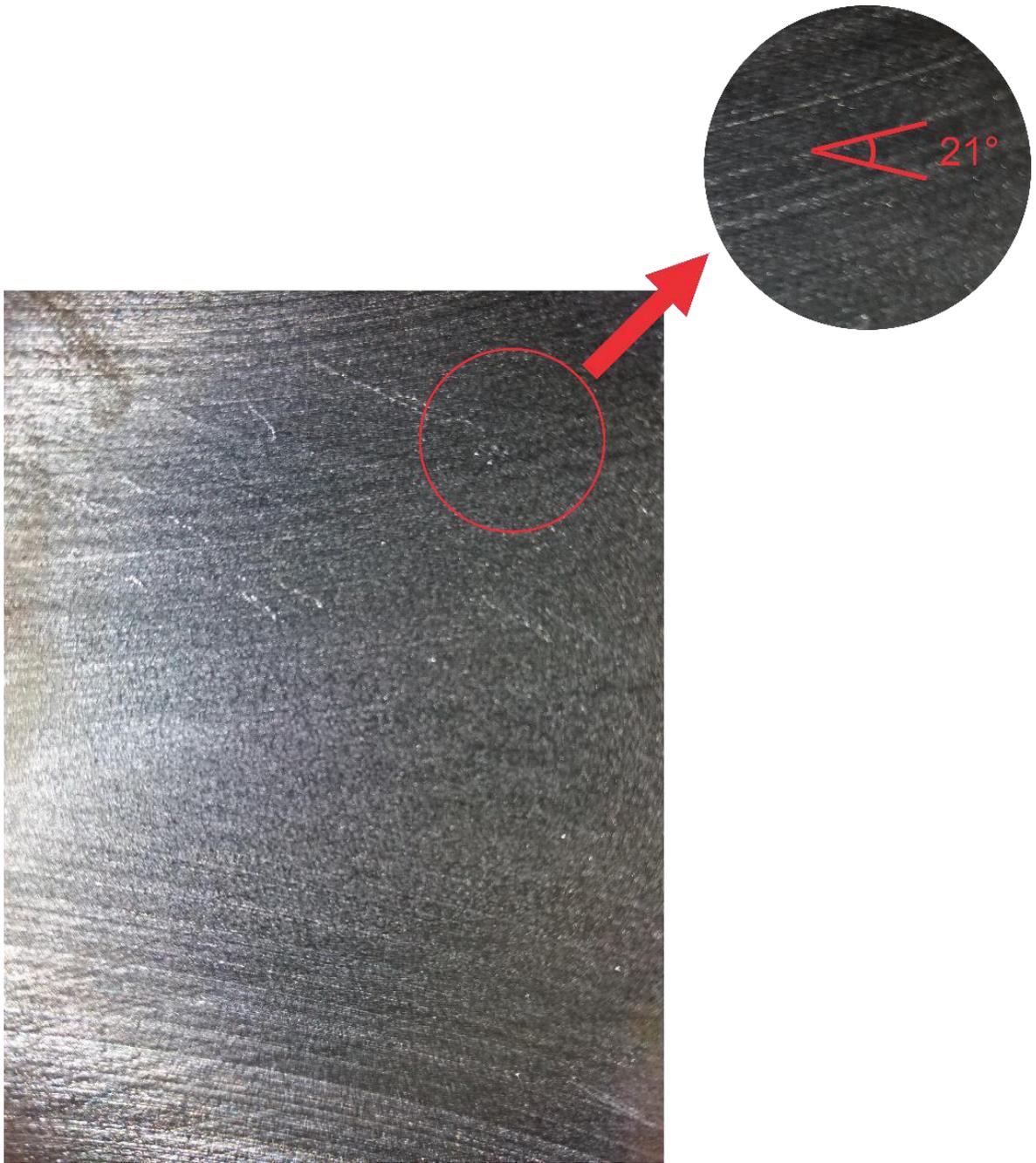
Fonte: Elaborado pelo autor.

Através desses dados, dá para se verificar que os que têm maior deformação e diferença nos pontos medidos, são os cilindros 1 e 2. E todos mostraram um erro de circularidade maior no ponto inferior.

4.3 Ângulos de ranhura e velocidade de avanço

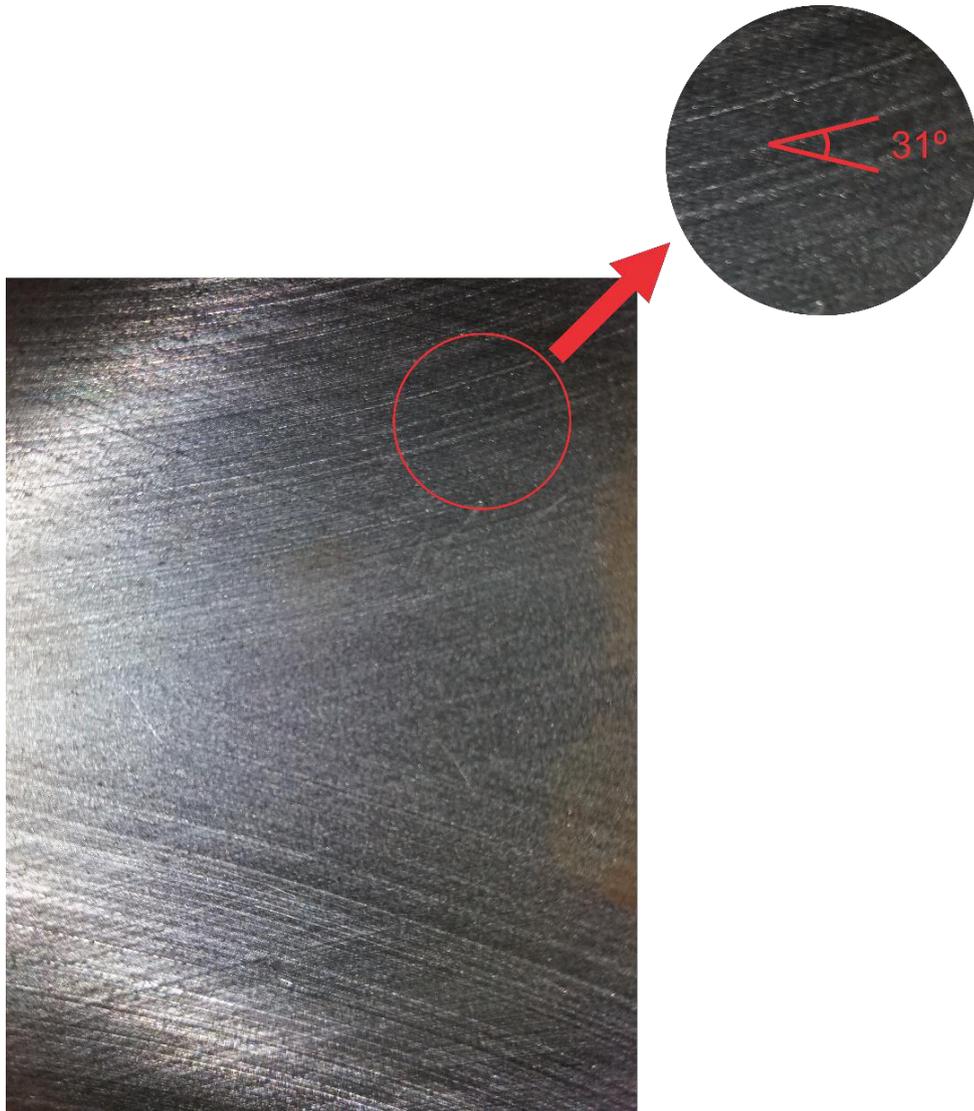
Os ângulos de ranhura das superfícies brunidas foram analisados através de fotos tiradas das superfícies, com elas foram demarcadas as angulações e calculadas.

Figura 10 – Ângulo encontrado da superfície de 11 cursos por minuto



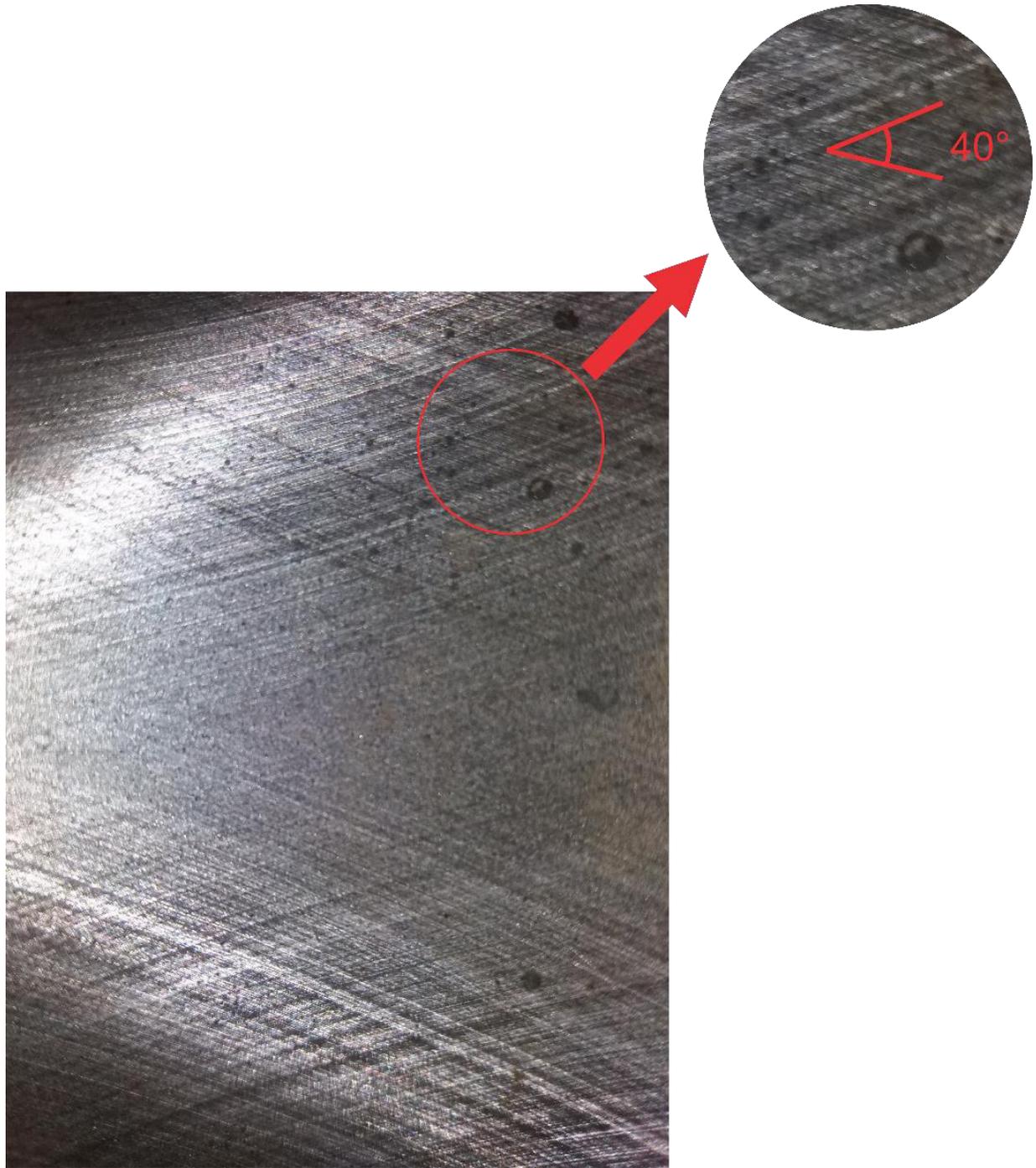
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11– Ângulo encontrado da superfície de 13,2 cursos por minuto



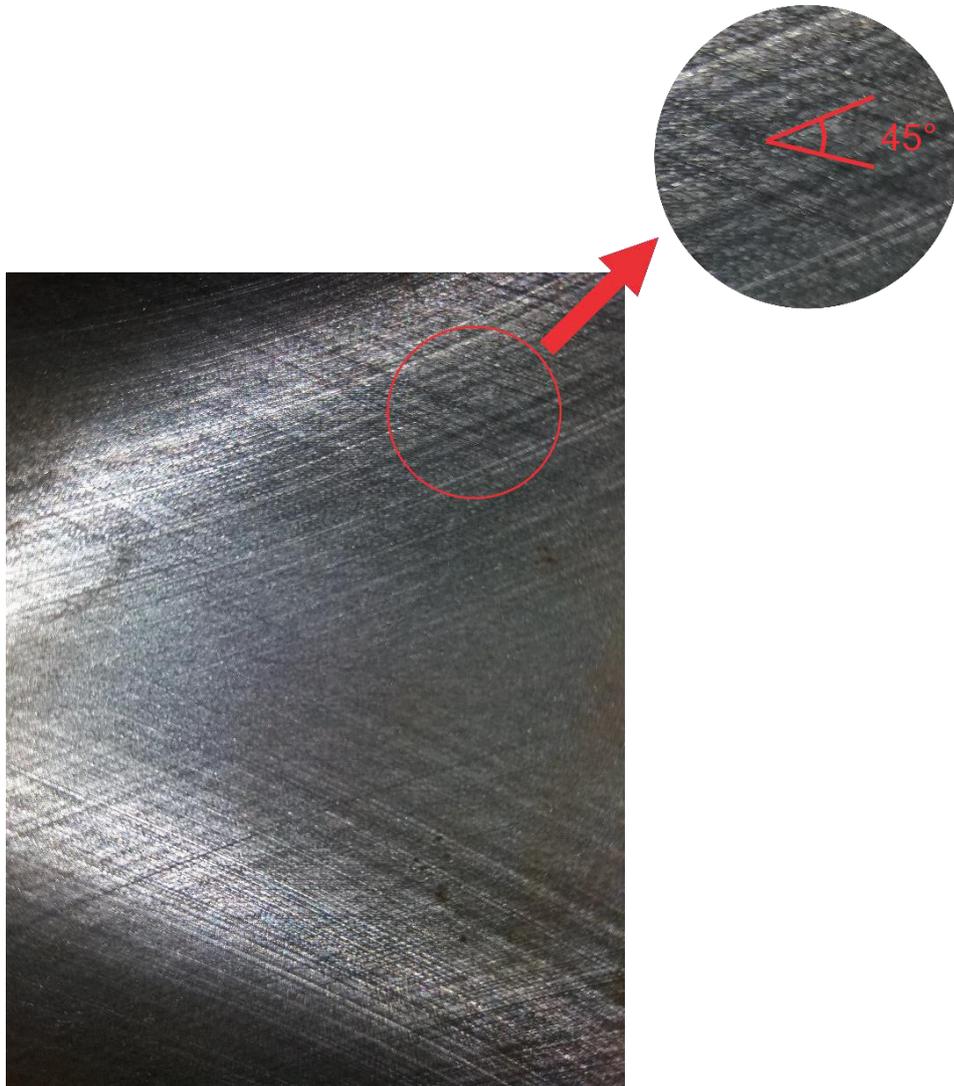
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12– Ângulo encontrado da superfície de 15,4 cursos por minuto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13– Ângulo encontrado da superfície de 17,6 cursos por minuto



Fonte: Elaborado pelo autor.

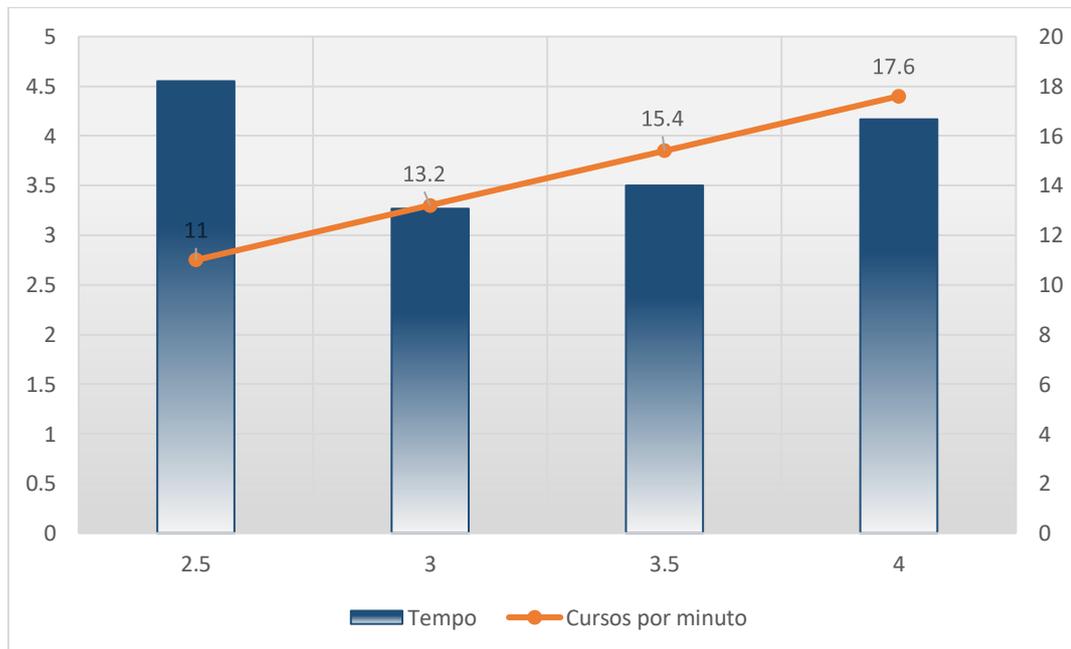
Analisando os resultados encontrados, foi percebido que à medida que se aumentou a velocidade de avanço em cursos por minutos, teve um aumento nos ângulos de cruzamento na superfície dos cilindros. Com o estudo da cinemática do processo, levando em consideração os movimentos de rotação e avanço realizados pela ferramenta em um percurso de subida e descida, esses valores podem ser explicados.

Levando em consideração, neste experimento, que a rotação da ferramenta é constante de 95rpm, à medida que é aumentada a velocidade de avanço (V_a) mais se distancia a componente resultante (V_c) da direção horizontal, em que se encontra a componente rotação, notando-se a abertura dos ângulos.

4.4 Relações entre os resultados encontrados de escoamento e velocidade de avanço

No gráfico 1 é possível verificar que à medida que a velocidade de avanço é aumentada e conseqüentemente a angulação das ranhuras, o escoamento não acompanhou esses aumentos.

Gráfico 1 – Relação entre velocidade de avanço e escoamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3–Valores encontrados no experimento

Cilindro	Tempo (s)	Ângulos de cruzamento (graus)	Cursos por minuto
2,5	4,55	21	11
3	3,27	31	13,2
3,5	3,50	40	15,4
4	4,17	45	17,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico pode ser visto que o cilindro que teve o maior tempo de escoamento foi o de 11 cursos por minuto, seguido pelo de 17,6, depois o de 15,4 e por último o de 13,2.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no experimento com o motor de combustão interna abordado neste trabalho, foi visto que os ângulos de cruzamento das ranhuras foram aumentando de acordo com a elevação da velocidade de avanço da máquina. Este resultado era o esperado, tendo em vista o aumento da amplitude dos movimentos com rotação da ferramenta da máquina constante.

Os tempos de escoamento obtidos em segundos não tiveram muitas conformidades com os valores encontrados nas velocidades de avanço e ângulos de cruzamento de ranhura. Isso pode ter ocorrido por erros de precisão da máquina brunidora ou por erros relacionados ao escoamento, levando em conta a dificuldade de boa precisão neste último fator.

Erros de circularidade foram encontrados nos três pontos medidos de cada cilindro, percebendo-se que à medida que se avançava na análise para o bordo inferior do cilindro, mais erros de circularidade eram notados. Visto que nos quatro cilindros o maior erro estava no ponto inferior, pode-se deduzir que este resultado foi ocasionado por uma não regularidade de corte da máquina brunidora ao longo do seu processo em todo o cilindro.

Como sugestão para aprimoramento de resultados para trabalhos futuros, pode-se realizar a mudança da máquina de brunir para uma de rotação variável, permitindo-se assim uma maior precisão e melhora geral no processo. Para se ter uma exatidão maior na medição da circularidade existe o circularímetro, aparelho bastante específico para esse tipo medição.

6 BIBLIOGRAFIA

AAROM, T. *et al. Grinding, Honing and Lapping. ASM Handbook - Machining.* ASM International, 1995.

ALMEIDA, ANDRÉ BORELLI DE. “ANÁLISE DAS ETAPAS DERETIFICAÇÃO E BRUNIMENTO EM RELAÇÃO AO ACABAMENTO SUPERFICIAL DE CAMISAS DE BLOCOS DE MOTORES.” *Monografia.* Araçatuba, SP: CENTRO UNIVERSITÁRIO TOLEDO –UNITOLEDO, 20 de 12 de 2017.

ANDRETTA, C. “Brunimento para Recuperação das Camisas de Pistão dos Motores.” *Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica).* Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001, 2001. 76.

“ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).” *Execução de retífica de motores.* 2009.

Barczak, André Luis Chautard. “Comparação de algoritmos de mínimos quadrados e de zona mínima para desvios de circularidade.” *Dissertação de Mestrado.* Campinas: Universidade de Campinas, 28 de Junho de 1996.

BRASIL, MERCEDES BENZ DO. “Apostila de treinamento técnico: matemática e metrologia.” 2006.

Brunidora hidráulica de cilindros. Home Page. Disponível em: <http://www.chinelatto.com.br/catalogos/BH-200_Brunidora_Pulidora_de_Cilindros__Cylinder_Honing_Machines.pdf> (acesso em Fevereiro de 2019).

BYRNES, J. *Society of Manufacturing.* Dearborn, 1992.

DINIZ, A., F. MARCONDES, e L. COPPINI. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais.* 8ª Edição. SÃO PAULO, SP: Artliber Editora, 2013.

DINIZ, A.; MARCONDES, F.; COPPINI, L.;. *Tecnologia da Usinagem dos Materiais.* 8.ed. São Paulo, SP: Artliber Editora, 2013.

FERREIRA, C., e L. MAGALHÃES. “Projeto Mecânico de Equipamento para Brunimento.” *Monografia (Bacharelado em Engenharia).* Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2009.

FILHO, PAULO PENIDO. *OS MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.* BELO HORIZONTE: LEMI, 1983.

M. L. Silva, Dávila. “PROCESSO DE BRUNIMENTO EM CAMISAS DE CILINDRO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA: UMA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO ACABAMENTO SUPERFICIAL.” Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará, 2017. 85 p.

Máquinas FAMOP. FAMOP.

<http://www.famop.com.br/port/html/equipamentos/BCF200.html> (acesso em Março de 2019).

Martins, Jorge. *Motores de Combustão Interna*. Publindústria, 2006.

MARTINS, JORGE. *MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA*. II vols. PORTO: PUBLINDÚSTRIA, PRODUÇÃO DE COMUNICAÇÃO LDA, 2006.

Meirelles, Clóvis Henrique. “Substituição do Óleo Diesel por Combustível Alternativo na Geração de Energia Elétrica.” *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, 18 de Maio de 2007.

Morais, Simões. *Desenho técnico básico 3*. Porto: Porto Editora, 2006.

MOTORS, KIA. *Montadora Sul Coreana*. <https://www.kia.com.br/Veiculos/> (acesso em Agosto de 2018).

MOTORS., KIA. <https://www.kia.com.br/Veiculos/>.

Óleos MOBIL. Mobil. 2019.

http://mobil.moovelub.com/sites/default/files/mobil_super_1000_20w-50_sl_original_pds_2016.pdf (acesso em Fevereiro de 2019).

OLIVEIRA, Carlos Alexandre de, e Andrea da ROSA. “Motores de combustão interna – álcool e gasolina.” *Apostila SENAI*. Santa Maria: CEP SENAI Roberto Barbosa Ribas, 2003. 116.

SHERWOOD, M., e L. M. SHU. *Supporting Design for Remanufacture through Waste-Stream Analysis of Automotive Remanufacturers*. Annals of Cirp, 2000.

Sousa, André Roberto de. “Sistema óptico panorâmico para avaliação automatizada da qualidade de brunimento em 360° dos cilindros.” 2005.

Tillmann, Carlos Antonio da Costa. *Motores de Combustão Interna e seus Sistemas*. Pelotas - RS: Rede e-Tec Brasil, 2013.

WHITEHOUSE, J. D. *Handbook of Surface Metrology*. Bristol: IOP Publishing, 1994.