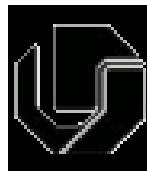


BRENO SMANIO GUIMARÃES

***SHOULD COST* APLICADO A IMPLANTAÇÃO DO PROCESSO DE
BRUNIMENTO FLEXÍVEL EM UMA LINHA DE BRUNIMENTO
PRECISOR DE COMPRESSORES HERMÉTICOS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2020

BRENO SMANIO GUIMARÃES

***SHOULD COST* APLICADO A IMPLANTAÇÃO DO PROCESSO DE
BRUNIMENTO FLEXÍVEL EM UMA LINHA DE BRUNIMENTO
PRECIDOR DE COMPRESSORES HERMÉTICOS**

Projeto de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
BACHAREL em ENGENHARIA MECÂNICA

Orientador: Prof. Dr. Luciano José Arantes

UBERLÂNDIA

2020

BRENO SMANIO GUIMARÃES

***SHOULD COST* APLICADO A IMPLANTAÇÃO DO PROCESSO DE
BRUNIMENTO FLEXÍVEL EM UMA LINHA DE BRUNIMENTO PRECIDOR DE
COMPRESSORES HERMÉTICOS**

Projeto de conclusão de curso **aprovado**
pela banca avaliadora do curso de graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade Federal de
Uberlândia.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luciano José Arantes – FEMEC – UFU – Orientador

Prof. Dra. Elaine Gomes Assis – FEMEC – UFU

Prof. Dra. Regina Paula Garcia Santos – FEMEC – UFU

Uberlândia, 17 de dezembro de 2020.

Agradeço a Deus, por me conceder a oportunidade e capacidade de realizar este trabalho. Aos meus pais, Rodrigo e Kristhiane, por serem exemplos de amor, apoio e perseverança. A meus familiares, namorada e amigos. A todos os que contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor e orientador Dr. Luciano José Arantes, pela orientação e atenção dadas ao trabalho, passando de forma objetiva e clara seus conhecimentos. Destaco sua motivação e seu empenho em mostrar a realidade da engenharia mecânica no dia a dia que enfrentaremos no mercado de trabalho. Tudo isso são frutos de sua dedicação à profissão.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia, pela valiosa oportunidade de concluir meus estudos nesta instituição, a qual tenho o maior carinho, respeito e admiração. Agradeço aos recursos disponibilizados e ensinamentos transmitidos.

Por fim, gostaria de agradecer aos amigos que a graduação de engenharia mecânica me concedeu, amigos de verdade que sempre estiveram unidos e enfrentaram juntos os desafios do curso e da vida nesse período. Também, agradeço ao time Manchester 92, que nos ensinou grandes lições de união, trabalho em equipe e liderança.

Guimarães, B. S. *Should cost* aplicado a implantação do processo de brunimento flexível em uma linha de brunimento precisor de compressores herméticos. 2020. Projeto de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.

RESUMO

O presente trabalho visa analisar os custos (através da ferramenta conhecida no meio industrial como *Should Cost*) necessários para a implantação do processo de brunimento flexível em uma linha de brunimento precisor de compressores herméticos. O objetivo é levantar e analisar os impactos financeiros que a adição do processo de brunimento flexível trará aos cilindros destes compressores. Os custos foram levantados através de estimativas, pesquisas com fornecedores e de engenharia reversa, para as operações de brunimento, analisando os custos com ferramentas, óleos lubrificantes, manutenção, mão de obra, depreciação das máquinas, amortização e energia elétrica. Para o processo de transformação do bloco dos compressores, foram analisados os custos para fabricação com todas as etapas de usinagem, retificação e lavagem incluídas, assim as comparando e analisando. Após a realização da análise dos custos, foi verificado que o custo do processo de transformação teve um aumento de 6,66% com a adição do brunimento flexível, o que mostra a viabilidade econômica e melhora na qualidade superficial dos cilindros dos compressores.

Palavras-chave: Brunimento flexível; Análise de custos; *Should cost*; Compressor hermético.

Guimarães, B. S. **Should cost applied to the implementation of the flexible honing process in a precidor honing line of hermetics compressors.** 2020. Undergraduate Final Project, Federal University of Uberlandia, Uberlandia, Brazil.

ABSTRACT

This final project examines the cost analysis (using the tool known in the industrial environment as the Should Cost), required for the implementation of the flexible honing process in a precidor honing line of hermetic compressors. The goal is to survey and analyze the financial impacts that the addition of flexible honing process will bring to the cylinders of these compressors. The costs were raised through research with suppliers and reverse engineering for honing operations, analyzing the costs of tools, lubricating oils, maintenance, labor, depreciation of machines, amortization and electricity. For the transformation process of the compressor block, the costs for manufacturing were analyzed with all stages of machining, grinding and washing included, thus comparing and examining them. After performing the cost analysis, it was verified that the cost of the transformation process increased by 6.66% with the addition of flexible honing, which shows the economic viability and improvement in the surface quality of the compressor cylinders.

Keywords: Flexible honing; Cost analysis; Should cost; Hermetic compressor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Ranhuras deixadas após o Brunimento.....	16
Figura 02: Classificação do brunimento	17
Figura 03: Princípio de funcionamento do brunimento de curso longo.....	18
Figura 04: Comparação entre brunimento convencional e brunimento de passe único com suas respectivas ranhuras características do processo.....	19
Figura 05: Relação do diâmetro do furo, material removido e rugosidade Rz para a operação de brunimento de passe único em vários estágios.....	20
Figura 06: Detalhes da ferramenta “Precidor”	20
Figura 07: Ferramentas “Precidor”	21
Figura 08: Ferramentas brunidoras flexíveis do tipo esferas.....	22
Figura 09: (a) Representação esquemática do perfil de uma superfície cilíndrica antes do processo de brunimento flexível (b) e após o processo com brunidor flexível.....	22
Figura 10: Fluxo de processos de <i>Should Cost</i>	24
Figura 11: Componentes do compressor recíproco alternativo hermético.....	25
Figura 12: Desenho do bloco do compressor hermético.....	26
Figura 13: Linha típica de produção de compressores herméticos com máquinas Rotary Transfer e Linear Transfer, máquinas brunidoras e máquina de lavagem. Em detalhe, a unidade adicional de brunimento flexível, com a ferramenta <i>Flex-Hone</i> brunindo um bloco de compressor hermético.....	28
Figura 14: Fluxograma do processo de brunimento precidor.....	29
Figura 15: Layout da linha de produção das máquinas de brunimento precidor.....	29
Figura 16: Brunidora tipo honing vertical SV-2400 series.....	30
Figura 17: Ferramentas precidoras brunindo componentes de um compressor hermético....	31

Figura 18: Novo layout da linha de produção com a instalação da estação de brunimento flexível após as máquinas de brunimento precidor.....	32
Figura 19: Estação de escovamento da brunidora NAGEL.....	33
Figura 20: Layout 1 da escovadora da brunidora, realizando o brunimento em um bloco de compressor.....	34
Figura 21: Layout 2 da escovadora da brunidora, realizando o brunimento em um bloco de compressor.....	34
Figura 22: <i>Flex-Hone</i> utilizada no processo.....	35
Figura 23: Gráfico de proporção de custos do brunimento precidor	41
Figura 24: Gráfico de proporção de custos do brunimento flexível	45
Figura 25: Gráfico de proporção dos custos de transformação do bloco	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Composição química do ferro fundido cinzento GG25.....	27
Tabela 02: Propriedades Físico Químicas do fluido Cadium Polisynthe BR 5.....	31
Tabela 03: Tempo relacionado ao processo de brunimento precidor.....	37
Tabela 04: Custos relacionados à atividade de brunimento precidor.....	39
Tabela 05: Custo de transformação do bloco do compressor hermético.....	41
Tabela 06: Tempo relacionado ao processo de brunimento flexível.....	42
Tabela 07: Custos relacionados à operação de brunimento flexível.....	43
Tabela 08: Tempo total dos processos de brunimento.....	44
Tabela 09: Custos por hora dos processos de brunimento.....	45
Tabela 10: Custo de transformação do bloco do compressor com a operação de brunimento flexível.....	46
Tabela 11: Comparação dos custos de transformação dos blocos.....	47

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

kW = Quilowatt

kWh = Quilowatt hora

NR-15 = Norma Regulamentadora 15 - Atividades e Operações Insalubres

R\$ = Real brasileiro

Ra = Desvio aritmético médio do perfil

Rp = Altura máxima do pico do perfil

UFU = Universidade Federal de Uberlândia.

US\$ = Dólar americano

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos e Justificativa.....	16
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.2 Brunimento	17
2.2.1 Brunimento de Curso Longo	18
2.2.2 Brunimento de Passe Único	19
2.2.3 Ferramenta Precidor	21
2.3 Brunimento Flexível	22
2.4 <i>Should Cost</i>	24
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	26
3.1 Compressores Herméticos	26
3.1.1 Cilindro do compressor hermético	27
3.1.2 Material do bloco do compressor hermético	28
3.2 Processo De Brunimento Precidor	28
3.2.1 Etapas do Brunimento	29
3.2.2 Máquinas brunidoras	31
3.2.3 Ferramentas Brunimento Precidor	31
3.2.4 Fluido Lubrificante.....	32
3.3 Brunimento Flexível	33
3.3.1 Máquina de Brunimento Flexível	34
3.3.2 Ferramentas de Brunimento Flexível.....	36
3.3.3 Fluido Lubrificante.....	37
CAPÍTULO 4 – <i>SHOULD COST</i> E RESULTADOS.....	38
4.1 Tempo do processo de Brunimento Precidor.....	38
4.2 Custos relacionados ao processo de Brunimento Precidor do cilindro do bloco do compressor hermético.....	39

4.3 Custo unitário da operação de Brunimento Precidor	41
4.4 Custo de fabricação do bloco do compressor hermético.	42
4.5 Tempo do processo de brunimento flexível.....	43
4.6 Custos relacionados ao processo de Brunimento Flexível do cilindro do bloco do compressor hermético.....	43
4.7 Custos e horas gastas com a adição do brunimento flexível na linha de brunimento precidor.....	45
4.8 Custo unitário com adição da operação de Brunimento Flexível	47
4.9 – Custo de fabricação do bloco do compressor alternativo hermético com Brunimento Flexível.....	47
4.10 – Comparação dos custos de transformação do compressor.....	48
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES	50
CAPÍTULO 6 - TRABALHOS FUTUROS	51
CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	52

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

É possível afirmar que há uma contínua evolução nas pesquisas que envolvem processos e métodos de brunimento desenvolvidos com a finalidade de aumentar a qualidade superficial das peças produzidas, melhorar o tempo para operacionalização e otimizar os custos dos processos.

A usabilidade do procedimento de brunimento é aplicada desde a indústria de automóveis, passando pela fabricação de rolamentos, produção de compressores para refrigeradores e até ferramentas, além de tantos outros (ROSA, 2012). O brunimento se caracteriza principalmente, pelo ato de remover material de uma superfície de determinada peça, a partir de grãos abrasivos que são fixados na parte externa da ferramenta, isto é, em sua superfície, combinado com um movimento de rotação e avanço da ferramenta, que permite a remoção do material, além de se diferir de processos como a retificação, por exemplo, por se tratar de um processo com contato amplo do abrasivo e da peça e pequenas pressões e velocidades de corte (KLOCKE, 2009).

Assim, nesse contexto, o processo de brunimento flexível aparece no cenário obtendo grande valia no campo científico e operacional devido a funcionalidade em arredondar picos de superfície e imperfeições localizadas nas laterais dos cilindros. Funcionalidades estas, que garantem menor atrito, otimização no desempenho além de, acabamento ainda mais satisfatório (MILLER, 1993; BARTON; HAASIS, 1993).

Dessa maneira, percebe-se os estudos científicos sobre brunimento flexível em Arantes et. al (2017), Pereira et. al (2014), Fernandes (2014), Andretta (2001) e, tantos outros, que comprovam sua eficácia, funcionalidade e inevitabilidade para o campo científico. Ainda que, em determinados aspectos da metodologia o estudo ainda sugira aumento do nível investigatório, é perceptível tal evolução.

Conforme afirma Barros (2018), o brunimento flexível é um processo simples e econômico, recomendado após o brunimento convencional, para atender a elevada exatidão dimensional e geométrica requerida em cilindros de blocos de compressores herméticos. Esta operação elimina picos isolados e reduz seus tamanhos, não alterando a profundidade dos vales, garantindo melhores propriedades à superfície da peça.

E a partir do descrito acima, unindo as necessidades de melhoria da superfície de peças com a otimização dos custos de produção, o presente trabalho surge como alternativa de investigação científica a fim de explicar e enriquecer o âmbito investigativo do processo de brunimento flexível, explicitando a relevância de sua investigação somada às literaturas aqui apresentadas e encontradas nas respectivas bases de busca. Além de, aumentar a crescente diligência em apresentar propostas com maior nível de simplicidade às operações, que se proponham a reduzir custos e fomentar culturas de com maior produtividade. O trabalho aliou as necessidades unindo a operação de brunimento flexível com a metodologia *Should Cost*.

Assim como, quando analisamos o trabalho de Oliveira e Braz (2017), que realiza um *Should Cost* aplicado em implantes dentários utilizando-se de usinagem não convencional, fez se necessário o estudo de custos para esta situação. Com toda a conjuntura exposta, utilizando da análise de custos, foi realizado o estudo de uma implantação do processo de brunimento flexível em uma linha de brunimento precidor de compressores alternativos herméticos.

1.1 Objetivos e Justificativa

Como objetivo principal, destaca-se o levantamento e análise dos custos de implementação da operação de brunimento flexível em uma linha de brunimento precursor de cilindros de blocos de compressores alternativos recíprocos herméticos, comparando os custos para a produção (transformação) dos blocos destes compressores.

Suportando a centralidade da pesquisa, destacam-se os objetivos secundários como:

- Apontamento e a avaliação dos custos envolvidos na compra e instalação do equipamento para realização de brunimento flexível, cálculo dos custos por peça brunida (bloco de compressor hermético), ferramental utilizados considerando a vida útil da ferramenta.
- Apontar as vantagens e desvantagens da metodologia, fornecendo embasamento teórico para futuras aplicações contribuindo para rastreabilidade de resultados de medição.
- Corroborar à evolução do campo de pesquisas no âmbito de brunimento flexível.

Apesar das muitas vantagens comprovadas pelo brunimento flexível, a operação ainda é pouco difundida na indústria de usinagem. Isto talvez possa ser justificado pelo fato de que o brunimento flexível não esteja tão disseminado nos meios acadêmicos, como outros processos de brunimento. As pesquisas acadêmicas sobre a operação de brunimento flexível, ainda que não se aprofundem tanto nos fundamentos do mesmo, atuam na divulgação do processo demonstrando as vantagens e limitações em relação aos outros processos. Assim, aumenta o campo de pesquisa para que surjam novos métodos e aplicações para o processo de brunimento flexível tornar-se cada vez mais presente no âmbito industrial.

O trabalho também traz uma visão prática de pesquisa científica, utilizando de um método de produtividade e otimização de custos. A metodologia *Should Cost* aqui aplicada agrega bastante no cenário acadêmico, pois se trata de trabalhos únicos e de pouca disseminação no meio, assim, contribuindo e servindo de base de pesquisa para futuros projetos e teses. Além de, disseminar e incentivar a cultura de produtividade, contribuindo assim, para a evolução destacada nos campos de pesquisa quanto a temática desse trabalho.

Este trabalho é estruturado a partir da presente introdução, seguido pelo referencial bibliográfico, metodologia de pesquisa, análise dos resultados e conclusões acerca da pesquisa.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2 Brunimento

De acordo com a CGM (2020), o brunimento é uma operação mecânica de usinagem à abrasão, que utiliza de baixa velocidade de corte para remoção do material, através da penetração dos grãos abrasivos da ferramenta na superfície da peça. A ferramenta opera com movimento de rotação deslocando-se axialmente, e realizando uma trajetória helicoidal. Tem por objetivo tanto melhorar as exatidões geométricas e dimensionais da peça quanto a qualidade superficial ou alterar as características e texturas das faces brunidas.

O entendimento sobre o modo como o brunimento atua nas superfícies é de fundamental importância para a compreensão de seu processo. O mecanismo de desgaste da operação é a usinagem à abrasão. O brunidor conta com um material ligante que une e conecta os grãos duros abrasivos, responsáveis pela remoção de material da superfície de peças manufaturadas. Durante o movimento helicoidal da ferramenta, os grãos abrasivos do brunidor penetram na superfície da peça, realizando a remoção do material através do cisalhamento dos grãos em contato com ela (AARON apud PEREIRA, 2016).

As ranhuras criadas nas superfícies das peças pelo processo de abrasão, uma característica importante da operação, tem ótima capacidade de retenção de lubrificantes, melhorando o deslizamento de peças e reduzindo o atrito entre elas. Outro fator de importância na execução do brunimento é o ângulo de cruzamento dessas ranhuras, que tem como funções o controle e a garantia da lubrificação necessária para cada tipo de peça (KNOPF et al., 1998). A Figura 01, mostra as ranhuras características do brunimento.

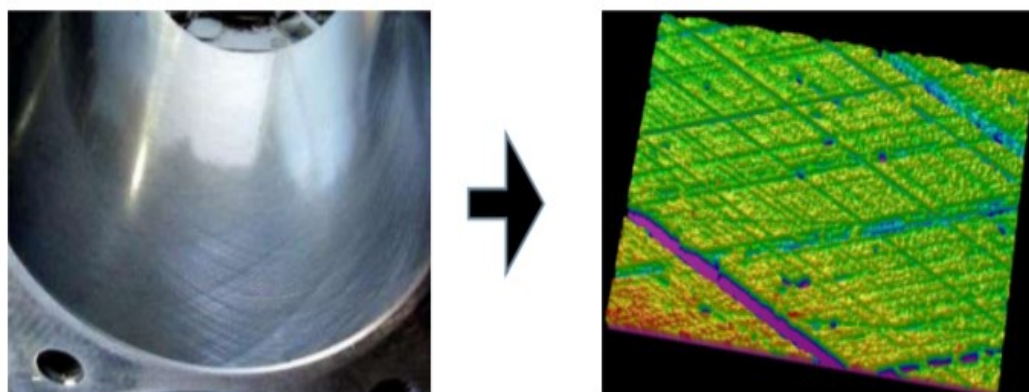


Figura 01: Ranhuras deixadas após o Brunimento (MHR apud BARROS, 2020).

O processo de brunimento também atua na geometria dimensional da peça, corrigindo desvios geométricos bem comuns em furos, como a circularidade, ondulação, corpo abaulado, conicidade, ovalização além de batimentos e marcas de furação em operações anteriores. Outra vantagem é que, devido sua velocidade de trabalho o brunimento gera baixas temperaturas durante a operação, não alterando a estrutura da superfície do material (CGM, 2020).

O brunimento pode ser considerado um processo econômico para a produção de furos de alta precisão, levando em consideração a geometria, a qualidade superficial e as formas obtidas. Por isso, é um procedimento altamente recomendado em aplicações que visam diminuir os efeitos indesejáveis do contato metal-metal, como cilindros de compressores, bloco de motores, guias cilíndricas de peças móveis e componentes de sistemas de injeção a diesel (BÄHRE, SCHMITT e MOOS, 2012).

Existem vários processos de brunimento utilizados nas operações de usinagem na indústria, de um modo geral, o sistema pode ser dividido em dois grupos principais, o de curso longo e o de curso curto, que diferem entre si pela trajetória descrita pela ferramenta, por suas características cinemáticas e, também, por suas aplicações (KÖNIG, 1980). No respectivo trabalho, foi utilizado o processo de brunimento de passe único com ferramenta precidor. A Figura 02 a seguir apresenta as classificações do brunimento.

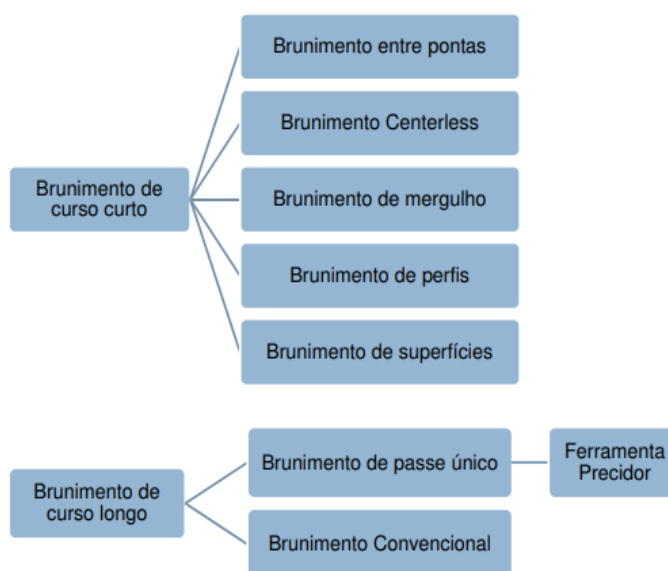


Figura 02: Classificação do Brunimento (BARROS, 2020).

2.2.1 Brunimento de Curso Longo

O brunimento de curso longo é caracterizado por ser um processo rápido e preciso usado na usinagem de diâmetros internos, empregando ferramentas cilíndricas. As pedras de

brunimento montadas no corpo principal da ferramenta exercem pressão contínua nas peças para promover a remoção do material (PERES, 1994).

Geralmente, este é o processo mais adequado para o brunimento de furos em ferro fundido. Além de proporcionar precisão no processamento de formas e dimensões, também tem o importante propósito de produzir as ranhuras próprias na superfície, gerando uma melhor retenção de lubrificantes. As principais áreas de aplicação do processo são: furos em bielas, camisas de cilindros, furos de engrenagens, etc. (SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS apud PERES, 1994). A Figura 03 apresenta o princípio de funcionamento do brunimento de curso longo.

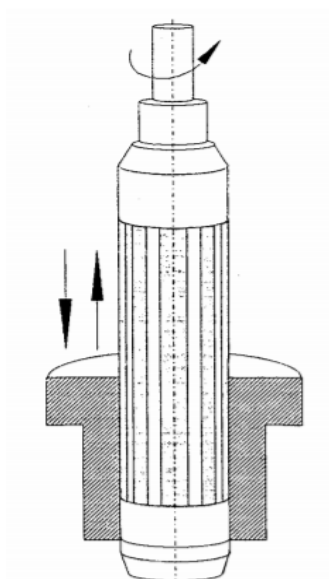


Figura 03: Princípio de funcionamento do brunimento de curso longo (PERES, 1994).

Segundo Schmidt (1999), o brunimento de curso longo se divide em duas classificações definidas pelas diferenças cinemáticas: o brunimento convencional e o brunimento de passe único. O brunimento convencional é caracterizado pelo movimento da ferramenta em três etapas simultâneas: rotação, avanço oscilante e expansão. No brunimento de passe único, as ferramentas são ajustadas para passar pela peça uma única vez e retirar uma quantidade determinada de material.

2.2.2 Brunimento de Passe Único

O brunimento de passe único, foi desenvolvido com o intuito de ser uma alternativa para a retificação tradicional e o brunimento convencional, a fim de melhorar a qualidade dos furos de corpos de válvulas hidráulicas (MARVIN apud SCHMIDT, 1997). O brunimento de passe único atua com a ferramenta passando uma única vez pelo furo, removendo uma

quantidade de material predeterminada e, assim, promovendo o acabamento superficial planejado (JUCHEM apud SCHMIDT, 1999). A Figura 04 apresenta a diferença entre o brunimento convencional e o brunimento de passe único.

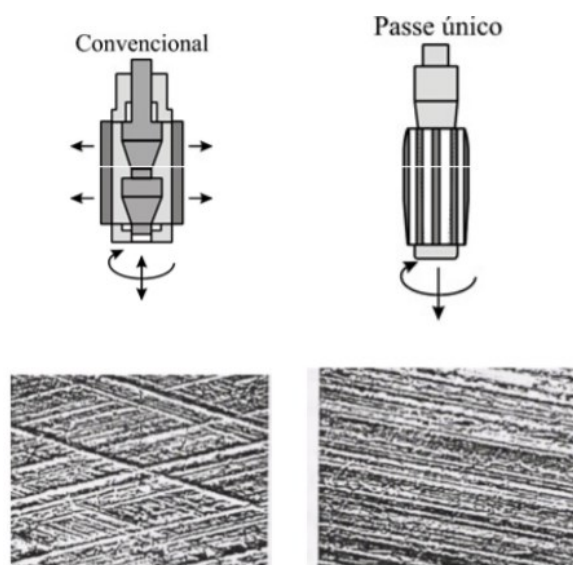


Figura 04: Comparação entre brunimento convencional e brunimento de passe único com suas respectivas ranhuras características do processo (BARROS, 2020).

O mecanismo de brunimento de passe único envolve o uso de uma ferramenta com diâmetro pré-ajustável, cobertas por partículas abrasivas conectadas por um material ligante metálico. Schnitzler citado por Araujo (2014) compara a ferramenta de brunimento de passe único com um alargador, pois o diâmetro externo desta é ajustado de acordo com a dimensão desejada do furo.

Este processo, consideravelmente simples, tem melhorado e muito os resultados obtidos na usinagem, principalmente no que se refere aos materiais mais leves. Além disto, praticamente qualquer tipo de furo pode ser brunido com o uso desta técnica (HABERLAND apud PERES, 1994). Atualmente o processo é bastante empregado na usinagem de furos de válvulas hidráulicas, mancais de blocos cilíndricos e bielas de grande e pequeno porte, ou seja, elementos onde se deseja uma constância de qualidade.

Se for necessário remover uma grande quantidade de material, o diâmetro da ferramenta deve ser reajustado, ou o processo deve ser dividido em várias etapas, com máquinas de múltiplos estágios, onde as ferramentas são postas em sequência com diferentes diâmetros e granulometrias (SCHMIDT 1999). Por meio da operação multi-ferramenta, cada ferramenta pode ser ajustada de acordo para remoção de sua porção de material, como apresenta a Figura 05. Portanto, a fim de obter uma maior quantidade de remoção de material e um acabamento superficial bom, uma ferramenta de grão maiores pode ser usada em conjunto com uma ferramenta de granulometria fina, melhorando toda a eficiência do processamento.

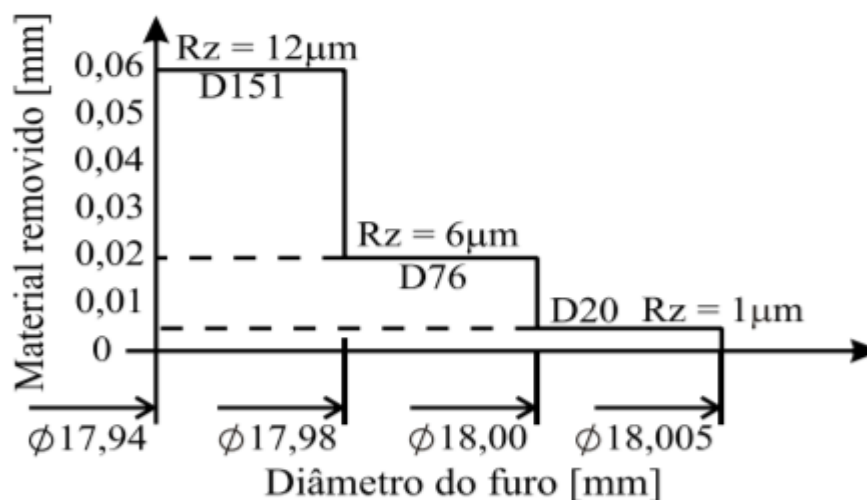


Figura 05: Relação do diâmetro do furo, material removido e rugosidade Rz para a operação de brunimento de passe único em vários estágios (NAGEL apud FREITAS, 2018).

2.2.3 Ferramenta Precidor

A empresa alemã *Nagel* foi a responsável pelo desenvolvimento das ferramentas tipo “Precidor” para realizarem o brunimento de passe único em furos passantes (NAGEL apud PERES, 1994).

O esquema do Precidor consiste em um suporte rígido de alta estabilidade e elevada precisão, ao qual são acompanhados por régua diamantada (pedras de brunir). Uma característica importante desta forma construtiva é a presença de rasgos nas paredes da ferramenta que permitem que todo o corpo do Precidor tenha seu diâmetro aumentado (WICK et al. apud SCHMIDT, 1999). A Figura 06, mostra os detalhes da ferramenta “Precidor”.

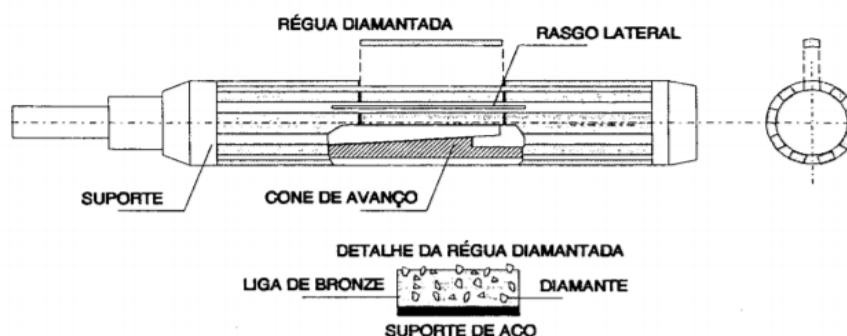


Figura 06: Detalhes da ferramenta “Precidor” (PERES, 1994).

Como dito anteriormente, apesar da operação ser realizada em um único ciclo de avanço, o brunimento com ferramenta precidor pode ser realizado em várias etapas, com o uso de máquinas de múltiplos estágios em que cada estação de trabalho possui uma ferramenta para alcançar determinada rugosidade, de acordo com a necessidade do projeto da peça (HAASIS apud PERES, 1994).

As qualidades dimensional e geométrica obtidas com o uso de ferramentas precidor em vários estágios são bastante elevadas. No brunimento de furos de ferro fundido pode-se alcançar precisões dimensionais e geométricas na grandeza de 0.001 a 0.002 mm, para uma remoção acima de 0.04 mm (PERES, 1994). A Figura 07, apresenta várias ferramentas precidor.



Figura 07: Ferramentas “Precidor” (BRUNITEC, 2020).

Os materiais abrasivos empregados nessas ferramentas são classificados em dois grupos: os convencionais e os superabrasivos. Nos convencionais, os abrasivos de óxido de alumínio ou carbeto de silício apresentam bom desempenho, porém removem um baixo volume de material em ligas mais duras, ao contrário dos superabrasivos, como o diamante ou o CBN, que tem uma alta taxa de remoção (JUCHEM apud SCHMIDT, 1999).

No trabalho, os cilindros passaram por um processo de brunimento de cinco etapas antes do brunimento flexível. Utiliza-se o tipo de brunimento “precidor”, para realizarmos estas etapas iniciais do processo de acabamento superficial.

2.3 Brunimento Flexível

Segundo Barton e Haasis (1993), o brunimento flexível é um processo que vem ganhando espaço como operação complementar de acabamento após o brunimento convencional, trabalhando com o objetivo de remover os picos e imperfeições da superfície, buscando o acabamento final desejado.

Aprofundando sobre o brunimento flexível, a ferramenta brunidora ou *Flex-hone*, conta com esferas abrasivas ligadas às hastes de nylon flexível, que por sua vez, são conectadas ao corpo da ferramenta, como mostra a Figura 08. A esfera abrasiva é exposta ao contínuo desgaste de suas arestas cortantes, porém, cada glóbulo é composto por diversas camadas, permitindo uma degradação com taxa controlada desses abrasivos. (MILLER, 1993).



Figura 08: Ferramentas brunidoras flexíveis do tipo esferas (MAANTERA, 2015).

A ferramenta de brunimento flexível tipo esferas é aplicada para produzir superacabamentos em superfícies cilíndricas utilizando de baixas temperaturas e pressão de contato, sendo difícil encontrar outro método de usinagem à abrasão que atenda essas condições (BRUSHRESEARCH, 2020).

O brunidor flexível é utilizado para rebarbar, limpar, remover óxidos, além de dar acabamento final em cilindros e tubulações. As aplicações industriais para este processo são bem amplas, atuando nas indústrias hidráulicas e pneumáticas, automotivas, refrigeração, sendo utilizada para o brunimento de quaisquer materiais, dependendo do material abrasivo escolhido. A principal aplicação se dá nos superacabamentos de cilindros.

Barros (2018) conclui que a operação de brunimento flexível elimina os picos isolados e não altera a profundidade dos vales, como exemplificado na Figura 09. Isso indica a preservação das propriedades de retenção de lubrificantes e a melhora das propriedades de amaciamento da superfície, resistência mecânica e melhora na eficiência geral aumentando a vida útil do cilindro brunido.



Figura 09: (a) Representação esquemática do perfil de uma superfície cilíndrica antes do processo de brunimento flexível (b) e após processo com brunidor flexível (VERTEC apud PEREIRA, 2016).

Apesar das grandes vantagens do brunimento flexível, esse processo ainda é pouco estudado na área de fabricação mecânica. Um dos trabalhos que apresentam resultados expressivos são o de Fernandes (2014), que avaliou a qualidade geométrica e dimensional de

14 cilindros após o brunimento flexível, porém não avaliou o impacto de variáveis de processo.

Já Pereira (2016) avaliou três parâmetros de corte - rotação, avanço e número de golpes - na operação de brunimento flexível, realizada em cilindros de compressores herméticos. Analisou o impacto desses parâmetros nos valores de rugosidade, constatando que o critério número de golpes alcançou a maior alteração na rugosidade dos cilindros. Porém, apresentou resultados pouco satisfatórios em relação à produtividade e gastos ferramentais com a combinação de fatores que mais influenciaram na rugosidade.

Arantes et al., (2017) avaliou as características da rugosidade após o brunimento convencional e brunimento flexível. Foram avaliados os parâmetros de volume, funcionais, amplitudes e da família RK em 14 cilindros de compressores herméticos. Este experimento mostra que o processo de brunimento flexível realizado após o brunimento convencional pode melhorar significativamente o acabamento e melhorar a repetibilidade e qualidade da superfície dos cilindros brunidos, apresentando eliminação de picos isolados e redução na altura dos mesmos sem alteração na profundidade dos vales. Isso é um indicativo de aumento na resistência mecânica, capacidade de suportar cargas, melhora nas propriedades de amaciamento da superfície e retenção de lubrificantes. Também concluiu que os parâmetros de volume e de recursos podem ser utilizados para caracterizar as superfícies brunidas.

Em estudo mais recente, Barros (2018) avaliou os resultados da variação de parâmetros do brunimento flexível, analisando a granulometria (400 *mesh* e 800 *mesh*) e o número de golpes da ferramenta (1, 2 e 3) em cilindros de compressores herméticos, após o brunimento convencional. O autor conclui que o processo de brunimento flexível utilizando a ferramenta com granulometria 800 *mesh* e 3 golpes obtiveram um bom acabamento superficial, ocasionando em perfis similares ao do brunimento platô, possibilitando o aumentando do campo de aplicação futuro. O estudo demonstrou que o valor do parâmetro de rugosidade R_a , que é utilizado para avaliar a média aritmética do perfil da superfície, diminuiu em 47,8%, e o parâmetro de rugosidade R_p , que é utilizado para avaliar a altura máxima do pico do perfil, reduziu em 68,3% após a realização do processo de brunimento flexível. Esses valores são bem relevantes e reforçam a eficácia da operação.

2.4 Should Cost

A *Sourcing Innovation* (2006) comenta que o *Should Cost* se refere ao processo de determinação de preço de um produto com base no levantamento dos custos de matéria-prima, custos de fabricação, custos gerais de produção e margens de lucro. Sabendo

aproximadamente quanto um produto deve custar, o poder de precificação é transferido do fornecedor para o comprador, dando maior controle em compras estratégicas.

A metodologia de *Should Cost* tenta fornecer a faixa de custo detalhada de um determinado produto, assumindo um processo eficiente e um cenário econômico estável. Por meio da utilização desta, é possível realizar análises bem detalhas e encontrar oportunidades para melhorar o preço final do produto (BURT, 2004).

Segundo o site “administradores.com”, a metodologia vai analisar os custos envolvidos em cada operação importante no processo, como: (I) Preço da matéria prima; (II) Capacidade de produção; (III) Custos estruturais e de mobilização; (IV) Índice de refugo; (V) Tempo de pré-fabricação e análise; (VI) Custo *setup* (\$/hora); (VII) *Mark-up*.

A Figura 10 apresenta o fluxo de processos de uma análise *Should Cost* realizada pela *Cyient*. Nota-se a quantidade de etapas e variáveis do processo.

FLUXO DE PROCESSO DE SHOULD COST

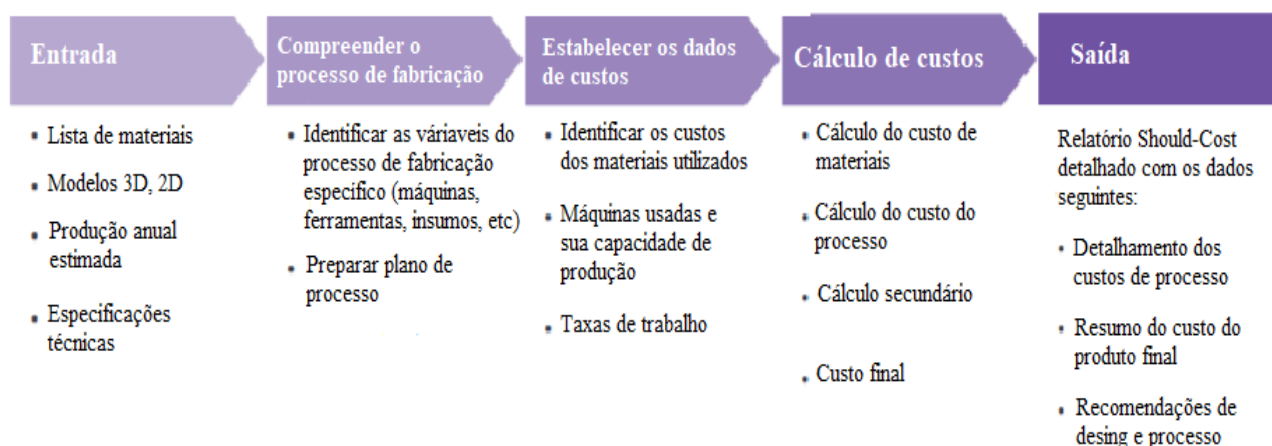


Figura 10: Fluxo de processos de *Should Cost*. Adaptado de (CYIENT, 2019).

O *Should Cost* é mais comumente aplicado para identificar pontos de melhoria na própria empresa, através de uma análise de custo-benefício. Por isso, o número de gestores que utilizam essa metodologia vem aumentando com o passar do tempo, tornando-se uma ferramenta essencial para minimizar as perdas e maximizar os lucros em qualquer operação (Administradores, 2020).

Em uma relação de compra, quando o comprador sabe quanto uma peça custará, ele sabe quanto deve pagar. Assim, esse conhecimento é essencial para identificar peças com preços incorretos, fornecedores não adequados, peças que necessitam ser simplificadas e reprojctadas. Compreender o custo necessário é essencial para encontrar oportunidades de redução de custo e melhorias na eficiência (SOURCING INNOVATION, 2006).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

No capítulo seguinte é descrito as etapas, recursos e métodos utilizados para o suporte do trabalho, onde é simulada uma linha de brunimento precisor em plena capacidade de funcionamento e os dados da instalação do processo de brunimento flexível.

3.1 Compressores Herméticos

O compressor é um dos principais componentes de um sistema de refrigeração, tendo como função a circulação do fluido refrigerante dentro de um circuito. Existem vários tipos e princípios de funcionamento de compressores. No caso do compressor alternativo hermético investigado neste trabalho, o processo de compressão é realizado por um pistão que reduz o volume de gás refrigerante na câmara de compressão (cilindro) por meio da ação de um mecanismo biela-manivela, (ROSA, 2012). O compressor é apresentado na Figura 11 com seus principais componentes, em vista superior e em corte, fabricado pela Embraco.

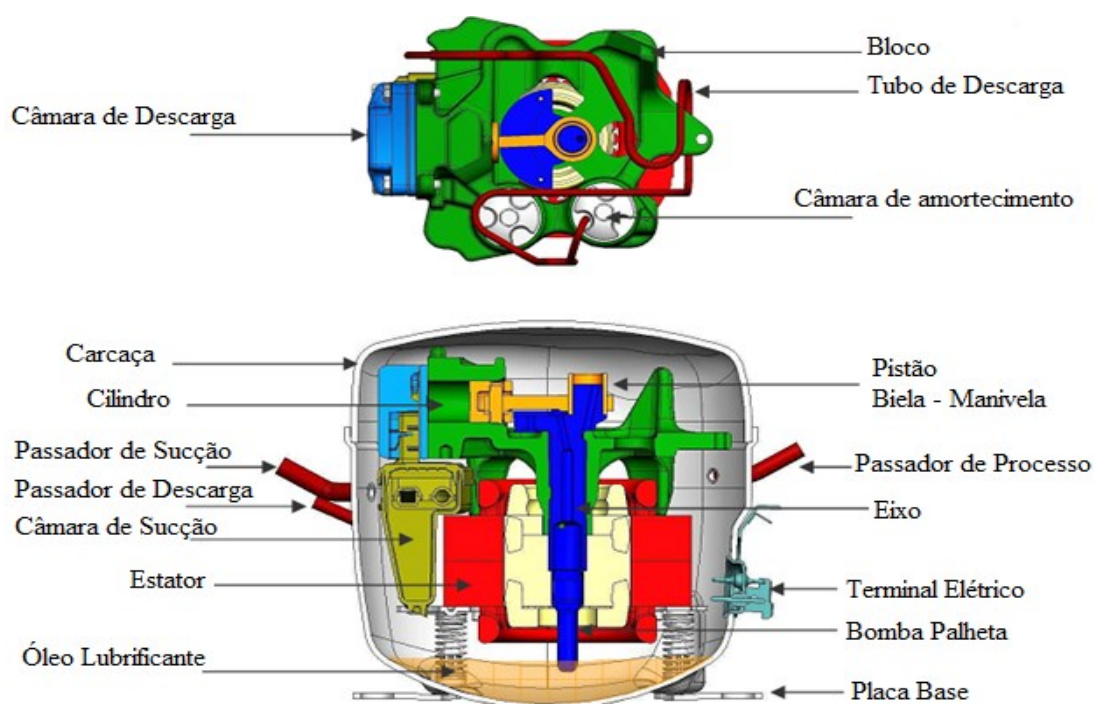


Figura 11: Componentes do compressor recíproco alternativo hermético (REBARREN apud PEREIRA, 2016).

3.1.1 Cilindro do compressor hermético

O conjunto formado por cilindro e pistão, presente neste compressor, deve apresentar um adequado ajuste de geometrias, a fim de evitar vazamentos, desgastes, bem como minimizar atritos, garantindo um bom funcionamento, eficiência e vida útil do produto (ROSA, 2012).

Para isso, durante a fabricação do cilindro do bloco do compressor empregam-se diferentes operações de usinagem, sendo uma delas, o brunimento. Para atingir as tolerâncias dimensionais e geométricas requeridas, definidas pelas exigências do projeto e produto, são realizadas operações de brunimento em vários estágios a fim de alcançar o acabamento superficial desejado. A Figura 12, apresenta o desenho do bloco do compressor.

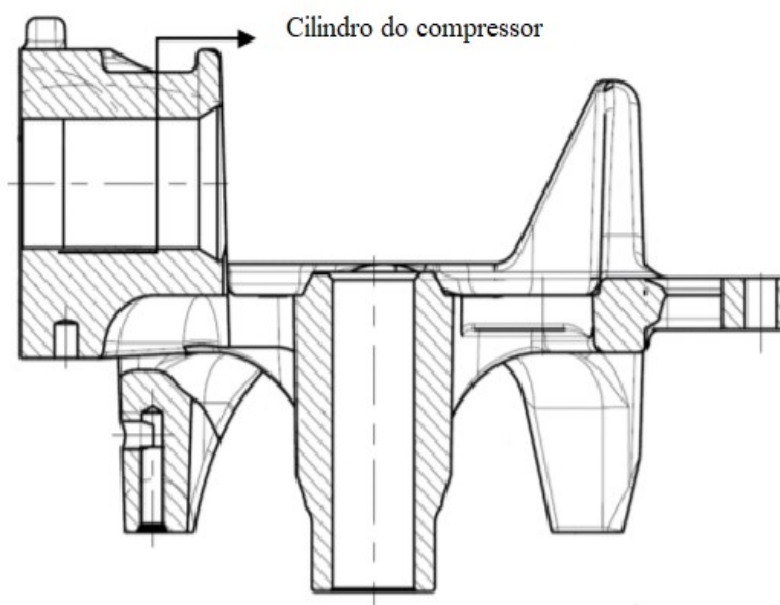


Figura 12: Desenho do bloco do compressor hermético. Adaptado de (EMBRACO apud BARROS, 2018).

O presente trabalho analisa os custos adicionais necessários para adicionar mais uma operação de brunimento nos cilindros de compressores alternativos recíprocos herméticos, a fim de melhorar as tolerâncias dimensionais e geométricas exigidas. Foi elaborado uma análise de custos para implantação do processo de brunimento flexível em uma linha já existente de brunimento precisor.

3.1.2 Material do bloco do compressor hermético

Na maioria dos casos, o material empregado na fabricação dos blocos de compressores herméticos é o ferro fundido cinzento, que alia a fácil remoção de material proporcionando uma longa vida útil as ferramentas brunidoras.

O material utilizado para a fabricação do bloco dos compressores recíprocos alternativos herméticos no nosso trabalho é o ferro fundido cinzento GG25. O ferro fundido GG25 tem uma resistência à tração de 250 N/mm². A Tabela 01 mostra a composição química do material.

Tabela 01 – Composição química do ferro fundido cinzento GG25.

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
% Composição	3,10	2,00	0,88	0,02	0,01	0,25	0,60	0,31

Fonte: (PIMENTEL, 2014)

3.2 Processo De Brunimento Precidor

O método exploratório desenvolvido no trabalho foi baseado na engenharia reversa do processo de brunimento, a partir de um conjunto de pesquisas em linhas de produção, orçamentos com fornecedores e levantamento de hipóteses.

Para o processo de brunimento precidor do trabalho, foi considerado uma linha comumente usada na produção de compressores herméticos, um sistema de máquinas transfer. Este sistema tem como principais características os altos volume de produção e produtividade. As máquinas transfer são dispostas em sequência, onde cada uma realiza várias etapas de usinagem e retificação nos blocos dos compressores, como furação e rosqueamento de furos e faces, conferindo a forma final do bloco. Após as máquinas transfer, os blocos vão para o processo de brunimento precidor, que também tem suas máquinas ordenadas em sequência, no qual cada uma realiza uma operação de brunimento a fim de garantir a qualidade superficial do cilindro dos blocos. Depois das máquinas de brunimento, os blocos seguem o fluxo e vão para a máquina de lavagem. A Figura 13 exemplifica essa linha de produção com detalhes e informações.

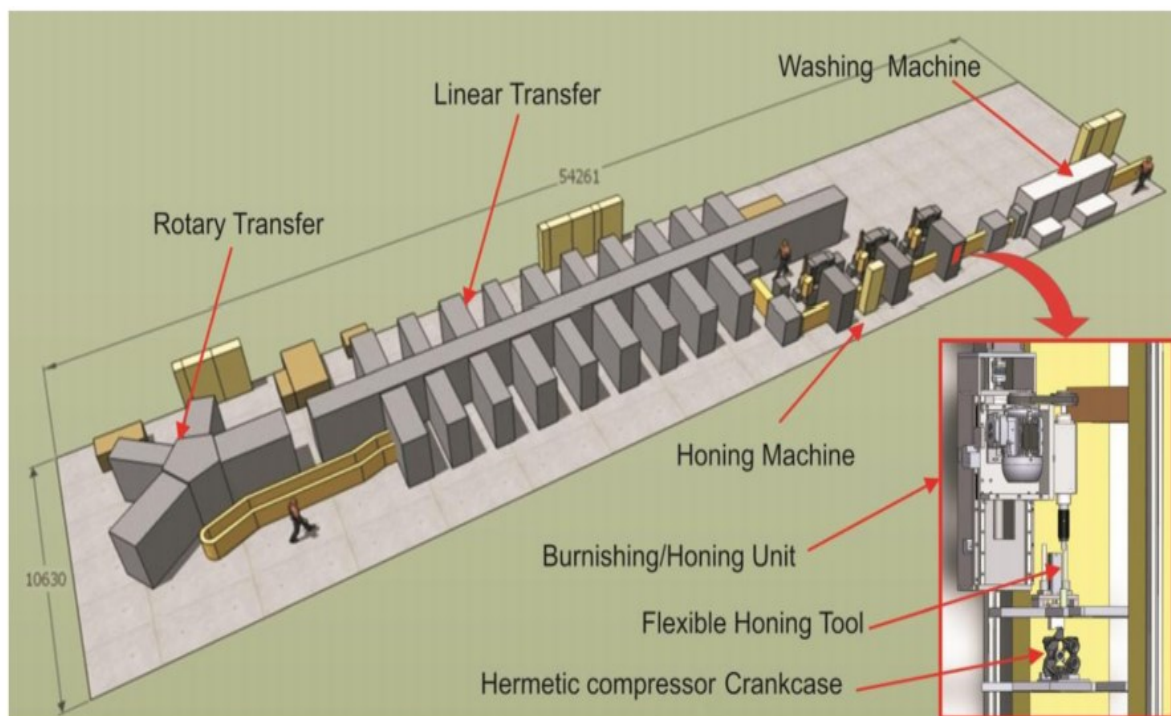


Figura 13: Linha típica de produção de compressores herméticos com máquinas Rotary Transfer e Linear Transfer, máquinas brunidoras e máquina de lavagem. Em detalhe, a unidade adicional de brunimento flexível, com a ferramenta *Flex-Hone* brunindo um bloco de compressor hermético (BARROS et al., 2020).

Uma característica importante dessa linha de produção é que neste sistema a produtividade é independente do número de etapas de usinagem, retificação e brunimento realizadas ao longo do processo. O fator determinante do exemplo acima, é garantir que todas as operações das máquinas estejam sincronizadas para não afetarem no tempo ciclo do processo, por isso a disposição dessas máquinas em sequência é de grande importância para seu funcionamento. E, apesar do elevado número das operações de usinagem dessa linha de produção, seu tempo ciclo de processo continua o mesmo, permitindo adicionar operações de usinagem que agreguem valor ao produto, desde que essas sejam realizadas no mesmo tempo ciclo da linha.

3.2.1 Etapas do Brunimento

Neste trabalho, foi estabelecido que o processo de brunimento precisor do cilindro do bloco do compressor será realizado em cinco etapas. No processo de brunimento, a peça recebe o acabamento superficial exigido pelas tolerâncias dimensionais e geométricas do projeto. No respectivo caso, o cilindro passará pelas etapas de desbaste, pré-acabamento, acabamento, outra etapa de desbaste e por fim, outra de acabamento, a fim de alcançar as

tolerâncias finais. Com as 5 etapas concluídas, a peça está pronta para seguir o fluxo da linha de produção. O fluxograma destas etapas é apresentado na Figura 14.

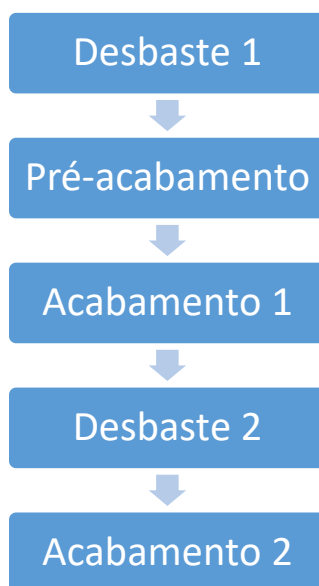


Figura 14: Fluxograma do processo de Brunimento Precidor. (O AUTOR, 2020).

Para cada etapa de brunimento precidor é disponibilizado uma máquina brunidora em separado. Assim, uma máquina realiza a operação de desbaste 1, outra a de pré-acabamento e assim por diante.

Também cada máquina realiza sua operação em um tempo pré-determinado a fim de garantir a sincronização e não interferência no tempo ciclo da linha de produção. Na Figura 15, é apresentado o layout das máquinas brunidoras da linha.

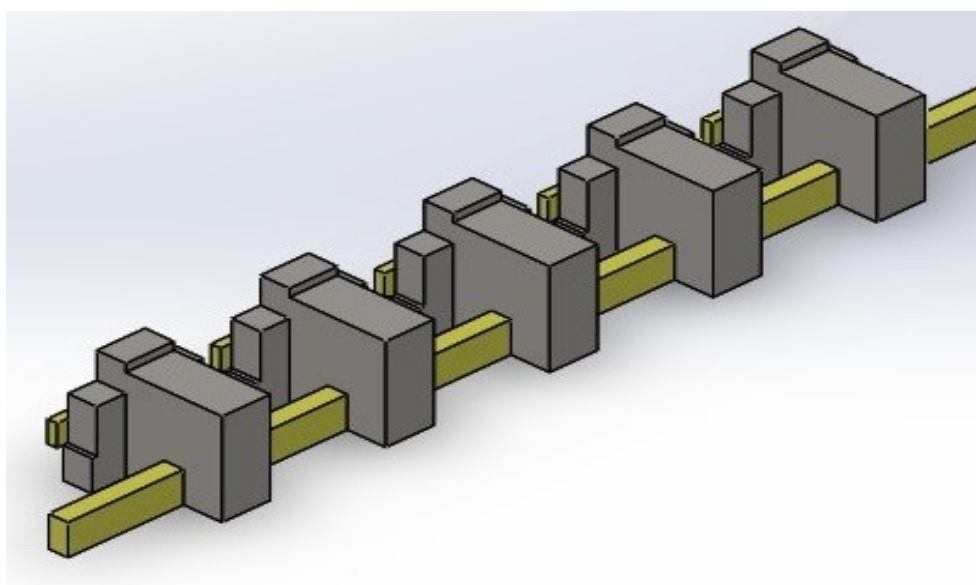


Figura 15: Layout da linha de produção das máquinas de brunimento precidor. (O AUTOR, 2020).

3.2.2 Máquinas brunidoras

Para a realização das etapas de brunimento precidor foram utilizados 5 exemplares da brunidora CNC tipo honing vertical, modelo SV-2400 series, fabricado pela Sunnen Products Company (Figura 16), dispostos em sequência na linha de produção. A máquina conta com uma velocidade de fuso máximo de 600 rpm e potência do motor do eixo de 7,5 kW e um sistema de avanço rotativo combinado com as ferramentas que proporcionam furos extremamente precisos e de qualidades superiores



Figura 16: Brunidora tipo honing vertical SV-2400 series (DIRECT INDUSTRY, 2020).

3.2.3 Ferramentas Brunimento Precidor

No caso do compressor recíproco alternativo hermético utiliza-se para o brunimento a ferramenta chamada de brunidor precidor, que possibilita atender a tolerâncias de forma e dimensionais. Como dito anteriormente, o processo de brunimento é dividido em 5 etapas, sendo 3 destas (desbaste 1, pré-acabamento e acabamento 1) realizadas com brunidor precidor reto e as outras 2 (desbaste 2 e acabamento 2) com brunidor precidor cônico. A vida útil das pedras abrasivas dessas ferramentas é de brunir 3000 blocos cada.

A escolha de pedras abrasivas para o brunimento traz inúmeros benefícios para todo o processo de usinagem, visto que são eficientes e possuem uma vida útil considerável. São utilizadas no desbaste, pré-acabamentos e acabamentos do brunimento, garantindo eficiência e maior durabilidade da ferramenta. A Figura 17 mostra dois precidores com pedras abrasivas realizando a operação de brunimento nos componentes de um bloco do compressor hermético.

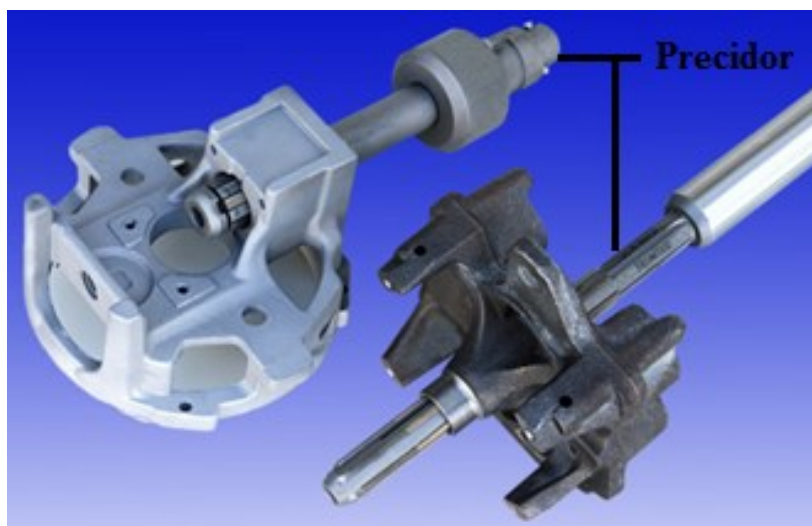


Figura 17: Ferramentas precidoras brunindo componentes de um compressor hermético (BRUNITEC, 2020).

3.2.4 Fluido Lubrificante

O lubrificante escolhido para a operação é o Polisynthe BR 5, da marca CADIUM, que é recomendado para o brunimento de peças de ferro fundido. É um fluido sintético desenvolvido para brunimento com aditivos de alta performance antioxidante, antiespumante e extrema pressão. As principais características do fluido são: poder de lubricidade, estabilidade à oxidação, bom acabamento superficial, baixa formação de névoa e atende a norma NR-15, sobre atividades e operações insalubres.

Apesar de um fluido sintético não ter o melhor desempenho para o brunimento, a escolha deste se deve principalmente por atender a NR-15 e sua baixa formação de névoa, garantido segurança aos operadores das máquinas que trabalham em exposição ao fluido. Na Tabela 02 a seguir, as informações técnicas do óleo são apresentadas.

Tabela 02: Propriedades Físico Químicas do fluido Cadium Polisynthe BR 5.

Propriedade	Valor
Densidade 20/4, g/cm³	0,805
Viscosidade Cin. 40°C, cSt	6,0
Cor Visual	Incolor
Aparência Visual	Líquido límpido

Fonte: (CADIUM, 2020)

3.3 Brunimento Flexível

Com o intuito de adicionar o processo de brunimento flexível na linha de produção destacada anteriormente, foi analisado quantos ciclos e qual o tempo necessário para execução do brunimento flexível. De acordo com Barros (2018), o brunimento flexível realizado em 3 ciclos com uma ferramenta de 800 mesh alcança resultados similares ao do brunimento platô, com um custo relativamente menor. Para o tempo de cada ciclo, deve-se destacar a necessidade da operação gastar a mesma quantidade de tempo do que os outros processos da linha de produção, a fim de sincroniza-los.

Para a realização do brunimento flexível, foi utilizado três unidades de escovamento de brunimento flexível, instaladas em uma única estação de usinagem. Essa estação de brunimento flexível foi incorporada na linha de produção para receber os blocos dos compressores assim que saírem do processo de brunimento precisor, para realizar as operações de brunimento flexível e posteriormente enviá-los à máquina de lavagem.

Cada unidade de escovamento da brunidora realizará um ciclo de brunimento flexível, permitindo a correta sincronização da linha. A Figura 18 apresenta o novo layout da linha de produção com a instalação da estação de brunimento flexível após os processos de brunimento precisor.

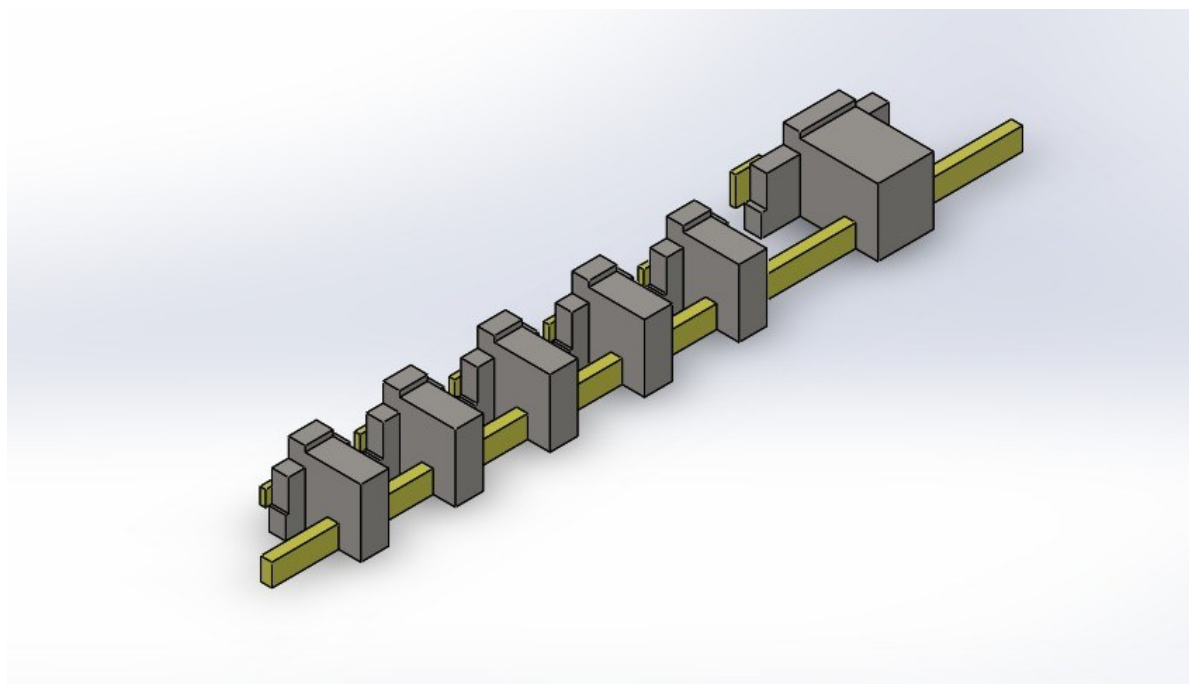


Figura 18: Novo layout da linha de produção com a instalação da estação de brunimento flexível após as máquinas de brunimento precisor. (O AUTOR, 2020).

No processo de brunimento flexível o cilindro do bloco do compressor cilindro passa por três ciclos de brunimento flexível, sendo esta a última operação de todo o processo de acabamento superficial. Nos subtítulos a seguir, é mostrado os materiais e métodos aplicados na linha de brunimento flexível.

3.3.1 Máquina de Brunimento Flexível

A estação de escovamento da brunidora NAGEL foi projetada pela empresa ITRA Automação. A máquina conta com uma potência elétrica de 5,5 kW e três mesas brunidoras verticais que atendem as necessidades de qualidade e posicionamento do cilindro do bloco do compressor hermético. Abaixo, a Figura 19 apresenta a estação de escovamento da brunidora responsável pelo brunimento flexível. Em seguida, as Figuras 20 e 21 apresentam o layout de uma escovadora da brunidora em dois ângulos de visão, simulando a operação de brunimento flexível em um cilindro do bloco do compressor hermético.

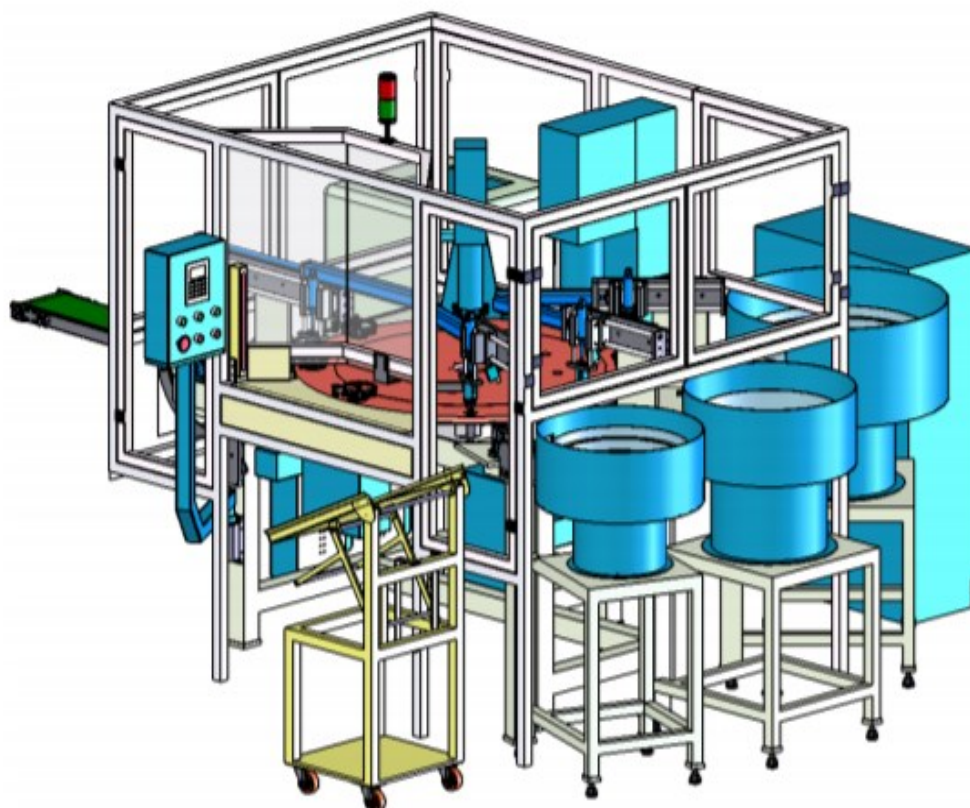


Figura 19: Estação de escovamento da brunidora NAGEL. (ITRA, 2010).

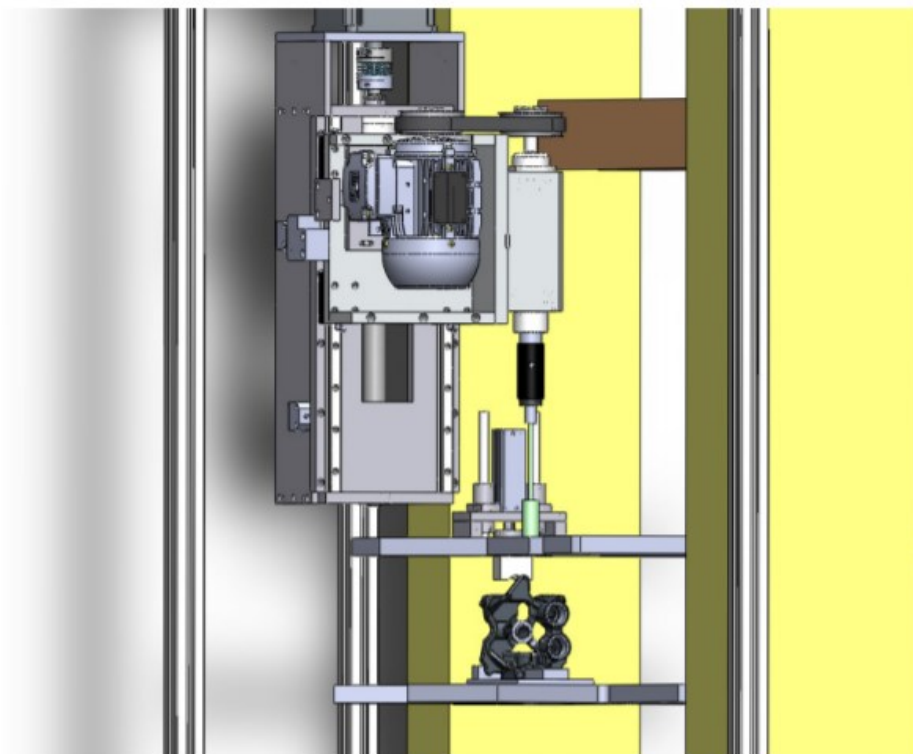


Figura 20: Layout 1 da escovadora da brunidora, realizando o brunimento em um bloco de compressor (ITRA, 2011).

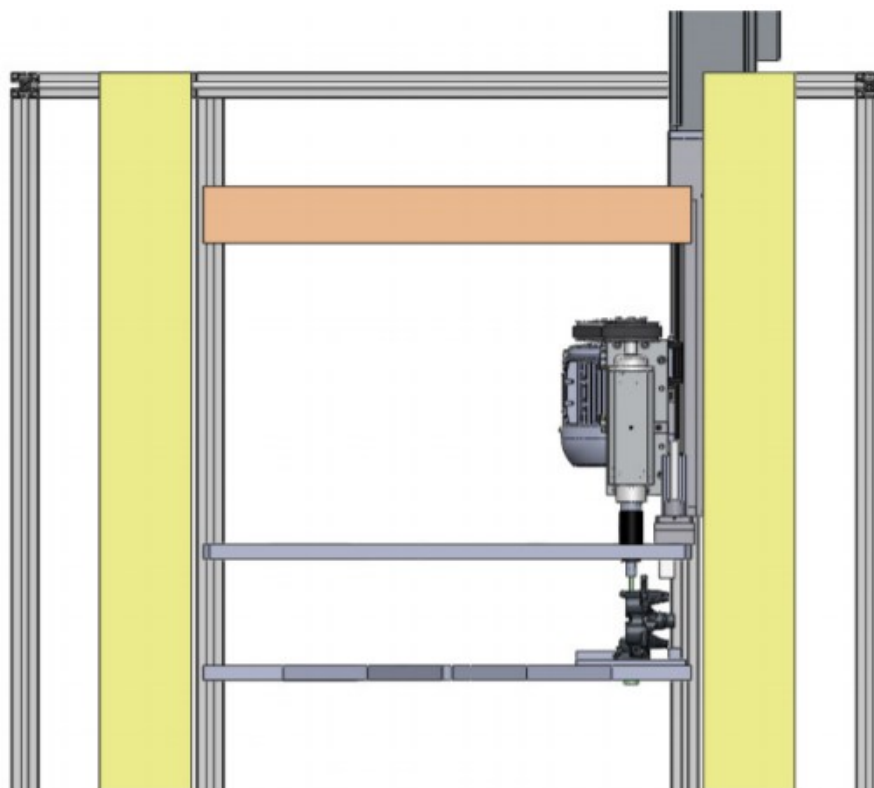


Figura 21: Layout 2 da escovadora da brunidora, realizando o brunimento em um bloco de compressor (ITRA, 2011).

3.3.2 Ferramentas de Brunimento Flexível

A ferramenta utilizada no brunimento flexível é uma *BC Flex-Hone*, fornecida pela Brush Research Manufacturing. Seus grãos abrasivos são de carboneto de silício (SiC) e seu tamanho de grão de 800 mesh. São projetados para realizar acabamentos de superfícies e remoção de rebarbas em furos transversais. A Figura 22 apresenta a *Flex-Hone* do processo.



Figura 22: *Flex-Hone* utilizada no processo (BRUSHRESEARCH, 2020).

A vida útil da ferramenta foi definida pela média entre dois trabalhos científicos que pesquisaram a vida dessas ferramentas. No trabalho de Arantes (2011), foi realizado um estudo sobre a vida das ferramentas *Flex-Hone* em bancada experimental na planta da EMBRACO, medindo o tempo de vida útil com operações em cilindros de compressores herméticos. Foi comprovado nos testes de vida útil em bancada, um resultado com muito potencial, chegando à uma vida da ferramenta de até 1000 operações em cilindros. Cada operação consiste em um movimento de 6 golpes realizados em 7 segundos.

O trabalho de Faggion (2016) sobre a análise da vida útil das ferramentas *Flex-Hone*, concluiu que a vida útil para o brunidor flexível é de 351 a 421 operações em cilindros de compressores, porém, considerou o valor de 351 operações a fim de ter uma maior segurança em relação ao padrão de fabricação que a ferramenta atenderia. A autora levou em consideração que cada operação consistia em um movimento de 6 golpes realizados em 21 segundos. Faggion (2016) conseguiu resultados mais próximos da realidade, visto que o trabalho de Arantes (2011) foi realizado uma bancada experimental, alcançando resultados mais otimizados. Então, com esses dois valores de referência, foi considerado um valor mais próximo da realidade e definido uma vida útil para a *Flex-Hone* de 425 operações em cilindros dos blocos de compressores.

3.3.3 Fluido Lubrificante

O fluido lubrificante utilizado na operação de brunimento flexível é o mesmo utilizado nas operações de brunimento precisor. O Polisynthe BR 5, da marca CADIUM, vai garantir as mesmas qualidades e características para o processo de brunimento flexível, conservando poder de lubricidade, estabilidade à oxidação, bom acabamento superficial, além de atender a NR15 e proteger a saúde dos operadores. A Tabela 02 apresentada acima, mostra as informações técnicas do lubrificante.

CAPÍTULO 4

SHOULD COST E RESULTADOS

Por meio do estudo de caso e de engenharia reversa, foram determinados os valores de todo o processo de brunimento precidor e os valores gastos caso a operação de brunimento flexível seja implantada na linha de produção, analisando o custo final para a fabricação do bloco de um compressor hermético. O valor do custo por hora, preço unitário de cada operação de brunimento, tempo ciclo e os insumos necessários para que o processo seja realizado são apresentados a seguir.

4.1 Tempo do processo de Brunimento Precidor

Para cada uma das 5 operações de brunimento precidor, foi realizado um estudo para estimar o tempo gasto. Como estamos abordando uma máquina transfer, com uma velocidade de produção absurda e sincronizada, as máquinas que realizam o brunimento devem conter a mesma velocidade de linha, assim, temos um tempo gasto para cada operação de brunimento fixada em 09 segundos. A Tabela 03 apresenta os tempos em segundos para cada processo do brunimento precidor.

Tabela 03: Tempo relacionado ao processo de brunimento precidor.

Processo	Tempo Gasto (s)
Brunidor reto – Desbaste (1 ciclos)	9,00
Brunidor reto – Pré-acabamento (1 ciclos)	9,00
Brunidor reto – Acabamento (1 ciclos)	9,00
Brunidor cônico – Desbaste (1 ciclos)	9,00
Brunidor cônico – Acabamento (1 ciclos)	9,00
TEMPO TOTAL	9,00

Fonte: (O AUTOR, 2020).

O tempo gasto estimado para brunir uma peça por completo seria a soma total do tempo das 5 etapas, porém, a cada etapa que um bloco do compressor avança, outro vem em seguida realizando o mesmo caminho, portanto, a cada 09 segundos temos um cilindro de bloco de compressor brunido pelas 5 etapas. Esse tempo de produção corresponde a uma capacidade de brunimento de 400 blocos por hora. Através do tempo de operação da linha, é possível determinar a quantidade diária e anual dos cilindros que são brunidos. Para atender a metodologia de *Should Cost*, os cálculos levaram em consideração a operação de brunimento precidor realizada em dez anos, funcionando somente em dias úteis, em dois turnos de 16 horas diárias.

Para estimar a quantidade de cilindros que serão brunidos durante dez anos de operação, foi levado em consideração as perdas de produtividade da linha, como as falhas de manutenção, as mudanças de turnos dos operadores, tempo de *setup* das máquinas e a substituição de ferramentas desgastadas, com isso, foi estimado que a produtividade do processo gira em torno de 80%, como nos padrões industriais. A seguir, é apresentado as equações para os cálculos do brunimento diário e anual do processo.

$$\text{Brunimento diário} = \text{Peças por hora} \times \text{Horas trabalhadas(dia)} \times \text{Rendimento} \quad (01)$$

$$\text{Brunimento diário} = 400 \times 16 \times 0,80 \cong 5.120 \text{ cilindros brunidos} \quad (01)$$

$$\text{Brunimento em dez anos} = \text{Brunimento diário} \times \text{Dias úteis (ano)} \times 10 \text{ anos} \quad (02)$$

$$\text{Brunimento em dez anos} = 5.120 \times 252 \times 10 \cong 12.902.400 \text{ cilindros brunidos} \quad (02)$$

Com o rendimento de produtividade da linha em 80%, em um dia são brunidos 5.120 cilindros de bloco dos compressores, e em dez anos, a capacidade de brunir é de 12.902.400 cilindros pelo processo de brunimento precidor.

4.2 Custos relacionados ao processo de Brunimento Precidor do cilindro do bloco do compressor hermético.

Para o processo de brunimento precidor foi calculado os custos relacionados ao pleno funcionamento dessa atividade. Nos custos da operação, foi considerado todos os fatores que impactam nos valores do brunimento. Os custos levantados apresentaram a mão de obra direta, os custos com ferramentas brunidoras, gastos com manutenção, insumos (flúidos lubrificantes), depreciação do maquinário e o gasto com energia elétrica. A seguir, a Tabela

04 apresenta os detalhes das despesas relacionadas aos custos da operação de brunimento precidor.

Tabela 04: Custos relacionados à atividade de brunimento precidor

Brunimento Precidor	Custo em dez anos (R\$)
Ferramentas	R\$ 8.710.000,00
Lubrificantes	R\$ 5.883.540,00
Manutenção	R\$ 4.375.000,00
Mão de obra	R\$ 821.408,00
Depreciação	R\$ 1.750.000,00
Energia Elétrica	R\$ 764.174,50
TOTAL	R\$ 22.304.122,50
Horas trabalhadas (10 anos)	40160 horas
Custo/Hora trabalho	R\$ 555,38

Fonte: (O AUTOR, 2020).

Os gastos referentes as ferramentas utilizadas na operação foram calculadas a partir da aquisição das ferramentas precidor e da vida útil das pedras brunidoras, definidas pela quantidade de cilindros brunidos. Assim como, os gastos com lubrificantes foram calculados na quantidade de litros, de uma emulsão de óleo lubrificante sintético, necessários para realizar o brunimento dos cilindros em dez anos, também considerando as perdas dessa emulsão lubrificante em transformação de névoa e perdas operacionais.

Os valores de mão de obra, são referentes a dois operadores de máquina, um em cada turno, trabalhando 8 horas por dia, com todos os benefícios e impostos devidamente quantificados. Já a manutenção, foi levado em consideração o valor gasto em 10 anos para manutenções preditivas, preventivas e possíveis manutenções corretivas nas 5 máquinas brunidoras.

O gasto com energia elétrica foi calculado a partir da potência elétrica da máquina, de suas horas de funcionamento e o valor em reais do kWh. Já a depreciação das máquinas, estima-se uma perda de 10% do valor total do maquinário ao ano.

De acordo com os valores estimados, o total gasto na operação de brunimento precidor em dez anos, é de R\$ 22.304.122,50. As horas trabalhadas foram calculadas a partir da operação de dez anos, operando somente em dias úteis, por 16 horas ao dia, totalizando 40160 horas trabalhadas.

Com isso, o custo do brunimento por hora trabalhada equivalente a R\$ 555,38. Nota-se que os gastos com as ferramentas e lubrificantes são os de maior influência no valor final, aproximadamente 39% e 26% respectivamente, como mostra a Figura 23 a seguir.

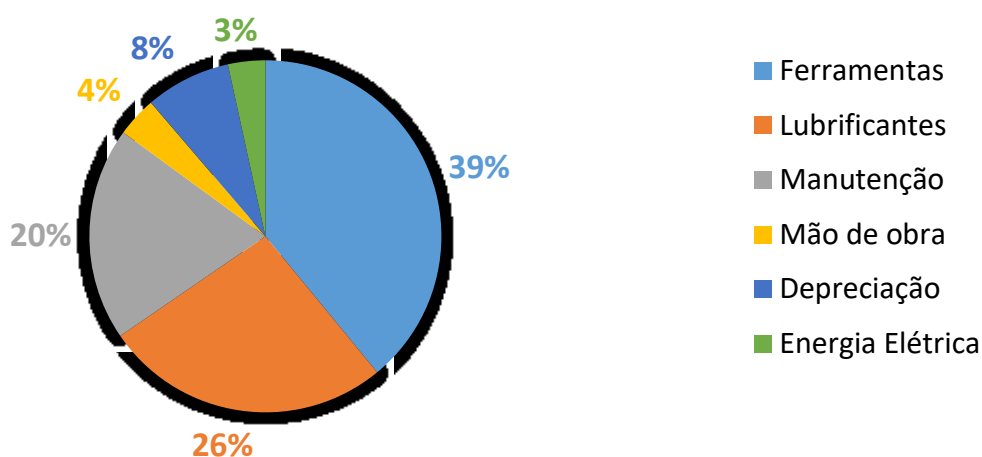


Figura 23: Gráfico de proporção dos custos de brunimento precidor (O AUTOR, 2020).

Ambos os fatores podem ser justificados pelo enorme volume de produção da linha, pois estes são dependentes dos números de produção. Destacando as ferramentas, a justificativa para o elevado custo se dá pelo enorme volume de produção, necessitando trocas de ferramentas mais frequentes, pois a vida útil é definida pelo brunimento de 3.000 cilindros, e como apresentado anteriormente, em um dia brune-se 5.120 cilindros. Já nos gastos com lubrificantes, segue a mesma lógica, necessitando de uma grande quantidade de litros de emulsão para a realização da operação de brunimento precidor em dez anos.

Nota-se um fenômeno de automação interessante no desdobramento dos custos. Os custos gastos diretamente com a realização do brunimento são os de maior influência no valor final. Isso se deve ao fato de que o brunimento precidor é realizado em um volume tão grande que seus gastos com os meios de produção tornam-se mais relevantes no valor final.

4.3 Custo unitário da operação de Brunimento Precidor

Para encontrar o valor do custo unitário da operação de brunimento precidor, foi dividido o valor do custo da hora de trabalho da máquina, visto no item 4.2, pela quantidade

de peças brunidas por hora, do item 4.1. Este custo unitário representa o valor embutido em cada compressor alternativo recíproco hermético produzido em dez anos.

$$\text{Custo unitário por compressor} = \frac{\text{Custo da hora de trabalho máquina}}{\text{Quantidade de peças brunidas por hora}} \quad (03)$$

$$\text{Custo unitário por compressor} = \frac{555,38}{400} \cong R\$ 1,39 \quad (03)$$

O custo unitário da operação total de brunimento precidor realizado pelas máquinas brunidoras equivale a R\$ 1,39 em cada compressor alternativo recíproco hermético produzido.

4.4 Custo de fabricação do bloco do compressor hermético.

Conforme citado anteriormente, foi analisado o impacto financeiro dos processos de brunimento nos custos de transformação do bloco dos compressores herméticos. O custo de transformação do bloco é composto pela operação de brunimento precidor acrescido de todo o processo restante de fabricação.

Para as operações de brunimento precidor da superfície desses cilindros de compressores, foi estimado os custos e o tempo necessário para todo o processo. Agora, deve-se analisar os outros fatores que compõe toda a transformação do bloco do compressor hermético. Estimando o custo total para a fabricação do bloco, analisa-se toda a estrutura de etapas de produção que estão envolvidas.

Então, levantado os custos do processo de fabricação (sem o brunimento), foi analisado os gastos com os processos de usinagem, como furação e rosqueamento, gastos com retificação, lavagem dos blocos e inspeções de qualidades. A Tabela 05 apresenta o custo total utilizado para a transformação do bloco do compressor alternativo recíproco hermético.

Tabela 05: Custo de transformação do bloco do compressor hermético.

Descrição	Custo (R\$)
Fabricação (usinagem, retificação, lavagem, inspeções de qualidade).	R\$ 20,09
Brunimento Precidor	R\$ 1,39
Transformação Total	R\$ 21,48

De acordo com o apresentado na Tabela 05, o valor total de fabricação de cada bloco do compressor alternativo recíproco hermético produzido na linha é de R\$ 21,48. O processo de brunimento precisor equivale a R\$ 1,39 em cada compressor, representando 6,47% do custo total de transformação do bloco. Esses valores englobam todas as despesas para a transformação do produto, finalizado para ir para a montagem e etapas seguintes.

4.5 Tempo do processo de brunimento flexível

A partir dos estudos de Faggion (2016) e Arantes (2011) é possível estimar o tempo para cada ciclo de operação do brunimento flexível em 09 segundos, atendendo a necessidade do tempo de produção da máquina transfer e das brunidoras. A Tabela 06 apresenta o tempo necessário para o funcionamento do processo de brunimento flexível.

Tabela 06: Tempo relacionado ao processo de brunimento flexível.

Processo	Tempo Gasto (s)
Brunimento flexível (1 ciclo)	9,00
Brunimento flexível (1 ciclo)	9,00
Brunimento flexível (1 ciclo)	9,00
TOTAL	9,00

Fonte: (O AUTOR, 2020).

Para alcançar os resultados do estudo de Barros (2018), cada um dos 3 ciclos, ou passes, do processo de brunimento flexível será realizado em 09 segundos, divididos em três unidades de brunimento flexível em série. Assim, a cada 09 segundos um cilindro do bloco é brunido por brunimento flexível, não alterando a velocidade e tempos de produção.

4.6 Custos relacionados ao processo de Brunimento Flexível do cilindro do bloco do compressor hermético

Para o processo de brunimento flexível foi calculado os custos relacionados ao pleno funcionamento dessa atividade. As mesmas categorias de custos da operação de brunimento precisor foram levantados para a operação de brunimento flexível. Na página seguinte, a

Tabela 07 apresenta os detalhes das despesas relacionadas aos custos da operação de brunimento flexível.

Tabela 07: Custos relacionados à operação de brunimento flexível.

Brunimento flexível	Custo em dez anos (R\$)
Ferramentas	R\$ 16.270.531,20
Lubrificantes	R\$ 3.530.124,00
Manutenção	R\$ 1.094.287,50
Mão de obra	R\$ 821.408,00
Depreciação	R\$ 437.715,00
Amortização das 3 unidades de brunimento flexível	R\$ 437.715,00
Energia Elétrica	R\$ 339.660,00
TOTAL	R\$ 22.931.440,70
Horas trabalhadas	40160 horas
Custo/Hora trabalho	R\$ 571,00

Fonte: (O AUTOR, 2020).

Analisando os dados da Tabela 07, nota-se que os gastos referentes as ferramentas utilizadas na operação foram calculadas a partir da vida útil das *Flex-Hone*, estabelecido na capacidade de operar 425 ciclos. O gasto com lubrificantes foi baseado em suas perdas e na quantidade de cilindros brunidos em dez anos, seguindo a mesma lógica de lubrificantes na operação de brunimento precidor.

Os valores de mão de obra, são referentes à dois operadores de máquina, um em cada turno, trabalhando 8 horas por dia, com todos os benefícios e impostos embutidos. Já a manutenção, foi levado em consideração o valor em dez anos gastos para manutenções preditivas, preventivas e possíveis manutenções corretivas nas unidades de brunimento flexível.

Os gastos com energia elétrica extraímos da potência elétrica da máquina, de suas horas de funcionamento e o custo do kWh. Já para depreciação da máquina, foi estimado uma perda de 10% do valor total do maquinário ao ano. A amortização da compra das unidades de brunimento flexível também é considerada em 10 anos.

De acordo com os valores estimados, o total gasto na operação de brunimento flexível em dez anos, é de R\$ 22.931.440,70. Com isso, o custo do brunimento por hora trabalhada equivalente a R\$ 571,00, onde nota-se que os gastos com as ferramentas *Flex-Hone* são os de esmagadora influência no valor final, de aproximadamente 71%, como mostra a Figura 24.

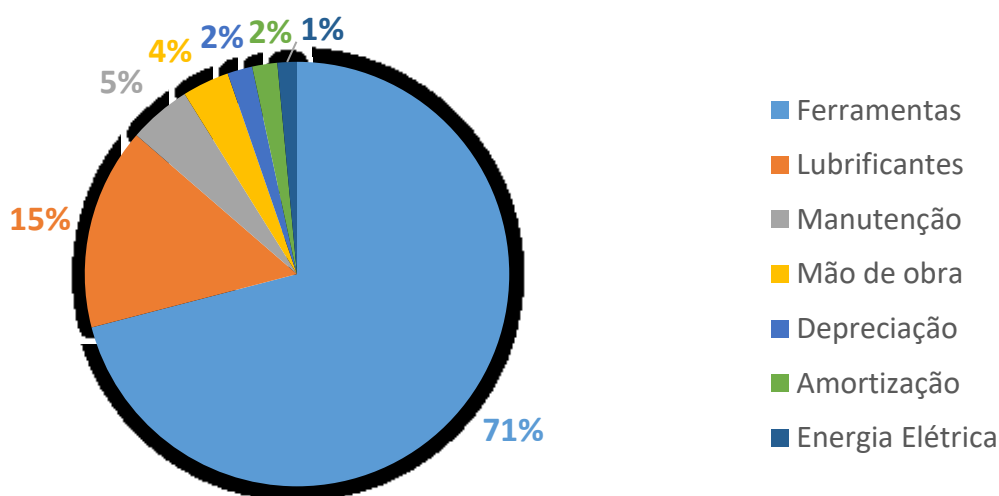


Figura 24: Gráfico de proporção dos custos de brunimento flexível (O AUTOR, 2020).

Essa discrepância do valor gasto com as ferramentas *Flex-Hone*, também em comparação com as ferramentas precidor, sendo de quase o dobro do custo, é justificado pela vida útil inferior da ferramenta *Flex-Hone*, estabelecida em 425 operações, bem diferente da capacidade de realização de 3.000 operações com a ferramenta precidor. Isso é um fator muito influente no custo final do processo de brunimento flexível, que exige uma frequência alta de troca da ferramenta.

4.7 Custos e horas gastas com a adição do brunimento flexível na linha de brunimento precidor

Abordando o tempo total dos processos, a seguir, a Tabela 08 apresenta a união dos tempos gastos em ambos os processos, considerando a adição do processo de brunimento flexível.

Tabela 08: Tempo total dos processos de brunimento.

Processo	Tempo Gasto (s)
Brunimento Precidor (5 etapas)	9,00
Brunimento flexível (3 ciclos)	9,00
TOTAL	9,00

Fonte: (O AUTOR, 2020).

Como foi visto anteriormente, devido à configuração da linha de produção da máquina transfer, das brunidoras precidoras e das unidades de brunimento flexível, não houve alteração no tempo total de brunimento da linha de produção. Ou seja, o brunimento de 400 cilindros de blocos de compressores por hora é mantido, com um cilindro brunido a cada nove segundos, mesmo adicionando o processo de brunimento flexível na linha. Com o rendimento de produtividade da linha em 80%, como nos padrões industriais, em um dia são brunidos 5.120 cilindros de compressores, e em dez anos, tem a capacidade de brunir 12.902.400 cilindros pelo processo de brunimento precidor e brunimento flexível.

A Tabela 09 apresenta os custos por horas trabalhadas do processo de brunimento precidor, do brunimento flexível e a junção dos valores, representando a adição do processo na linha de produção.

Tabela 09: Custo por hora dos processos de brunimento.

Processo	Custo Envolvido
Brunimento Precidor	R\$ 555,38
Brunimento flexível	R\$ 571,00
TOTAL	R\$ 1.126,38

Fonte: (O AUTOR, 2020).

Pode-se observar que o custo por hora trabalhada do brunimento flexível é maior do que o do brunimento precidor, respectivamente R\$ 571,00 e R\$ 555,38. Esse valor representa um aumento de 103% no custo por hora trabalhada do processo de acabamento superficial, totalizando em R\$ 1.126,38 a hora.

4.8 Custo unitário com adição da operação de Brunimento Flexível

Para encontrar o valor do custo unitário da operação de brunimento precidor com brunimento flexível, foi dividido o valor do custo da hora de trabalho total pela quantidade de peças brunidas por hora, vistos no item 4.7. Este custo unitário representa o valor embutido em cada compressor alternativo recíproco hermético produzido durante os anos.

$$\text{Custo unitário por compressor} = \frac{\text{Custo da hora de trabalho máquina}}{\text{Quantidade de peças brunidas por hora}} \quad (04)$$

$$\text{Custo unitário por compressor} = \frac{1126,38}{400} \cong \text{R\$ } 2,82 \quad (04)$$

O custo unitário da operação de acabamento superficial dos cilindros, utilizando o brunimento flexível após o brunimento precidor equivale a R\$ 2,82 em cada compressor alternativo recíproco hermético produzido. Assim, o custo da operação de brunimento flexível equivale a R\$ 1,43, representando um aumento de 103% no custo da operação de brunimento dos cilindros.

4.9 – Custo de fabricação do bloco do compressor hermético com Brunimento Flexível

Com o processo de brunimento flexível adicionado, é encontrado um novo custo unitário para o processo de brunimento da superfície. Todos os custos calculados anteriormente, no item 4.4, relacionados ao processo de fabricação se mantêm os mesmos, pois não houve alterações em nenhum deles. A Tabela 10 apresenta o custo total utilizado para a fabricação do bloco de compressores herméticos com a adição da operação de brunimento flexível no cilindro do compressor.

Tabela 10: Custo de transformação do bloco do compressor com a operação de brunimento flexível

Descrição	Custo (R\$)
Fabricação (usinagem, retificação, lavagem, inspeções de qualidade).	R\$ 20,09
Brunimento precidor	R\$ 1,39
Brunimento flexível	R\$ 1,43
Transformação Total	R\$ 22,91

De acordo com o apresentado na Tabela 10, o novo valor total de transformação do bloco de cada compressor alternativo recíproco hermético será de R\$ 22,91. A operação de brunimento flexível equivale a R\$ 1,43, em cada compressor, representando 6,24% do custo total. Esses valores englobam todas as despesas para a transformação do produto, estando pronto para ir para a montagem e etapas seguintes.

A Figura 25 apresenta as proporções das operações de brunimento flexível e brunimento precidor no processo de transformação do bloco do compressor.

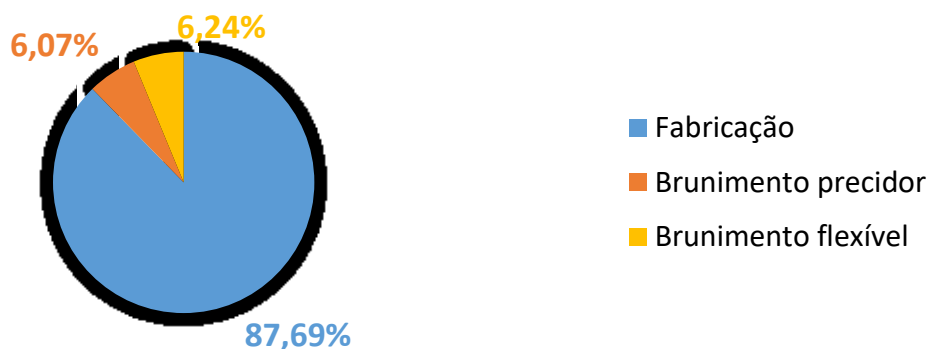


Figura 25: Gráfico de proporção dos custos de transformação do bloco (O AUTOR, 2020).

4.10 – Comparação dos custos de transformação do compressor

Com o objetivo de analisar a viabilidade econômica da implantação da linha de brunimento flexível, foi comparado os gastos destinados para cada cenário. É comparado os custos de transformação dos blocos dos compressores com processo de brunimento flexível e sem o processo de brunimento flexível. A Tabela 11 a seguir, apresenta os valores destinados para cada modo de fabricação.

Tabela 11: Comparação dos custos de transformação dos blocos.

Comparação dos custos de transformação dos blocos			
Transformação	Custos de fabricação (R\$)	Custos de brunimento (R\$)	Custo final (R\$)
Sem brunimento flexível	20,09	1,39	21,48
Com brunimento flexível	20,09	2,82	22,91

Fonte: (O AUTOR, 2020).

Analisando a tabela, nota-se que os custos de fabricação permanecem idênticos em ambos os processos, isso se deve pelo fato de que a operação de brunimento flexível não demanda nenhuma etapa ou processo adicional de fabricação. Por isso, os valores para os ambos os cenários são os mesmos.

Na coluna a seguir, são apresentados os custos destinados às operações de brunimento. No cenário sem brunimento flexível, o custo do brunimento precidor compõe a parcela total do montante, de R\$ 1,39 em cada compressor, representando cerca de 6,47% do custo final nesse cenário. No cenário de transformação com brunimento flexível, o valor destinado aos custos de ambos os processos de brunimento é de R\$ 2,82 em cada compressor, representando uma parcela de 12,31% do custo final de transformação, quase o dobro dos gastos em comparação ao percentual do cenário anterior de 6,47%.

Comparando os custos finais de transformação do bloco dos compressores herméticos nos dois cenários, o processo de brunimento flexível foi responsável por um aumento no valor final de 6,66% em cada unidade de bloco de compressor produzida na linha de produção. Esse valor monetário representa R\$ 1,43 por unidade, e é considerado relativamente pequeno perto de todos os outros gastos envolvidos, onde o valor total de R\$ 2,82 destinado para as operações de brunimento do cenário, já engloba as etapas de brunimento precidor, que custam R\$ 1,39. Assim, o processo de brunimento flexível se torna interessante nesse aspecto pois representa uma parcela relativamente pequena nos gastos envolvidos em relação ao custo final de transformação dos blocos.

Agora, analisando o valor de transformação final de todo o compressor hermético, este estando montado e pronto para ser enviado ao mercado, com todas as suas etapas e custos embutidos, esse valor de transformação é estimado em US\$ 20,00 ou R\$ 106,00 por unidade de compressor. Então, comparando com o processo de brunimento flexível, este equivale a 1,35% de todo o montante, ou seja, a adição do processo de brunimento flexível vai impactar em um aumento do custo do compressor em 1,35%.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Com base no *Should Cost* foi identificado vários fatores que influenciaram na formulação dos custos para fabricação e transformação de determinado produto. Após levantado desde os insumos mais básicos para as operações de brunimento até o custo de transformação final do bloco do compressor, entregou-se uma análise abrangente sobre o caso.

A partir do *Should Cost*, nota-se que os valores gastos com ferramentas são os que mais impactaram no custo da hora de trabalho em ambos os processos de brunimento, representando 39% no brunimento precisor e 71% no brunimento flexível, isso se deve ao fato da linha em questão ser muito produtiva e eficiente, onde os custos destinados à realização da atividade em si são os mais relevantes. Conclui-se o que pesquisas e estudos demonstram, que o brunimento é uma operação barata que contribui para a qualidade dimensional.

O custo final do compressor com operação de brunimento flexível em relação ao compressor sem brunimento flexível, apresentou um acréscimo de R\$ 1,43, que representou um aumento de 6,66% no valor do custo final de transformação do bloco. Já para o custo de transformação total do compressor, o brunimento flexível representou uma porcentagem de 1,35%, assim, em termos reais, pode-se concluir que o valor investido é justificável.

O processo de brunimento flexível, assim, se torna economicamente viável, pois o impacto financeiro da operação no preço do custo de transformação final é pequeno e ainda contribui com sua maior vantagem para os compressores, que é a melhora substancial das qualidades dimensionais e geométricas da superfície brunida, entregando um padrão superior de rugosidade e impactando diretamente na eficiência e vida útil do compressor.

Todas essas qualidades tornam-se ainda mais interessantes quando esse produto é enviado ao mercado, que apresenta diferenciais qualitativos com pouca diferença no preço de venda, onde tem-se um produto final muito vantajoso. Portanto, tanto pelas qualidades superficiais obtidas, quanto pelo valor agregado ao produto, pode-se afirmar que o processo de brunimento flexível é viável e agregará mais valor final ao compressor hermético.

CAPÍTULO 6

TRABALHOS FUTUROS

Para os trabalhos futuros sobre o assunto deste trabalho, pode-se utilizar as sugestões propostas a seguir:

1. Análise *Should Cost* para avaliar os impactos financeiros na implantação do processo de brunimento flexível em outros tipos e modelos de compressores;
2. Análise *Should Cost* para avaliar a implantação do processo de brunimento flexível em cilindros de motores térmicos;
3. Realizar a análise *Should Cost* na adaptação de uma unidade de brunimento flexível em uma máquina de brunimento precisor, conforme demonstrado na Figura 13;
4. Utilizar a análise *Should Cost* apresentada no trabalho, para adaptá-la e adequá-la, a fim de criar uma análise de custos para qualquer processo ou produto de interesse.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRADORES. *Should Cost*: Uma poderosa ferramenta para abordar seus fornecedores. 2016. Disponível em: < <https://administradores.com.br/artigos/should-cost-uma-poderosa-ferramenta-para-abordar-seus-fornecedores>>. Acesso em: 27/08/2020.

ANDRETTA, Claudio da Silva. *Brunimento para recuperação das camisas de pistão dos motores de combustão interna*. 2001. [s.n.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

ARANTES, L. J.; FERNANDES, K. A.; SCHRAMM C.R. et al. *The roughness characterization in cylinders obtained by conventional and flexible honing processes*. Int J Adv Manuf Technol: 1-14. 2017

ARANTES, L.J. *Brunimento flexível de cilindros de compressores herméticos – parte 2: estudo de vida das ferramentas flexíveis*. 2011. Relatório de Engenharia – Embraco, Joinville.

ARAUJO, G. L. *Uma contribuição ao brunimento de precisão*. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade estadual de Campinas, Campinas.

BÄHRE, D.; SCHMITT, C.; MOOS, U. *Analysis of the differences between force control and feed control strategies during the honing of bores*. 5th CIRP Conference on High Performance Cutting 2012, 2012.

BARROS, G. H. C. *Brunimento flexível de cilindros de blocos de compressores herméticos: avaliação do efeito da granulometria e do número de golpes da ferramenta na rugosidade*. 2018. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

BARROS, G. H. C. et al. *Effect of grain size and number of strokes on Rk parameters and emptiness coefficient in honing process*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2019, 18p.

BARROS, G. H. C. *Brunimento Ferramenta Precidor*. 2020. Estudo dirigido – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

BARTON, K.; HAASIS, G. Characteristics of Honing. In: *Understanding the Basics of Honing*. Technical publication of SME – Society of Manufacturing Engineers, 1993.

BRUNITEC. *Brunimento de componentes de compressores de geladeiras*. Disponível em: <<https://www.brunitec.com.br/ferramenta-de-brunir-componentes-de-compressores-de-geladeiras.php>>. Acesso em: 18/09/2020.

BRUNITEC. *Brunimento de mancal de virabrequim e eixo de comando*. Disponível em: <<https://www.brunitec.com.br/ferramenta-de-brunir-mancal-de-virabrequim-e-eixo-de-comando.php>>. Acesso em 22/08/2020.

BRUSH RESEARCH. *Standard small diameter flex-hone*. Disponível em: < <http://www.brushresearch.com/brushes.php?c1=1>>. Acesso em: 19/09/2020.

BRUSH RESEARCH. *Ferramentas Flex Hone*. Disponível em: < <http://www.brushresearch.com.br/produtos/ferramentas-flex-hone/>>. Acesso em: 24/08/2020.

BURT, David N. *Should Cost, a poupança de milhões de dólares*. Air Force Institute of Technology, Estados Unidos, 2004.

CADIUM SOLUÇÃO EM LUBRIFICAÇÃO. *Boletim Técnico POLISYNTH BR 5*. 2020 – Uberlândia.

CGM GRUPO. *Brunimento*. Disponível em: <www.ccmgrupo.com.br/index.php/site/page?view=produto_brunimento>. Acesso em: 23/08/2020.

CYIENT. *Should Cost Analysis – Engineering a global advantage*. 2019. Disponível em: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/5724847/FY_19_Revamp_Assets_Website/Industries/Rail%20Transportation/Brochure%20/TRA%20-%20Brochure%20-%20Should%20Cost%20Analysis%20-%2020219.pdf>. Acesso em: 27/08/2020.

DIRECT INDUSTRY. *Brunidora tipo honing vertical SV-2400 series*. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/sunnen-products-company/product-11670-969647.html>>. 18/09/2020.

FAGGION, V. S; RICHARD, D. *Análise experimental de vida útil de brunidores flexíveis utilizados na usinagem de cilindros de blocos de compressores herméticos*. 2016. Projeto de conclusão de curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FERNANDES, K. A. *Avaliação da Qualidade Dimensional e Geométrica de Cilindros de Blocos de Compressores Herméticos Usinados pelo Processo de Brunimento Flexível*. 2014, 139 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

FREITAS, M. T. T. *Avaliação da influência exercida pelo estágio de vida de uma ferramenta precidor sobre os esforços de usinagem e qualidade de furos em ferro fundido*. 2018. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ITRA AUTOMAÇÃO. *Unidade de Escovamento da Brunidora Nagel*. 2010. Orçamento técnico. Joinville.

ITRA AUTOMAÇÃO. *Unidade de Escovamento da Brunidora Nagel*. 2011. Manual técnico. Joinville.

KLOCKE, F. *Manufacturing Processes 2: Grinding Honing and Lapping*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.

KNOPF, M.; EIGLMEIER, C.; MERKER, G. P. *Calculation of unsteady hydrodynamic lubrication and surface contact at the piston-ring/cylinder-liner interface*. Society of Automotive Engineers. 1998. ISSN 0148-7191.

KONIG, W. *Tecnologia da fabricação II: Retificação, brunimento e lapidação*. v. 2. Tradução: Walter Lindolfo Weingaertner. Florianópolis: UFSC. . Título original: *Fertigungsverfahren 2: Schielfen, Honen und Lappen*. 1980.

MAANTERA. *Brush Research Manufacturing*. Disponível em: <https://www.maantera.fi/wp-content/uploads/2018/08/BRM_Product_Catalog_2015.pdf>. Acesso em: 20/07/2020.

MILLER, M. L. Flexible Honing. *A study of cylinder wall microstructure*. Proceedings Understanding. The Basics of Honing, SME - Society of Mechanical Engineers, 1993. 9p.

OLIVEIRA, A., BRAZ, G., 2017, *Cost analysis (shold cost) applied to dental implants with EDM finish*. Work of Mechanical Engineering Conclusion Course. Federal University of Uberlandia (UFU), Uberlandia, MG. (UFU), Uberlândia, MG.

PEREIRA, L. C. *Influência das Condições de Usinagem do Brunimento Flexível na Qualidade Geométrica de Cilindros de Blocos de Compressores Herméticos*. 2016. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PEREIRA, Leandro Carvalho; et al. *Avaliação do coeficiente de vazio na operação de brunimento*. In: SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, Uberlândia, 2014.

PERES, R. M. *Caracterização do processo e verificação das grandezas de entrada no brunimento de curso longo do tipo “precidor”*. 1994. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PIMENTEL, R. *Melhoria do processo de furação de ferro fundido cinzento com brocas helicoidais de metal-duro*. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ROSA, V. A. O. *Investigação da Operação de Alargamento dos Furos Usinados em Pistões de Ferro-Carbono Sinterizado*. 2012. 122 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SCHMIDT, M. A. *Brunimento em ferro fundido cinzento utilizando ferramentas tipo bucha com grãos de diamante*. 1999. 258 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

SOURCING INNOVATION. *Modelo Should Cost*. 2006. Disponível em: <<http://sourcinginnovation.com/wordpress/2006/08/22/should-cost-modeling/>>. Acesso em: 27/08/20.