



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

SHOULD COST APLICADO NA FABRICAÇÃO DE PARAFUSOS
SEXTAVADOS M10, PELOS PROCESSOS DE METALURGIA DO PÓ,
CONFORMAÇÃO MECÂNICA E USINAGEM CNC

THAYNAN ALVES SALVIANO DE LIMA
VICTOR MARQUES RODRIGUES

Uberlândia-MG

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

SHOULD COST APLICADO NA FABRICAÇÃO DE PARAFUSOS
SEXTAVADOS M10, PELOS PROCESSOS DE METALURGIA DO PÓ,
CONFORMAÇÃO MECÂNICA E USINAGEM CNC

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como
requisito para a obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luciano José Arantes.

Uberlândia-MG

2023

BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE THAYNAN ALVES SALVIANO DE LIMA E VICTOR MARQUES RODRIGUES APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM FEVEREIRO DE 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luciano José Arantes Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Me. Pedro Pio Rosa Nishida Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva Universidade Federal de Uberlândia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente queremos agradecer à Deus, que nos direciona diariamente, fornecendo saúde e discernimentos ao longo de nossas vidas. Em seguida, agradecer mutuamente um ao outro pela dedicação e confiança ao longo dos meses de preparação deste trabalho.

Além disso, queremos agradecer nossas famílias pelo amor e apoio direcionados a nós durante todo ciclo acadêmico, desde a primeira infância até a conclusão do ensino superior.

Ainda, agradecer ao nosso professor orientador, o doutor Luciano José Arantes, por todo suporte, mentoria e paciência durante a elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Por fim, agradecer à Universidade Federal de Uberlândia, a qual, gratuitamente, nos forneceu ensino da mais alta qualidade, com professores e demais profissionais sempre focados em nossa formação.

SALVIANO, T., RODRIGUES, V., 2023, “**SHOULD COST APLICADO NA FABRICAÇÃO DE PARAFUSOS SEXTAVADOS M10, PELOS PROCESSOS DE METALURGIA DO PÓ, CONFORMAÇÃO MECÂNICA E USINAGEM CNC**”. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, MG.

RESUMO

Em um mercado cada vez mais globalizado, é necessário a aplicação de metodologias que tornem os meios de fabricação os mais competitivos possíveis. Diante disso, o *should cost* surge como uma excelente ferramenta de análise e gestão de custos, até mesmo para peças comuns do dia a dia da engenharia mecânica, como os parafusos sextavados. A partir de parafusos sextavados M10 de rosca inteira, o trabalho abordará a montagem de 3 linhas de produção, baseadas na metalurgia do pó, conformação mecânica e usinagem CNC, respectivamente, visando determinar os custos diretos e indiretos dos processos, para que seja possível determinar o valor de cada peça produzida. Os custos foram estimados por pesquisas de mercado e por estimativas através de comparação de valores obtidos em outros trabalhos e produtos similares. Por fim, verificou-se que a linha de produção baseada na conformação mecânica foi a mais viável economicamente, em sequência, estabeleceu-se que a linha de produção com base na metalurgia do pó era a segunda mais barata e, finalmente, a usinagem CNC mostrou-se o método de fabricação que demanda maiores custos e menor produtividade, sendo indicada para lotes específicos ou parafusos de grande porte. O trabalho ainda visa trazer as vantagens e desvantagens de cada processo.

Palavras-chave: Should cost; Parafusos sextavados M10; Metalurgia do pó; Conformação mecânica; Usinagem CNC.

SALVIANO, T., RODRIGUES, V., 2023, “**SHOULD COST APLIED IN THE MANUFACTURING OF M10 HEXAGON HEAD SCREW THROUGH THE PROCESS OF POWDER METALLURGY, MECHANICAL FORMING AND CNC MACHINING**”. Work of Mechanical Engineering Conclusion Course.Federal University of Uberlandia (UFU), Uberlândia, MG.

ABSTRACT

In an increasingly globalized market, it is necessary to apply methodologies that make the means of manufacturing as competitive as possible. In view of this, the cost should emerge as an excellent tool for analysis and cost management, even for common everyday parts of mechanical engineering, such as hex screws. Using full-thread M10 hexagon screws, the work will address the assembly of 3 production lines, powered by powder metallurgy, mechanical forming and CNC machining, respectively, in order to determine the direct and indirect costs of the processes, so that it is possible to determine the value of each piece produced. Costs were estimated by market research and estimates by comparing values obtained in other works and similar products. Finally, it was resisted that the production line based on mechanical forming was the most economically viable, in sequence, it was established that the production line based on powder metallurgy was the second cheapest and, finally, CNC machining proved to be the manufacturing method that requires higher costs and lower productivity, being indicated for specific batches or large screws. The work still aims to bring the advantages and preservation of each process.

Keywords: Should cost; Hexagon head screw; Powder metallurgy; Mechanical forming; CNC Machining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos de parafusos sextavados. Fonte: CRV Industrial, 2017	3
Figura 2 – Classificação de parafusos sextavados de rosca inteira. Fonte: Projette Parafusos, 2020.....	4
Figura 3 – Peças produzidas por metalurgia do pó. Fonte: Metalurgia Topo, 2012	5
Figura 4 – Estágios da compactação. Fonte: Chiaverini, 1986	6
Figura 5 – Rolamentos produzidos por metalurgia do pó. Fonte: Multisinter, 2020	7
Figura 6 – Processo de corte por cisalhamento. Fonte: Kondrasovas, 2010	14
Figura 7 – Etapas da conformação da cabeça de um parafuso sextavado. Fonte: Abreu, 2018.	14
Figura 8 – Rolamento da rosca de um parafuso sextavado. Fonte: Omegabelt Brasil, 2014.....	15
Figura 9 – Folga entre o punção e a matriz, de acordo com a espessura da chapa Fonte: Antunes, 2016 et al.....	17
Figura 10 – Centro de torneamento CNC modelo GL 300M. Fonte: Romi S.A, 2022.....	22
Figura 11 – Fresamento Discordante com parâmetros de sentido de rotação (n), velocidade de corte (Vc) e avanço (Vf) definidos. Fonte: CIMM, 2010	25
Figura 12 – Fluxo de processos de <i>Should Cost</i> . Fonte: Ravikanti, 2019	30
Figura. 13 – Comprimento do corpo de parafusos sextavados de rosca inteira, de acordo com sua classificação M-10. Fonte: ATD, 2018	33
Figura 14 – Modelo 3D do parafuso, produzido via SolidWorks ®. Fonte: Os autores, 2022 ..	33
Figura 15 – Desenho técnico das vistas frontal e lateral do parafuso, com suas dimensões em milímetros. Fonte: Os autores, 2022.	34
Figura 16 – Norma DIN ISO 898-1. Fonte: Indufix, 2022.....	34

Figura 17 – Misturador de pó duplo cone. Fonte: ALKI Máquinas, 2022.....	36
Figura 18 – Prensa de metal em pó. Fonte: Tsinfra, 2022.....	37
Figura 19 – Forno de sinterização de malha contínua. Fonte: Grefortec, 2022	38
Figura 20 – Embaladora vertical Microvert Pro. Fonte: Imanpack Packing & Eco Solutions SPA, 2022.....	39
Figura 21 – Diagrama da linha de produção por metalurgia do pó.	39
Figura 22 – Características técnicas e modelos da prensa à frio de dupla ação utilizada. Fonte: Himafe International, 2022	41
Figura 23 – Máquina de rolamento em sequência, modelo RCG10N. Fonte: Taiwan Metiz Alliance, 2022.....	42
Figura 24 – Características técnicas do modelo RCG10N. Fonte: Taiwan Metiz Alliance, 2022.....	42
Figura 25 – Forno de malha contínua. Fonte: Grefortec, 2022	43
Figura 26 – Máquina de corte de tarugo CNC WILA-30. Fonte: Wila Machine Tools, 2022..	44
Figura 27 – Robô de braço articulado em 6 eixos. Fonte: Borunte Robot Company, 2022.....	45
Figura 28 – Custo unitário do parafuso. Fonte: Os autores, 2022.....	71
Figura 29 – Investimento de maquinário. Fonte: O autores, 2022	71
Figura 30 – Custo de matéria prima. Fonte: O autores, 2022	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais de parafusos sextavados e suas características. Fonte: CRV Industrial, 2017.....	3
Tabela 2 – Pressões e relações de compressão. Fonte: Chiaverini, 1992	10
Tabela 3 – Recomendações de faixa de pressões. Fonte: Chiaverini, 1992	10
Tabela 4 – Temperaturas e tempos de sinterização. Fonte: Chiaverini, 1992.	11
Tabela 5 – Composição para forjamento à frio. Fonte: Arantes, 2019.....	18
Tabela 6 – Coeficientes de complexidade dos forjados (k). Fonte: Arantes, 2019	20
Tabela 7 – Investimento inicial de equipamentos.....	49
Tabela 8 – Matéria prima consumida em um mês para metalurgia do pó.....	50
Tabela 9 – Custos de mão de obra direta para metalurgia do pó.....	51
Tabela 10 - Custos de mão de obra indireta para metalurgia do pó.	53
Tabela 11 – Custos indiretos para metalurgia do pó.	54
Tabela 12 – Custos totais para metalurgia do pó.....	54

Tabela 13 – Investimento inicial de equipamentos para conformação mecânica.....	56
Tabela 14 – Investimento em matéria prima para conformação mecânica.	57
Tabela 15 – Custos de mão de obra direta para conformação mecânica.	58
Tabela 16 – Custos de mão de obra indireta para conformação mecânica.	60
Tabela 17 – Custos indiretos para conformação mecânica.....	61
Tabela 18 – Custos totais para conformação mecânica.....	61
Tabela 19 – Investimento inicial de equipamentos para usinagem CNC.	63
Tabela 20 – Investimento em matéria prima para usinagem CNC.....	65
Tabela 21 – Custos de mão de obra direta para usinagem CNC.	66
Tabela 22 – Custos de mão de obra indireta para usinagem CNC.	67
Tabela 23 – Custos indiretos para usinagem CNC.	68
Tabela 24 – Custos totais para usinagem CNC.	69

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 - Parafuso sextavado.....	2
2.2 - Metalurgia do pó	4
2.2.1 - Etapas do processo.....	5
2.2.2 - Parâmetros do processo.....	8
2.2.3 - Vantagens e Desvantagens do processo.....	12
2.3 - Conformação Mecânica.....	12
2.3.1 - Forjamento à frio.....	13
2.3.1.1 - Etapas do processo.....	13
2.3.1.2 - Parâmetros do processo	15
2.3.1.3 - Vantagens e Desvantagens do processo	20
2.4 - Usinagem CNC.....	21
2.4.1 - Etapas do processo.....	21
2.4.2 - Etapas do processo.....	22
2.4.3 - Parâmetros do processo.....	24
2.4.4 - Vantagens e Desvantagens do processo.....	26
2.5 - <i>Should Cost</i>	27

2.5.1 - Definição de Custo.....	27
2.5.1.1 - Custos Diretos.....	28
2.5.1.2 - Custos Indiretos	28
2.5.2 - Metodologia aplicada.....	29
3- METODOLOGIA	31
3.1 - Parafuso sextavado selecionado	32
3.2 - Material selecionado	34
3.3 - Linhas de Produção	35
3.3.1 - Linha de produção: Metalurgia do Pó	35
3.3.2 - Linha de produção: Conformação Mecânica.....	40
3.3.3 - Linha de produção: Usinagem CNC	44
4- <i>SHOULD COST</i> E DISCUSSÕES	46
4.1 <i>Should cost</i> : Metalurgia do Pó.....	47
4.1.1 - Custo de aquisição do ferramental e maquinário	47
4.1.2 - Custo de aquisição da matéria prima.....	48
4.1.3 - Custo de mão de obra direta.....	51
4.1.4 - Custo de manutenção e depreciação.....	52
4.1.5 - Custo de mão de obra indireta.....	52
4.1.6 - Custos indiretos.....	53
4.2 <i>Should cost</i> : Conformação Mecânica	55
4.2.1 - Custo de aquisição do ferramental e maquinário	55
4.2.2 - Custo de aquisição da matéria prima.....	56
4.2.3 - Custo de mão de obra direta.....	58
4.2.4 - Custo de manutenção e depreciação.....	59
4.2.5 - Custo de mão de obra indireta.....	59
4.2.6 - Custos indiretos.....	60
4.3 <i>Should cost</i> : Usinagem CNC.....	62
4.3.1 - Custo de aquisição do ferramental e maquinário	63
4.3.2 - Custo de aquisição da matéria prima.....	64
4.3.3 - Custo de mão de obra direta.....	65
4.3.4 - Custo de manutenção e depreciação.....	66
4.3.5 - Custo de mão de obra indireta.....	67
4.3.6 - Custos indiretos.....	68
5- CONCLUSÕES.....	70
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1 – INTRODUÇÃO

Em um cenário de um mundo cada vez mais globalizado, se faz necessário, também nos ramos das engenharias, a potencialização de processos, visando a diminuição de custos. Ao mesmo tempo é preciso manter e evoluir constantemente a qualidade dos produtos, dada a forte concorrência presente no setor, devido aos avanços tecnológicos, de transporte e de comunicação, vinda de empresas nacionais e internacionais.

Tais produtos, serão destinados à dois diferentes mercados, o *B2C (Business to consumer)*, ou seja, quando seu produto é comercializado ao consumidor final, e ao mercado *B2B (Business to business)*, quando o produto é repassado a outra empresa, que o utilizará na composição de um novo material ou serviço.

Assim como qualquer outra peça ou produto, os parafusos sextavados também precisam ser fabricados visando sua competitividade no mercado, visto que é uma peça relativamente simples de ser produzida, o que resulta em um baixo custo de entrada, pouca diferenciação entre peças de diferentes fornecedores e fácil replicabilidade. Tais fatores, irão garantir forte concorrência de diversas outras empresas que fabricarão o mesmo produto.

O parafuso sextavado, devido a sua polivalência, possui diversos tipos de aplicação, desde fixação de peças de veículos automotores até a de estruturas e elementos da construção civil. Portanto, é necessário definir quais processos de fabricação tornarão essas peças mais baratas, aliadas com a maior qualidade possível, isto é, torná-las concorrentes nos mercados interno e até externo.

Através dos diversos processos de fabricação, consegue-se produzir diferentes tipos de peças, no caso dos parafusos, estes podem ser fabricados de diversas formas, desde a usinagem até a metalurgia do pó. Para ser possível aliar a fabricação de uma peça com baixo custo, porém boa qualidade, é preciso a utilização de ferramentas que possam controlar e estipular os gastos envolvidos em todas as etapas da fabricação.

Para o trabalho em questão, a ferramenta utilizada será o *should cost*, metodologia a qual, de acordo com Hoinaski (2014), foi criada pelo Departamento de Defesa Americano, para realizar o controle de preços e custos envolvidos nas unidades de defesa dos Estados Unidos.

A partir dos anos 80, a metodologia foi aderida pela indústria, para cumprir a mesma função, ou seja, realizar controle de custos, para, enfim, precificar uma dada mercadoria, produto ou serviço. No âmbito industrial, o should cost, abordará custos diretos e indiretos à produção, mostrando lacunas e erros presentes no processo, visando a diminuição de gastos desnecessários, ao cenário que, garante a produção de peças mais eficazes. (HOINASKI, 2014).

Após os resultados, será possível abordar vantagens e desvantagens dos métodos de fabricação selecionados, destacando aquele que se mostrar o mais eficiente para uma dada aplicação. Além disso, é possível, com um pensamento crítico, abordar as limitações que a metodologia traz consigo, assim como qualquer outra também apresentaria.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Parafuso sextavado

Os parafusos sextavados são um dos fixadores mais utilizados em diversos setores da indústria e construção civil, podendo ser utilizado tanto em aplicações internas quanto externas.

Sua nomenclatura é inspirada por possuir a cabeça em formato hexagonal.

Para fins estruturais, segundo Perez (2017), os parafusos agem criando forças de compressão entre duas superfícies, por meio do atrito gerado entre elas, provocando a união entre duas peças.

Os parafusos sextavados são amplamente utilizados, por possuírem, de maneira simples, a possibilidade de serem posicionados e parafusados. Devido a seu formato de cabeça, pode ser apertado por diversas ferramentas, tais como parafusadeiras, chave inglesa, chave de boca etc.

De acordo com CRV Industrial Parafusos (2017), os três materiais mais comuns utilizados na fabricação são o aço carbono, sendo esse o mais usual, aço liga e aço inox.

A tabela 1 traz os tipos de materiais de fabricação de parafusos sextavados, aliado à suas principais características.

Tabela 1 – Materiais de parafusos sextavados e suas características. Adaptado de (CRV Industrial, 2017)

Material	Características
Aço Carbono	Possui boa resistência contra cargas de trabalho e normalmente recebe o revestimento de zinco, aumentando a eficácia contra a corrosão
Aço Liga	São fabricados para resistirem à grandes cargas. Podem ser encontrados sem revestimento ou revestidos com cádmio ou zinco
Aço Inox	Resistente à corrosão, portanto, é muito utilizado em ambientes beira mar, instalações navais ou aparelhagem cirúrgica

Segundo CRV Industrial Parafusos (2017), os principais tipos de parafuso sextavado encontrados no mercado, e com o maior número de aplicações são de rosca inteira, rosca parcial, estrutural A325 e rosca soberba. No entanto, suas aplicações são muito mais amplas, havendo diversos outros modelos com diferentes aplicações.

A figura 1 ilustra os principais tipos de parafusos sextavados encontrados no mercado.



Figura 1 – Tipos de parafusos sextavados (CRV Industrial, 2017)

Para padronização, os parafusos são classificados conforme suas dimensões, a figura 2 ilustra a classificação de um parafuso sextavado rosca inteira, objetivo de análise desse trabalho.

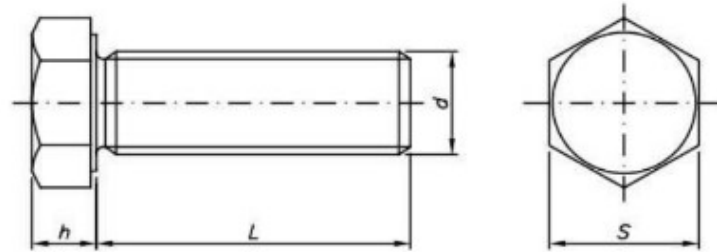


TABELA DE DIMENSÕES (MM)

d (diâmetro)	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	M 14	M 16	M 18	M 20
rosca/passos	MA-0,80	MA-1,00	MA-1,25	MA-1,50	MA-1,75	MA-2,00	MA-2,00	MA-2,50	MA-2,50
s (chave) máx.	8	10	13	17	19	22	24	27	30
h (altura cabeça) máx.	3,65	4,15	5,45	6,56	7,68	8,98	10,18	11,72	12,72

Figura 2 – Classificação de parafusos sextavados rosca inteira. (PROJETTE PARAFUSOS, 2020)

2.2 - Metalurgia do pó

Segundo Chiaverini (1992), A metalurgia do pó é o processo metalúrgico de fabricação de peças metálicas, que se distingue dos processos metalúrgicos convencionais pelas seguintes características:

- utilização de pós metálicos e não-metálicos, como matérias-primas;
- ausência de fase líquida ou presença parcial de fase líquida durante o processo de fabricação;
- produção de peças com formas definitivas ou praticamente definitivas, dentro de tolerâncias muito estreitas, geralmente sem necessidade de operações de usinagem posteriores ou de qualquer outro tipo de acabamento;
- produção de componentes com características estruturais e físicas impossíveis de se obter por qualquer outro processo metalúrgico;
- obtenção de peças em grandes séries, tornando o processo altamente competitivo em relação aos processos convencionais.

A figura 3, representa exemplos de peças produzidas a partir da metalurgia do pó, ressaltando-se que é possível a fabricação de diversos segmentos de peças, com variadas geometrias.



Figura 3 – Peças produzidas por metalurgia do pó. (Metalurgia Topo, 2012)

2.2.1 – Etapas do processo

O processo de fabricação por metalurgia do pó, de acordo com Arantes (2019), é dividido em quatro etapas, as quais são: Seleção do pó, mistura, compactação e sinterização.

A etapa de seleção do pó consiste em selecionar quais pós, metálicos e não-metálicos, irão compor a estrutura da peça requerida. No geral, para a fabricação de peças metálicas, utiliza-se pós de ferro, grafite e demais elementos de liga, como por exemplo, alumínio, cobre, bronze, latão, molibdênio, manganês, níquel, chumbo, sílica, aço inoxidável, estanho, titânio, enxofre, fósforo e zinco. (RODRIGUES, 2008).

Conseqüentemente, cada elemento trará consigo particularidades, positivas e/ou negativas, sendo necessário a escolha correta para se obter as propriedades mecânicas requeridas na peça a ser produzida.

Em seguida, há a etapa de mistura do pó selecionado, na qual deve-se garantir a homogeneização deste. Para se realizar a mistura, é possível a utilização de três equipamentos distintos, são eles: misturador duplo-cone, misturar em “V” e misturador tipo “Turbula”.

Além disso, segundo Arantes (2019), é importante garantir, o emprego de lubrificantes na mistura de pós, uma vez que estes irão atenuar as forças de atrito presentes entre as paredes da matriz de compactação e do compactado comprimido.

Os lubrificantes mais utilizados são: bissulfeto de molibdênio, ácido esteárico, estearato de zinco e estearato de lítio.

Ainda segundo Arantes (2019), é importante o conhecimento prévio dos efeitos que cada lubrificante causará na mistura, especialmente na etapa de sinterização.

A terceira etapa, denominada compactação, visa compactar o pó previamente misturado e lubrificado, com auxílio de uma matriz, a qual já possui a forma da peça desejada. Além disso, nessa mesma etapa, deve-se verificar a densidade e resistência da peça verde¹ e, por fim, analisar se foi gerado o contato necessário entre as partículas.

Durante o processo de compactação, há a presença de quatro estágios, os quais são: enchimento, compactação, extração e novo enchimento. A figura 4, representa as tais etapas, as quais serão discutidas nos parágrafos abaixo.

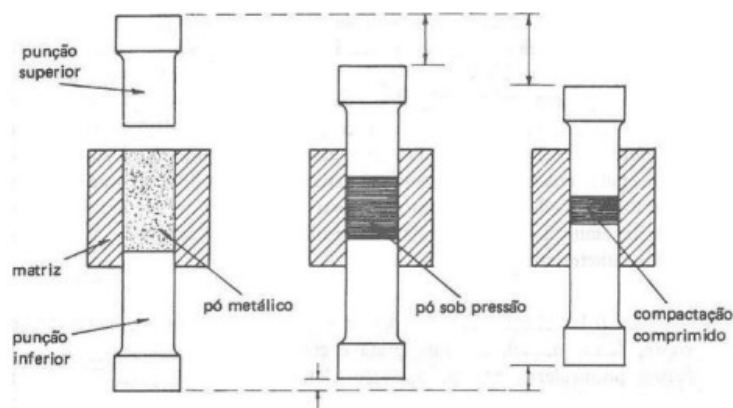


Figura 4 – Estágios da compactação. (Chiaverini, 1986)

O enchimento compreende o estágio de preenchimento da matriz com a mistura de pós selecionada. Em seguida, é realizado o estágio de compactação, com o auxílio de uma prensa. Após a compactação, a peça é extraída cuidadosamente, possibilitando o estágio

de novo enchimento, que dará sequência à linha de produção. Dessa forma, a última etapa, denominada sinterização, será eficiente.

Conforme dito acima, a última etapa de fabricação utilizando-se metalurgia do pó é a sinterização, a qual consiste, com auxílio de um forno, o trabalho em temperaturas elevadas da peça moldada, porém, sempre abaixo da temperatura de fusão do elemento ou liga metálica.

Conseqüentemente, após esse trabalho, ocorrerá a ligação química e metalúrgica entre as partículas que compunham o compactado, fazendo com que a peça recém-criada tenha as propriedades mecânicas, densidade e dureza desejadas.

A figura 5, ilustra uma quantidade de rolamentos, obtidas através da metalurgia do pó, após o processo de sinterização, com auxílio de um forno.



Figura 5 – Rolamentos produzidos por metalurgia do pó. (Multisinter, 2020)

Após a etapa de sinterização, de acordo com Arantes (2019), é esperado que tenha ocorrido redução do volume inicial do compactado, podendo chegar a reduções de até 40% no produto.

2.2.2 – Parâmetros do processo

Como todo processo de fabricação, é necessário seguir parâmetros de processo que garantirão a viabilidade e qualidade da peça a ser fabricada. No âmbito da metalurgia do pó não é diferente, sendo necessário seguir os parâmetros descritos abaixo.

A princípio, é necessário a seleção do pó de acordo com as propriedades mecânicas desejadas da peça final, sempre levando em consideração a viabilidade econômica do processo.

Segundo Chiaverini (1992), durante a etapa de mistura, na maioria dos casos, o tempo de mistura será empírico, variando de 5 a 30 minutos, mas, na prática, o mais importante é levar em consideração experiências prévias nos processos já realizados com sucesso, para cada mistura, em um determinado tipo de misturador.

Ainda sobre os tipos de misturadores utilizados, sabe-se que: no aparelho duplo cone, para obter-se ação efetiva de mistura, sugere-se carga correspondente a 50% do volume do aparelho, para obter-se ação efetiva de mistura. No aparelho em V, com rotação igualmente segundo um eixo horizontal, procura-se manter um nível de carga correspondente a 60% do volume total. (CHIAVERINI, 1992).

No aparelho “Turbula”, o movimento é múltiplo e obtém-se uma mistura mais homogênea.

A quantidade de lubrificante a ser adicionada depende, por outro lado, de diversos fatores, tais como composição do pó metálico, tipo e material do ferramental, densidade compactada e complexidade da peça a ser comprimida. Essa quantidade varia, geralmente, de 0.5% a 1.5% em peso, para casos de uso do ácido esteárico, estearato de zinco e estearato de lítio. (CHIAVERINI, 1992).

Para o bissulfeto de molibdênio, empregado principalmente em peças a serem sinterizadas a temperaturas inferiores a 870°C, normalmente, a porcentagem a ser adicionada nas misturas varia de 2% a 3%. (CHIAVERINI, 1992).

Outro parâmetro importante ao processo é a pressão de compactação, a qual definirá a densidade e controle da porosidade ao compactado. Para cada liga, será necessária uma pressão de compactação específica, para se obter os resultados almejados.

Para a realização da compactação, é necessário o uso de prensas, que podem ser prensas mecânicas, hidráulicas ou que apresente uma combinação de ambos os sistemas. De acordo com Arantes (2019), as prensas mecânicas possuem uma alta velocidade de produção, com faixas de força de compressão de 3 a 900 toneladas de força. Já as prensas hidráulicas, possuem melhor proteção contra sobrecarga e maior profundidade de enchimento, com faixas de força de compressão de 90 a 2800 toneladas de força.

De acordo com Chiaverini (1992), a tabela 2 reúne as pressões e relações de compressão para compactação de pós-metálicos, de maneira aproximada.

Tabela 2 – Pressões e relações de compressão (Adaptada de CHIAVERINI, 1992).

Material	Pressão de Compactação (tf/cm²)	Relação de Compressão
Alumínio	0.7-2.8	1.5-1.9:1
Latão	4.2-7.0	2.4-2.6:1
Bronze	2.1-2.8	2.5-2.7:1
Escovas Cu-grafite	3.5-4.2	2.0-3.0:1
Carbonetos	1.4-4.2	2.0-3.0:1
Ferrites	1.1-1.7	-3.0-1:1
Buchas de ferro	2.1-3.5	2.2-1:1
Ferros de baixa densidade	3.5-4.2	2.0-2.4:1
Ferros de média densidade	4.2-5.6	2.1-2.5:1
Ferros de alta densidade	4.9-8.5	2.4-2.8:1
Núcleos de pó de ferro	1.4-7.0	1.5-3.5:1
Tungstênio	0.7-1.4	2.5:1
Tântalo	0.7-1.4	2.5:1

Já a tabela 3, traz faixas de pressões recomendadas, para alguns produtos da metalurgia do pó.

Tabela 3 – Recomendações de faixa de pressões (Adaptada de CHIAVERINI, 1992).

Material	Pressão tf/cm²
Materiais porosos e filtros metálicos	0,4-0,7
Metais refratários e carbonetos	0,7-2,1
Buchas porosas	1,4-3,5
Peças de máquinas	2,8-7,0
Peças de ferro e aço da alta densidade	7,0-16,9

De acordo com Chiaverini (1992), em relação à temperatura de sinterização, está dependerá diretamente da seleção de pó realizada, uma vez que cada material possui uma temperatura de fusão diferente. Para misturas de vários constituintes, a sinterização é realizada a uma temperatura superior à do elemento com menor ponto de fusão.

Dessa forma, ao superar o ponto de fusão de alguns dos elementos, formará uma fase líquida, a qual favorecerá as condições de sinterização. Em geral, a temperatura de sinterização estará entre 60% e 75% da temperatura de fusão da liga metálica. Dando sequência aos parâmetros envolvidos na metalurgia do pó, o tempo de sinterização no forno varia, conforme exemplo acima, de acordo com o tipo de material.

De acordo com Chiaverini (1992), a tabela 4 reúne a temperatura e tempo de forno, de uma série de materiais, para que seja realizada a etapa de sinterização.

Tabela 4 – Temperaturas e tempos de sinterização. (Adaptada de CHIAVERINI, 1992).

Material	Temperatura (°C)	Tempo (minutos)
Bronze	760-860	10-20
Cobre	845-900	12-45
Latão	845-900	10-45
Ferro, ferro-grafita etc.	1010-1150	8-45
Níquel	1010-1150	30-45
Aço Inoxidável	1095-1290	30-60
Aço Carbono	1000-1200	8-45 aprox.
Imãs Alnico	1205-1300	120-150
Ferrites	1205-1480	10-600
90W-6Ni-4Cu	1345-1595	10-120
Carboneto de Tungstênio	1425-1480	20-30
Molibdênio	2055	120 aprox.
Tungstênio	2345	480 aprox.
Tântalo	2400 aprox.	480 aprox.

2.2.3 – Vantagens e Desvantagens do processo

Assim como todo processo de fabricação, a escolha da metalurgia do pó trará consigo vantagens e desvantagens para a linha de produção.

De acordo com Arantes (2019), entre as vantagens, podem ser destacados a qualidade final da peça, resultando em pouco ou nenhum trabalho de acabamento, peças com boas tolerâncias dimensionais, o que ocasiona em excelente aproveitamento de material.

Além disso, a partir da seleção dos pós, é possível fazer um controle rigoroso da composição química da mistura. Desse modo, também há a possibilidade de associar materiais metálicos e não-metálicos, o que amplia o número de possibilidades de combinações de elementos e características físicas e químicas. (CHIAVERINI, 1992).

Também, ainda de acordo com Chiaverini (1992), pode-se destacar a possibilidade de obter características estruturais especiais, já que é possível, a partir da mistura selecionada e compactação, controlar a porosidade desejada na peça final.

Entre as desvantagens, destacam-se a limitação das dimensões máximas das peças produzidas, isto é, peças grandes não são viáveis de serem fabricadas por esse método, visto que, a qualidade da compactação, devido ao grande volume de pó, não atinge os padrões necessários. (CHIAVERINI, 1992).

Além disso, de acordo com Arantes (2019), peças produzidas pela metalurgia do pó não são recomendadas passarem por um processo posterior de soldagem, uma vez que, devida a porosidade contida nas peças, as propriedades químicas e físicas sofreriam alterações, fragilizando ou até danificando a peça.

Por último, devido a necessidade da fabricação de matrizes, as quais possuem elevados custos de fabricação e implementação, o processo é indicado para linhas de produção de larga escala, com um elevado número de peças sendo produzidas simultaneamente. (Adaptado de ARANTES, 2019).

2.3 - Conformação Mecânica

Entende-se o processo de conformação dos corpos metálicos como o processo de modificação da forma desse corpo metálico para outra forma definida.

É definido também, como processos de conformação, nos quais as modificações de forma são provocadas pela aplicação de tensões externas, por vezes em altas temperaturas, mas sem a liquefação do metal. (E. BRESCIANI FILHO, 2011).

Os processos mecânicos são constituídos pelos processos de conformação plástica, para os quais as tensões aplicadas são geralmente inferiores ao limite de resistência à ruptura do material. Devido à sua natureza, esses processos são também denominados “processos de conformação mecânica”. (E. BRESCIANI FILHO, 2011).

2.3.1 - Forjamento à frio

De acordo com Bresciani Filho (2011), forjamento é um processo de conformação, a partir do qual se obtém a forma almejada da peça por aplicação constante de pressão ou por martelamento. A maior parte dos processos de forjamento é realizada a quente (peça com temperatura acima de 50% da temperatura de fusão do material, porém, sempre abaixo do 100%).

No entanto, certos metais podem ser forjados a frio (peça com temperatura de 30% da temperatura homóloga do material) como, por exemplo, destaca-se o forjamento à frio para fabricação da cabeça de parafusos. (ARANTES, 2019).

Visando abordar o tema deste trabalho, nos subcapítulos abaixo, será discutido as etapas, parâmetros, vantagens e desvantagens do forjamento à frio na fabricação de cabeças de parafusos sextavados.

2.3.1.1 – Etapas do processo

De acordo com Santos (2007), a princípio, é realizado um corte por cisalhamento do fio metálico selecionado para compor a matéria prima do parafuso, formando, assim, o tarugo para posterior fabricação da peça.

O corte por cisalhamento consiste cortar ou causar deformação em um material e/ou superfície, por meio da tensão criada por forças agindo em sentidos opostos, porém, de mesma direção.

A figura 6 traz a descrição do mecanismo de corte por cisalhamento de um determinado material.

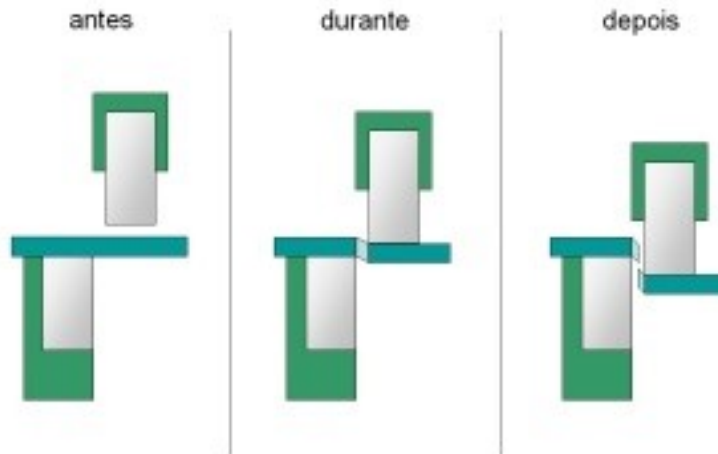


Figura 6 – Processo de corte por cisalhamento (Kondrasovas, 2010)

Em seguida, é necessário posicionar o tarugo, recém cortado, na ferramenta de forjamento, ou seja, os conjuntos matriz-prensa-extratores de material.

O conjunto matriz-prensa-extratores utilizado para a fabricação de parafusos, consiste em um equipamento com 4 matrizes, de formatos diferentes, que irão conformar, sobre a peça, as etapas do recalque da cabeça de um parafuso, por meio de 4 prensas, as quais aplicam um esforço de compressão do material sobre as matrizes. (ABREU, 2018).

Além disso, há um mecanismo para extração e transporte da peça, entre as matrizes do equipamento, do início até a conformação final da cabeça do parafuso.

Todo o processo de forjamento à frio da cabeça de um parafuso sextavado é ilustrado, abaixo, na figura 7.

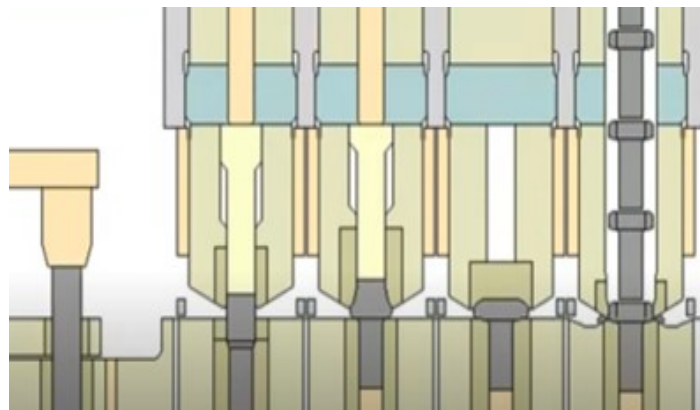


Figura 7 – Etapas da conformação da cabeça de um parafuso sextavado (Abreu, 2018)

A seguir, para fabricação da rosca do parafuso, é necessário a utilização do processo de rolamento.

Rolamento é a operação de distribuição de massa ao longo do comprimento da peça, mantendo-se a seção transversal redonda, enquanto a peça é girada em torno do seu próprio eixo. (ARANTES, 2019).

O parafuso é transportado e posicionado na máquina de rolamento de rosca de parafuso, a qual direciona a peça entre duas matrizes. Estas podem ser dispostas de inúmeras maneiras, sendo as mais comuns, uma matriz fixa e outra móvel com formato de rosca, ou duas matrizes móveis com esse mesmo perfil. O contato gerado entre as matrizes e o parafuso, conformará o perfil de rosca desejado.

Tal processo ocorre em alta velocidade, possibilitando a fabricação de diversos parafusos por minuto, conforme mostrado na figura 8.



Figura 8 – Rolamento da rosca de um parafuso sextavado (Omegabelt Brasil, 2014)

Após o processo de rolamento, o qual criou a rosca no corpo do parafuso, ele já se encontra pronto para seguir para as etapas de destinação ao cliente final.

2.3.1.2 – Parâmetros do processo

Para se utilizar os processos de conformação mecânica, se faz necessário seguir e definir os parâmetros de processo, para que os procedimentos ocorram com satisfatório grau de qualidade. (Adaptado de ARANTES, 2019).

Para o procedimento de corte por cisalhamento, é importante definir os elementos básicos que compõem uma ferramenta de corte por cisalhamento, etapa inicial do processo. (SANTOS, 2007).

O equipamento que realiza corte por cisalhamento é composto de 4 itens, sendo eles o punção, a matriz, a base da ferramenta e a própria chapa que será cortada. Além disso,

é preciso determinar, a partir de cálculos, com base na tensão de ruptura do material ao cisalhamento e área da seção transversal do fio, a força de corte necessária para que o processo ocorra.

As forças envolvidas no processo de corte, mesmo para chapas finas, são altas, especialmente se materiais com alta resistência mecânica são cortados. A abordagem mais simples e mais utilizada para o cálculo da força de corte é multiplicar a tensão de ruptura ao cisalhamento pela área a ser cisalhada, ou seja, conforme equação (1). (Corrêa de Souza, 2001).

$$F_c = \tau_c \cdot A_c \quad (1)$$

Tem-se que, “ F_c ” representa a força de corte, enquanto “ τ_c ” indica a tensão de ruptura do material submetido à cisalhamento, a qual, Segundo Corrêa de Souza (2001), é estimada de 50% a 80% da tensão de ruptura do próprio material.

Por fim, “ A_c ” descreve a área de cisalhamento, a qual é obtida por meio da equação (2).

$$A_c = \left(\pi \cdot \frac{d^2}{4} \right) \quad (2)$$

Com “ d ” correspondendo o diâmetro do fio metálico utilizado.

De acordo com Boff e Schaeffer (2011), é preciso haver uma pequena folga entre o punção e a matriz, correspondendo de 5% a 10% da espessura da chapa, em processos de cortes convencionais ou, para operações de corte fino, a folga recomendada é de apenas 1% da espessura da chapa.

Usando-se como base a folga utilizada para chapas metálicas, considera-se, em caso de um fio metálico, uma folga de aproximadamente de 5% a 10% do diâmetro do fio.

A figura 9, traz as folgas recomendadas, em milímetros (mm), para uma dada espessura de chapa, também em milímetros (mm).

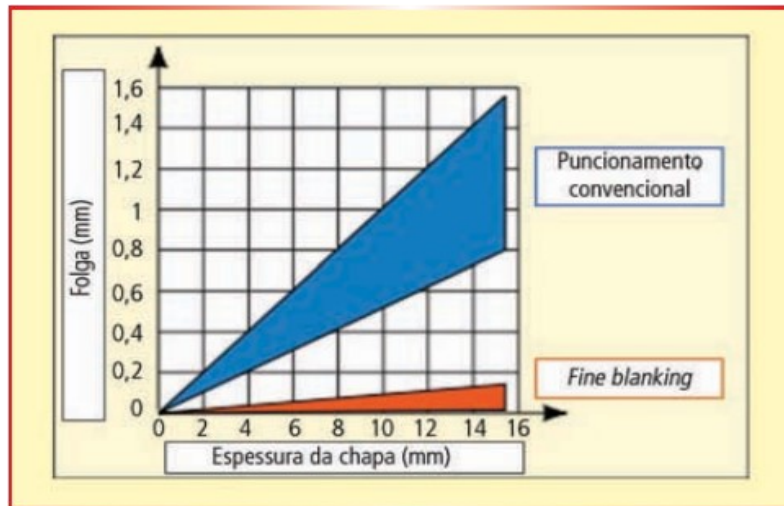


Figura 9 – Folga entre o punção e a matriz, de acordo com a espessura da chapa (F. Antunes, L. Schaeffer e J. Castelan, 2016).

Para a etapa de forjamento à frio da cabeça do parafuso, também se deve seguir uma série de parâmetros que garantirão a qualidade do trabalho realizado.

A princípio, deve-se determinar o material das matrizes envolvidas nas 4 etapas. Para forjamento à frio, é preferível optar por matrizes de aços não deformáveis, isto é, tais materiais devem apresentar baixa, ou até nenhuma, deformação ou mudança de dimensão e forma, quando suscetíveis a tratamentos técnicos. (Adaptado de ARANTES, 2019).

De acordo com as classificações AISI e SAE, os aços indeformáveis são descritos pelas letras “O” e “D”. Sendo que, a letra “O” se refere a aços de baixa liga e temperados em óleo, enquanto a letra “D” indica os aços de alta liga, sendo temperáveis em ar ou óleo.

A tabela 5, segundo Arantes (2019), indica os materiais de matrizes recomendados para diferentes processos de forjamento.

Tabela 5 – Composição para forjamento à frio (ARANTES, 2019).

Aplicação	Aço	Composição
Matrizes para conformação a frio para pequenas séries	VND (Villares) = AISI 01	C=0,95% Mn=1,25% Cr=0,50% W=0,50% V=0,12%
Matrizes de forjamento para martelo de queda com gravuras rasas	VETD (Villares) = AISI W2	C=1,00% V=0,25%
Matrizes para grandes séries	VC130 (Villares) = AISI D3	C=2,00% Cr=11,5% V=0,2%

Em relação ao formato (seguindo os formatos ilustrados na figura 2) das matrizes utilizadas, devem ser levados em consideração a linha de aparte. De acordo com Costa (2015), a localização dessa linha influencia o projeto de diversas maneiras, como por exemplo:

- Facilitar ou dificultar a extração das peças e fechamento da matriz;
- Promover o preenchimento completo das cavidades;
- Caso mal localizada, propicia a formação de dobras e defeitos;
- Potencializar o uso do material, pois, em matriz com linha de aparte incorreta, há considerada perda de material em rebarba;
- Caso bem localizada, auxilia na fabricação de peças com boas tolerâncias dimensionais e geométricas;
- Garante o bom posicionamento da geratriz na matriz;
- Em matrizes com linha de aparte mal localizada, ocorre a detecção e extensão de desalinhamentos no decorrer da peça.

Portanto, a linha de aparte deve ser posicionada preferencialmente plana, buscando dividir a matriz em duas partes iguais, ou seja, posicionando-a na linha de simetria. Além

disso, de maneira ideal, deve-se buscar posicionar a linha de aparte no último ponto de preenchimento de material na matriz, segundo Arantes (2019).

Dando sequência, para se definir de forma correta as dimensões finais da matriz, deve-se levar em consideração a taxa de contração do material, devido a variações de temperatura. Em peças forjadas à frio, essa alteração nas dimensões será menor, praticamente mínima, quando comparada ao método de forjamento à quente.

No entanto, se deve considerar o fator de contração do material, mesmo em trabalhos à frio, para garantir excelência no projeto. A taxa de contração do material pode ser descrita pela equação (3):

$$Fc = 1 + \Delta t . \alpha \quad (3)$$

Sendo que “Fc” representa o fator de contração do material, “ Δt ” indica a diferença de temperatura entre o forjado e a matriz, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), enquanto o “ α ” representa o coeficiente de dilatação linear do material forjado, valor esse particular a cada tipo de material utilizado.

Em relação a formação de rebarba, para o método de fabricação discutido acima, as perdas de material serão mínimas, uma vez que praticamente não há a formação de rebarba, devido a simplicidade geométrica e pequenas dimensões do forjado. Assim, esse parâmetro será desconsiderado do processo, por causar pouco ou nenhum impacto.

Outro parâmetro importante inerente ao processo de fabricação é a estimativa da força de forjamento. De acordo com Arantes (2019), essa pode ser calculada, de maneira simplificada, através da equação (4):

$$Ff = \sigma . k . Sp \quad (4)$$

De tal modo que, “Ff” indique a força de forjamento em toneladas (ton), “ σ ” represente a tensão média de escoamento do material, em toneladas por milímetro quadrado ($\frac{\text{ton}}{\text{mm}^2}$) na temperatura em que é realizado o forjamento. O “k” indica o coeficiente de complexidade do forjado e, por fim, “Sp” representa a área do projetado juntamente com a rebarba na linha de aparte, em milímetros quadrados (mm^2).

A tabela 6, ilustrada abaixo, traz os valores de coeficientes de complexidade dos forjados, em forjamento com prensa, de acordo com o modo de deformação do material.

Tabela 6 – Coeficientes de complexidade dos forjados (k) (ARANTES, 2019)

Modo de Deformação	K
Compressão de um cilindro entre duas placas planas	1,2-2,5
Forjamento de peças simples sem a formação de rebarba	3-5
Forjamento de peças simples com a formação de rebarba	5-8
Forjamento de peças complexas com a formação de rebarba	8-12

2.3.1.3 – Vantagens e Desvantagens do processo

Entre as vantagens da utilização dos processos de conformação, para a fabricação de uma peça, destaca-se:

- Excelente acabamento superficial na peça, quando as matrizes utilizadas no processo também possuem bons acabamentos; (Espinoza, 1999).
- As propriedades mecânicas de materiais forjados são melhores que aquelas encontradas em materiais fundidos, visto que, apresentam estrutura fina e homogênea; (Espinoza, 1999).
- As temperaturas mais baixas empregadas no forjamento, contribuem para um ambiente de trabalho mais salubre, sem poluição da atmosfera, quando comparado aos processos de fundição; (Espinoza, 1999).
- Alta taxa produtiva;
- Obtenção de boa precisão dimensional, pois a peça adquire as impressões das matrizes utilizadas no processo e que, no geral, possuem excelentes tolerâncias dimensionais e geométricas;

Entre as desvantagens observadas na conformação, para a fabricação de uma peça, destaca-se, de acordo com Arantes (2019), alto custo ferramental, uma vez que as matrizes possuem elevado custo de aquisição, inviabilizando a produção em pequena escala.

Além disso, de acordo com Arantes (2019), se faz necessário, em alguns casos, utilização de usinagem para obtenção dos valores dimensionais solicitados, quando as

matrizes utilizadas não possuem as tolerâncias dimensionais requeridas para a produção da peça desejada.

Por fim, de acordo com Barrau (2003), as peças em forjamento sofrem com altas tensões térmicas e intensos choques mecânicos durante sua fabricação, o que acarreta a falhas no ferramental, devido à desgaste e fadiga, aumentando os custos de reposição e manutenção do maquinário.

2.4 - Usinagem CNC

Como operações de usinagem entende-se aquelas que, ao conferir à peça a forma, ou as dimensões ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco. Define-se cavaco, a porção de material da peça, retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma geométrica irregular. (FERRARESI, 1969).

Já a usinagem CNC, se utiliza dos mesmos princípios em relação a forma, dimensões ou acabamento de uma peça, também com produção de cavaco. No entanto, baseia-se na máquina CNC para usinagem, a qual é um equipamento eletromecânico computadorizado, que recebe informações em linguagem de máquina via computador próprio. Este irá compila-las e transmiti-las em linguagem decodificada a servomotores e a outros mecanismos, fazendo, deste modo, com que movimentem os eixos ou configurem dezenas de atitudes necessárias. Para que, assim, se fabrique, por meio de usinagem (remoção de material por ferramenta cortante), peças e produtos à altíssima complexidade, numa sequência prevista e definida pelo programador CNC. (AZEVEDO, 2017).

2.4.1 – Centro de torneamento CNC

De acordo com Vilarinho (2020), os centros de torneamento CNC são máquinas que constituem uma família de peças cilíndricas de revolução, as quais apresentam, usualmente, dois eixos para programação.

Dentre as operações realizadas por um centro de torneamento CNC, pode se destacar a produção de peças cilíndricas de revolução, como eixos, tubos e, conforme o foco desse trabalho, parafusos de todos os modelos.

De acordo com Erominas (2019), a grande vantagem desse maquinário, em relação a outros processos de fabricação, é a capacidade de executar todas essas funções citadas anteriormente, sem a necessidade de alteração ou troca manual das ferramentas e peças de trabalho durante a operação.

Tal característica garante maior eficiência, produtividade e mitigação de erros no processo de usinagem.

A figura 10 ilustra um centro de torneamento CNC da ROMI S.A., modelo GL 300M, com acessórios de broca, fresa de topo, alargador, macho de roscar, cabeçotes fresadores etc.



Figura 10 – Centro de torneamento CNC modelo GL 300M. (ROMI S.A., 2022).

2.4.2 – Etapas do processo

Para usinar uma peça em um centro de torneamento, informações como valores de coordenadas e outros dados técnicos irão definir como uma ferramenta deve se mover em relação à peça de trabalho afim de atingir a forma desejada. Deve ser concebido em forma de instruções codificadas ao comando CNC. Estas informações são chamadas programa de usinagem.

Os dados em um bloco de programa são chamados:

- Dados dimensionais (geométricos);
- Dados de Controle.

Os dados de controle contêm informações tais como: funções preparatórias e auxiliares, indexação do magazine, ligar e desligar refrigeração etc. (COSA Intermáquinas, 2017).

De acordo com COSA Intermáquinas (2017), para se dar início ao processo de programação é necessário a definição da matéria prima do produto desejado, bem como o desenho.

A partir da obtenção do desenho da peça, é necessário transformá-lo em desenho de usinagem, isto é, a alteração do desenho para o sistema de coordenadas do centro de torneamento CNC selecionado.

Em seguida, é montado e definido o plano de usinagem, o qual buscará o método de usinagem mais eficiente para a produção da peça desejada. Após, é necessário fazer a fixação da matéria prima no equipamento de usinagem. Esta pode ser feita de diferentes formas, como por exemplo, utilização de morsa ou dispositivo para promover a fixação externa ou interna e ainda, para projetos mais complexos, utilizar sistemas especiais de fixação.

Após a etapa de fixação, há a etapa de seleção da ferramenta, na qual busca-se definir os números de ferramentas, bem como os seus tipos de corte e, por consequência, os tipos de cavacos formados.

Então, deve-se definir os parâmetros utilizados no corte, os quais serão abordados posteriormente. Após a definição desses parâmetros, se faz necessário o *preset* de ferramenta, o qual também será abordado mais à frente.

Posteriormente, tem-se a etapa de criação do processo em papel, esta consiste na elaboração de um esboço do percurso ferramental com seus movimentos e a partir das especificações do equipamento.

A próxima etapa do processo de programação consiste na transmissão do programa, ou seja, repassá-lo para a máquina. Deve-se digitar os comandos definidos, com o auxílio de uma interface de armazenamento externo, como por exemplo o cartão PCMCIA

(*Personal Computer Memory Card International Association*). Tal interface irá registrar os comandos a serem feitos ou, por meio de conexão direta entre computador e máquina, ou através de um cabo RS 232, por exemplo. (COSA INTERMÁQUINAS, 2017).

Depois de todo o preparo, segue-se para a etapa de teste do programa, a qual, como o próprio nome diz, irá, após a realização desse teste, comparar cada posicionamento e função ativa em relação ao exibido no comando e, então, verificar se acompanham o processo em papel. Além disso, é recomendado a realização da simulação das primeiras peças em vazio. (Adaptado de COSA INTERMÁQUINAS, 2017).

Havendo sucesso nessa etapa, o programa encontra-se validado e pronto para produzir as peças desejadas, seguindo, então, para a operação da máquina e produção da primeira peça.

Após a finalização dessa peça, é válido verificar as medições e tolerâncias geométricas, a fim de aplicar correções, caso essa se encontre fora do padrão projetado.

2.4.3 – Parâmetros do processo

Para o sucesso de fabricação de um determinado elemento ou peça utilizando-se, como maquinário principal um centro de torneamento CNC, é preciso determinar diversos parâmetros que irão configurar o equipamento a produzir aquilo que fora projetado.

Segundo COSA Intermáquinas (2017), os parâmetros para determinar a condição de corte são as rotações por minuto (RPM) da ferramenta, velocidade de corte, a profundidade de corte adotada, o avanço da ferramenta e, também, o fluido de corte.

As rotações por minuto (RPM) da ferramenta, devem ser ajustadas, para que se possa definir a velocidade de corte durante a usinagem. A qual, por sua vez, de acordo com CIMM (2010), representa a velocidade instantânea de um determinado ponto previamente definido sobre o gume, no movimento de corte em relação à peça.

A imagem 11 demonstra uma fresadora em operação de fresamento discordante, com seus devidos parâmetros ilustrados e direcionados.



Figura 11 – Fresamento Discordante com parâmetros de sentido de rotação (n), velocidade de corte (V_c) e avanço (V_f) definidos. (CIMM, 2010)

Segundo Bacci (2004), a profundidade de corte é caracterizada como um movimento de ajuste entre peça e ferramenta de corte para, assim, ajustar a espessura de material retirado (cavaco).

Ainda de acordo com Bacci (2004), o parâmetro de movimento de avanço, expresso em milímetros por rotação ($\frac{mm}{rot}$), em conjunto com o movimento de corte, irá gerar a retirada de cavaco, ao promover o movimento entre a peça e a ferramenta.

Bacci (2004), afirma que o fluido de corte, por sua vez, irá trabalhar como um lubrificante entre as superfícies, reduzindo a área de contato entre o cavaco e a ferramenta, dessa forma diminuindo as forças de usinagem.

Além disso, sabe-se que os fluidos de corte agem como refrigerantes, diminuindo as altas temperaturas geradas a partir do intenso atrito entre peça e ferramenta. Por fim, essas duas características dos fluidos de corte irão promover o aumento da vida útil do ferramental, ao diminuir o atrito, forças e temperaturas envolvidas no processo.

Em relação aos parâmetros referenciais, inerentes a computadorização do centro de usinagem, destaca-se a montagem em ordem lógica, *preset* e zero-peça.

A montagem em ordem lógica, determina as etapas, de forma cronológica que o sistema deve seguir, a fim de realizar as etapas de produção do produto proposto.

Preset de ferramentas é o processo de determinação da geometria como comprimento, raio e/ou diâmetro de uma ferramenta de corte utilizando um dispositivo de *preset* de ferramentas e um *software* dedicado. Algumas tecnologias de *preset* de ferramentas também são capazes de determinar informações como perfil radial/linear e condição do fio de corte. (RENISHAW PLC, 2022)

Segundo Rodrigues (2019), zero-peça é considerado como a origem do sistema de coordenadas definidos do programa, ou seja, é o ponto referencial ao início da peça.

2.4.4 – Vantagens e desvantagens do processo

Assim como todo processo de fabricação, os métodos de usinagem, em específico, aqueles utilizando centros de torneamento CNC, apresentarão vantagens e desvantagens que serão discutidas abaixo.

Dentre as vantagens, pode se destacar, de acordo com CCV Industrial (2019), o alto nível de produtividade das máquinas, aliado a diminuição do tempo de produção de cada peça, quando comparado à usinagem convencional. Vale mencionar também, a precisão e flexibilidade da usinagem CNC, o que traz uma elevada repetitividade, garantindo peças com boas tolerâncias dimensionais e geométricas, diminuindo, ou até mesmo, eliminando gastos com acabamento

Em consequência desses fatores, garante-se um maior número de operações, quando comparada a usinagem convencional ou a conformação, por exemplo, pois basta alterar o programa para a produção de uma peça completamente distinta.

Em relação às desvantagens, segundo Pazos (2002), comparando a usinagem CNC com a convencional. A primeira necessita de maior investimento inicial, dado ao elevado custo de aquisição do centro de usinagem e demais componentes necessários, desta forma, inviabilizando linhas de fabricação com baixa produtividade.

Há também, em linhas de produção baseadas em centros de torneamento CNC, maiores gastos de tempo e capital para a programação das máquinas. Estas também exigem manutenções de maior grau de exigência, necessitando de mão de obra especializada que, conseqüentemente, trarão maiores custos de manutenção.

Ainda, de acordo com CCV Industrial (2019), devido à maior complexidade do maquinário, se faz necessário a contratação de operadores especializados em usinagem CNC, o que também adiciona maiores custos salariais.

2.5 – Should cost

O *should cost analysis* é uma tentativa de suprir o necessário alcance detalhado do custo. É um procedimento utilizado para determinar quanto um produto deve custar assumindo um processo eficiente e um cenário econômico estável. Com a aplicação do *should cost* é possível realizar uma análise detalhada do custo além de desafiar o fornecedor para eliminar as ineficiências que atingem o preço final. (BURT, 2004).

Com a globalização cada vez mais desenvolvida, o avanço e acesso à novas tecnologias, criou-se um mercado consumidor cada vez mais exigente e ávido por novos processos, produtos e serviços. Nesse contexto, para atender o mercado global, criou-se a necessidade das empresas se renovarem constantemente, gerando um aumento significativo de concorrência ano após ano.

Diante desse cenário, o fator custo-benefício de um produto passa a ser o primordial aos olhos do consumidor, sendo o ponto chave para uma indústria se manter no mercado de maneira competitiva.

Assim, nasceu o *should cost*, uma ferramenta de análise de custos que visa examinar todas as nuances de um determinado processo produtivo, desde a obtenção da matéria-prima até as etapas de distribuição do produto, incluindo mão de obra, impostos e insumos envolvidos no processo.

2.5.1 – Definições de custos

Para o desenvolvimento de uma ferramenta de *should cost* é necessário, a princípio, definir todos os custos envolvidos na metodologia.

De acordo com Marchi (2017), define-se custo como uma despesa, sendo analisada de acordo com essa definição, já que nesse item são alocados pontos associados à produção de bens e serviços no processo de fabricação de um item ou prestação de um

determinado serviço contratado. Sendo assim, o custo torna-se um elemento que relaciona o uso de quaisquer serviços e produtos, vinculado em valores monetários, resultando, ou não, na geração de renda.

De acordo com Strutz (2017), dentre os custos envolvidos nos processos inerentes a uma linha de produção, em uma indústria, podem-se destacar os custos diretos e indiretos.

2.5.1.1 – Custos Diretos

Os custos diretos são custos que podem ser quantificados e identificados no produto ou serviço e determinados com facilidade. Dessa forma, não necessitam de critérios de rateios para serem alocados aos produtos fabricados ou serviços prestados. (STRUTZ, 2017).

Além disso, é definido que os custos diretos também são variáveis. De acordo com Leone (1997), esses custos irão variar conforme o volume de atividades. Para se iniciar a projeção dos custos variáveis, é preciso determinar a produção em grandezas físicas. Por exemplo, definir que serão produzidos 1000 parafusos sextavados por hora, em uma dada planta industrial.

Dessa forma, percebe-se que os custos variáveis dependerão da quantidade produzida, ou seja, os custos diretos para produzir 10.000 parafusos sextavados, serão diferentes dos custos diretos para produzir 100.000 parafusos sextavados.

Sendo assim, de acordo com Strutz (2017), os custos diretos envolvidos na produção de bens ou serviços serão a mão de obra direta, custos para aquisição ou obtenção da matéria prima e custos de embalagem do produto, quando esse é finalizado.

2.5.1.2 – Custos Indiretos

Segundo Leone (2000), os custos indiretos são os custos que não podem ser vinculados de maneira direta aos bens e serviços produzidos e, caso sejam relacionados a estes, é necessário que seja feita a utilização de critérios de rateio.

Isto é, são todos os gastos que uma empresa possui para se manter em operação, mas que não possuem ligação direta ao produto, uma vez que estes custos estão se relacionando com vários itens simultaneamente.

Os custos indiretos são divididos em custos indiretos variáveis e custos indiretos fixos.

No subitem “2.4.1.1 – Custos diretos”, já foi dada a definição de custos variáveis. Sendo aqueles que irão variar conforme o volume produtivo da planta industrial.

Os custos indiretos variáveis envolvidos no processo são os custos de energia elétrica e de água da fábrica, materiais de limpeza, custos de manutenção ferramental, depreciação do maquinário e mão de obra indireta, ou seja, aquela que não está envolvida diretamente com o processo produtivo, como, por exemplo, os profissionais da área administrativa da empresa.

Além disso, os custos indiretos também possuem outra categoria, a dos custos indiretos fixos. De acordo com Leone (2000), os custos fixos são os gastos que tendem a ser manter constantes, independente da quantidade de produtos. Isto é, esses custos são previamente fixados, não sofrendo alterações de acordo com a produção.

Por exemplo, o custo do valor de aluguel do prédio em que está inserida a fábrica se manterá, independente da quantidade produzida. Os custos indiretos fixos envolvidos na cadeia produtiva são custos de aluguel, depreciação do prédio, seguros, aquisição de maquinário e ferramental.

Além dos custos diretos e indiretos, há os custos relacionados aos impostos municipais, estaduais e federais, sendo importante suas corretas quantificações, pois esses afetarão no valor final de venda do produto.

Dessa forma, o custo final do produto será o somatório dos custos diretos variáveis, custos indiretos fixos e variáveis, impostos atribuídos e margem de lucro pré-estabelecida.

2.5.2 – Metodologia aplicada

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 detalhadas e encontrar oportunidades para melhorar o preço final do produto. (BURT, 2004).

A figura 12 traz um fluxograma explicitando as etapas utilizadas para que seja possível a adoção da metodologia should cost.



Figura 12 – Fluxo de processos de *Should Cost*. Adaptado de (RAVIKANTI, 2019).

Conforme visto acima, a metodologia should cost se inicia com a etapa de estudo de entrada, a qual visa abordar as características iniciais do processo, definindo a lista de materiais a ser utilizada, a confecção de modelos computacionais, especificações, definição do volume de produção e determinação do local de produção.

O próximo item do fluxograma, visa elaborar a base de dados do projeto, definindo-se os custos dos materiais, taxas de contratações, salários e benefícios, obtenção dos custos aquisição do maquinário, bem como sua depreciação.

Em seguida, há a etapa de cálculo do material, na qual se define a classificação e composição dos materiais, estimativa de peso total de material, bem como a previsão da taxa de material improdutivo, que virará sucata.

Na sequência, é necessário definir o plano de ação da linha de produção que está sendo desenvolvida, este inclui as capacitações dos colaboradores, tamanho do maquinário, para sua posterior alocação de maneira correta. Além disso, nessa etapa, é importante que seja determinado os fluxos de processo, tanto quanto o estudo do ferramental a ser utilizado.

A próxima etapa é denominada de tempo de ciclo. Ela irá abordar todos os tempos envolvidos no processo de fabricação da peça, sendo esses as jornadas de trabalho e tempo de operação das máquinas. Além disso, há a contabilidade dos tempos referentes aos parâmetros operacionais dos maquinários, por exemplo, taxa de produção por hora, tempo de alimentação dessas máquinas etc.

O próximo item do fluxograma, aborda o modelo de custo propriamente dito, isto é, os custos envolvidos no trabalho e nas máquinas, custos variáveis inerentes ao processo, custo de reposição ferramental e eventuais custos de perda.

Após, há a etapa de revisão dos custos envolvidos, a qual faz revisões minuciosas dos processos, revisando as etapas de manufatura, revisão dos custos dos fornecedores contratados, das finanças e revisão dos custos de fornecimento, quando o produto já foi finalizado e se encontra pronto para despacho.

Por último, é feita a análise de custo final da linha de produção, evidenciando os direcionadores de custos, realizando comparações com outros processos e/ou com concorrentes. Também, pode entrar nessa etapa, a análise das falhas, análises *What If*, a qual é uma técnica que identifica riscos em uma abordagem inicial, e análise TCO (*Total costs of ownership*), a qual, segundo Hoinaski (2017), é um instrumento de análise de custos, que se comunica à contabilidade da cadeia de suprimentos.

Ao final de todas as etapas e parâmetros definidos, torna-se possível a elaboração do *should cost* que seja confiável, flexível e com resultados robustos, pois, o custo de produção ficaria bem definido, possibilitando precificá-lo corretamente e, por consequência, conquistar espaço em um mercado extremamente competitivo e em constante evolução.

3 – METODOLOGIA

Neste capítulo, serão abordados os aspectos referentes à metodologia aplicada neste trabalho para a fabricação de um parafuso sextavado, utilizando-se de 3 métodos distintos de fabricação, sendo eles, metalurgia do pó, conformação mecânica e usinagem CNC.

Para a realização da comparação entre os processos de fabricação, visando selecionar aquele que possua o melhor custo benefício, será utilizada a metodologia *should cost*, a qual fará a análise de todos os custos, diretos e indiretos, envolvidos na produção de parafusos sextavados.

3.1 – Parafuso sextavado selecionado

Dentre os diversos tipos de parafusos sextavados, já abordados nesse trabalho, como visto na figura 1, será desenvolvida uma linha de produção para parafusos sextavados de rosca inteira.

Além disso, é preciso determinar a classificação do referido parafuso, assunto esse também já abordado nesse trabalho, por meio da figura 2. De acordo com Projette Parafusos (2020), dentre as opções disponíveis, foi-se escolhido o parafuso sextavado de rosca inteira de classificação M10, sigla essa que indica o diâmetro do corpo do parafuso, em milímetros, o qual possui as seguintes dimensões e relações:

- Diâmetro do corpo: 10 milímetros;
- Diâmetro da cabeça: 17 milímetros;
- Altura da cabeça: 6.56 milímetros;
- Relação rosca / passo: MA-1.5 milímetros;
- Comprimento do parafuso: 100 milímetros.

Sendo que, de acordo com CRV Industrial Parafusos (2019), a sigla “MA” indica parafusos de rosca grossa e a relação rosca / passo, define a distância, em milímetros, entre um filete e outro filete da rosca.

O comprimento do corpo do parafuso (100 mm), foi definido através da figura 13, a qual apresenta as possíveis dimensões de comprimento, de acordo com a classificação de um parafuso sextavado de rosca inteira.

Diâmetro ► Comprimento ▼	M 5 MA-0,8 0	M 6 MA-1,0 0	M 8 MA-1,2 5	M 10 MA-1,5 0	M 12 MA-1,7 5	M 14 MA-2,0 0	M 16 MA-2, 00	M 18 MA-2, 50	M 20 MA-2, 50
10	10	10							
12	12	12	12						
16	16	16	16						
20	20	20	20	20	20				
25	25	25	25	25	25				
30	30	30	30	30	30	30	30		
35	35	35	35	35	35	35	35		
40	40	40	40	40	40	40	40	40	
45	45	45	45	45	45	45	45	45	
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	55	55	55	55	55	55	55	55	
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
65	65	65	65	65	65	65	65	65	
70		70	70	70	70	70	70	70	
75		75	75	75	75	75	75	75	
80		80	80	80	80	80	80	80	
90		90	90	90	90	90	90	90	
100		100	100	100	100	100	100	100	
110			110	110	110	110	110	110	
120			120	120	120	120	120	120	
130				130	130	130	130	130	
140				140	140	140	140	140	
150				150	150	150	150		
160						160	160		
170						170			

Figura 13 – Comprimento do corpo de parafusos sextavados de rosca inteira, de acordo com sua classificação M-10 (ATD, 2018).

A figura 14 ilustra o modelo 3D, feito através do programa SolidWorks®, do parafuso sextavado de rosca inteira, com as dimensões citadas acima.

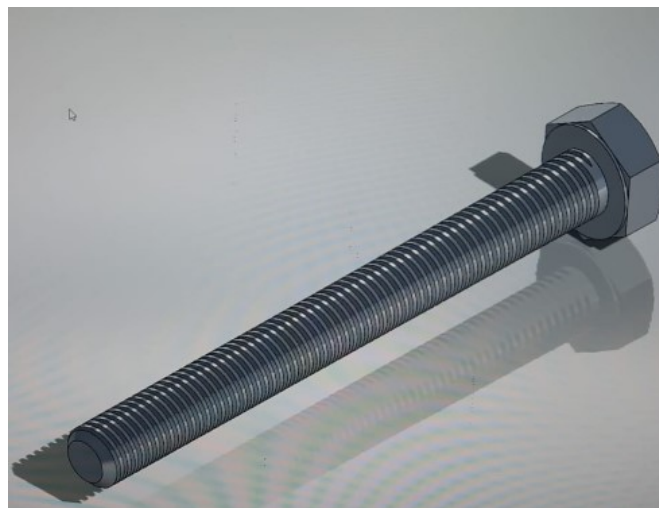


Figura 14 – Modelo 3D do parafuso, produzido via SolidWorks®. (OS AUTORES, 2022).

A seguir, a figura 15 mostra as vistas frontal e lateral, do parafuso selecionado, também feito através do programa SolidWorks®, com as dimensões de cada parte do parafuso, representadas em milímetros.

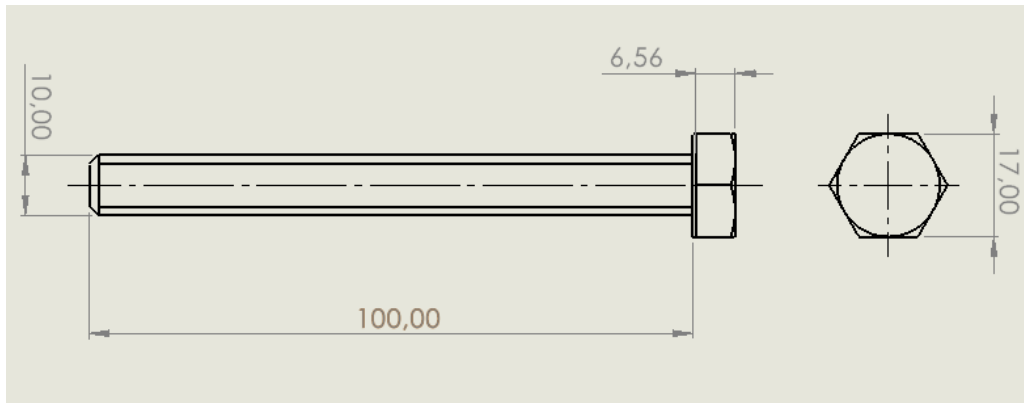


Figura 15 – Desenho técnico das vistas frontal e lateral do parafuso, com suas dimensões em milímetros. (OS AUTORES, 2022).

3.2 – Material selecionado

De acordo com Indufix (2022), para a fabricação de parafusos, há uma série de normas, que determinam a composição material dos parafusos.

Para esse trabalho, optou-se pela escolha da norma DIN ISO 898-1 com classe de resistência 8.8, com M menor que M16, a qual tem suas propriedades e composições materiais representadas abaixo na figura 16.

PARAFUSOS SÉRIE POLEGADA CONFORME NORMA DIN ISO 898-1									
CLASSE DE RESISTÊNCIA	DUREZA	TENSÃO TRACÇÃO MÍNIMA (kgf/mm ²)	TENSÃO ESCOAMENTO MÍNIMA (kgf/mm ²)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA %					
				% C	% Mn mín.	% P máx.	% S máx.	B máx.	
4.6	67 - 95 HRB	41	24	0.55 Máx.	-	0.035	0.06	0.03	
5.8	82 - 95 HRB (2)	53	42	0.55 Máx.	-	0.035	0.06	0.03	
8.8	22 - 32 HRC	81.5	64	0.15 - 0.40	0.60	0.035	0.035	0.003	
8.8	>M16	23 - 34 HRC	84.6	66	0.25 - 0.55	0.60	0.035	0.035	0.003
10.9	32 - 39 HRC	106.0	90	0.25 - 0.55	0.70	0.035	0.035	0.003	
12.9	-1	39 - 44 HRC	124.4	108	0.28 - 0.50	-	0.035	0.035	0.003

Figura 16 – Norma DIN ISO 898-1. (INDUFIX, 2022).

Para a produção do parafuso sextavado de rosca inteira M10, optou-se pela utilização da norma DIN ISO 898-1, classe de resistência 8.8, com a seguinte composição química:

- Ferro (Fe): 99,027 %;
- Carbono (C): 0,3 %;
- Manganês (Mn): 0,6 %;
- Fósforo (P): 0,035 %;

- Enxofre (S): 0,035 %;
- Boro (B): 0,003%.

Ao se combinar a norma DIN escolhida, juntamente com a composição química adotada, conforme a figura 16 indica, o parafuso terá dureza de 28 HRC, resultado esse obtido por interpolação linear, variando de acordo com as porcentagens de carbono e as durezas em HRC, tensão de tração mínima de $81,5 \left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$, tensão de escoamento mínima de $64 \left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$.

3.3 – Linhas de produção

Nos subitens a seguir, serão percorridas todas as etapas das linhas de produção para os 3 processos de fabricação adotados: metalurgia do pó, conformação mecânica e usinagem CNC, respectivamente.

3.3.1 – Linha de produção: Metalurgia do Pó

De início, é necessário a aquisição dos pós metálicos que servirão de matéria prima para o parafuso. Para a elaboração desse processo, se faz preciso a compra dos seguintes elementos em pó: ferro, carbono, manganês, fósforo, enxofre e boro.

Em seguida, é necessário a separação dos pós, nas proporções mencionadas no subitem “3.2 – Material Selecionado”. Isto é, precisa-se formar um pó que contenha, 99,027% de ferro (Fe), 0,3% de carbono, 0,6% de manganês, 0,035% de fósforo (P), 0,035% de enxofre (S) e 0,003% de boro (B).

A próxima etapa consiste na mistura dos pós-metálicos selecionados através do uso de um misturador. Para a linha de produção em questão, será utilizado o misturador de pó duplo cone, da Alki Máquinas, o qual realizará mistura por tombamento.

Já a capacidade produtiva, será de acordo com necessidade da linha de produção em um dado período.

O equipamento, todo fabricado em aço inox, é dotado dos seguintes detalhes técnicos:

- Vedações em Silicone;

- Motor Weg;
- Pés niveladores;
- Duas bocas para carga e descarga de produtos;
- Acompanha inversor de frequência;
- Possui barra de segurança removível;
- Mancais auto centrante.

Ressalta-se que, conforme especificações do fabricante, 40% da capacidade de volume do equipamento deve estar vazia, para permitir a adequada mistura da matéria prima utilizada.

A figura 17 mostra o misturador em duplo cone, produzido pela Alki Máquinas, que será utilizado no processo de mistura.



Figura 17 – Misturador de pó duplo cone. (ALKI MÁQUINAS, 2022).

Ainda na etapa de mistura dos pós, é necessário a adição de fluidos lubrificantes para reduzir o atrito entre o compactado comprimido e as paredes da matriz, durante a próxima etapa do processo, denominada compactação.

Para a linha de produção em questão, optou-se pela escolha do lubrificante a base de bissulfeto de molibdênio, o qual, de acordo com Arantes (2019), é indicado para sinterização inferiores à 870°C, além de, segundo DNC Industrial (2022), garantir

proteção contra corrosão e umidade, além de se manter inerte, quando em contato com outros produtos químicos.

Vale destacar que a comunicação entre os diferentes maquinários se dá através de linhas automáticas de produção, com o auxílio de esteiras rolantes automatizadas, que transportam as peças de um ponto até outro.

Conforme dito anteriormente, a próxima etapa da linha produtiva será a compactação, que ocorrerá por meio da combinação de uma matriz, com o formato da peça desejada e a atuação de uma prensa, que pressionará o pó junto a referida matriz.

A matriz utilizada, terá 8 cavidades com o formato do parafuso sextavado de rosca inteira, o qual foi desenvolvimento seu modelo 3D via SolidWorks®, com as devidas dimensões e relações já apresentadas nesse trabalho. Após a compactação, a peça verde já estará inclusive, com o rosqueamento definido no corpo do parafuso.

Para a compactação na matriz, será utilizado uma prensa hidráulica, voltada para a metalurgia do pó. O equipamento selecionado foi a prensa de metal em pó da Tsinfra, com capacidade de 315 toneladas, alimentação automática e que possui capacidade de produzir uma moldagem por compressão de alta qualidade.

A figura 18 ilustra a prensa hidráulica de metal em pó da Tsinfra, empresa chinesa, que será utilizada na linha de produção dos parafusos sextavados.



Figura 18 – Prensa de metal em pó. (TSINFA, 2022).

A etapa seguinte consiste na sinterização da peça verde, em fornos de alta temperatura, para ocorrer a ligação química e metalúrgica entre as partículas que compunham o compactado, fazendo com que a peça recém-criada tenha as propriedades mecânicas, densidade e dureza desejadas

Para a linha de produção em questão, foi selecionado o forno de sinterização de malha contínua da Grefortec, empresa situada no Rio Grande do Sul, com participação na indústria brasileira.

Esse equipamento permite o controle da atmosfera no seu interior, evitando possíveis contaminações, além do controle digital de temperatura de segurança, isto é, evitar alcançar as temperaturas de fusão dos metais em cada seção de fornalha do equipamento.

A figura 19 mostra o forno selecionado para a sinterização das peças verde.



Figura 19 – Forno de sinterização de malha contínua. (GREFORTEC, 2022).

Devido à alta qualidade das peças produzidas por metalurgia do pó, após a sinterização, não é necessário a adoção de procedimentos de acabamento da peça, como por exemplo, retificação ou lixação. No entanto, é recomendado que haja uma equipe de controle de qualidade, a qual irá, através de equipamentos de metrologia, como micrômetros e paquímetro, verificar, por amostragem, o lote recém produzido.

Após essa inspeção e devida liberação do lote produzido, segue-se para a etapa de embalar os parafusos produzidos. Para essa operação, se faz necessário a aquisição de uma embaladora, a escolhida para a linha de produção foi a embaladora vertical Microvert Pro, da marca Imanpack, a qual é apropriada para embalagem de pequenas peças metálicas, como, por exemplo, os parafusos sextavados.

Além disso, também pode ser ligada à linhas automáticas de produção, se adequando, portanto, ao processo descrito em todo esse subitem, já que o controle da produção pode ser feito por CLP (Comando lógico programável).

A figura 20, traz a embaladora vertical Microvert Pro, da Imanpack Packaging & Eco Solutions Spa, empresa de origem italiana.

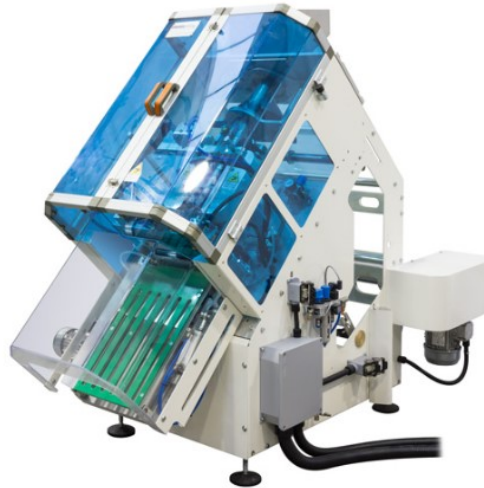


Figura 20 – Embaladora vertical Microvert Pro. (IMANPACK PACKAGING & ECO SOLUTIONS SPA, 2022).

Por fim, para ilustrar toda a linha de produção descrita acima, segue, na figura 21, um diagrama que indica as etapas e fluxos dos processos envolvidos na produção dos parafusos sextavados de rosca inteira M10, por metalurgia do pó.



Figura 21 – Diagrama da linha de produção por metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

3.3.2 – Linha de produção: Conformação Mecânica

A princípio, é preciso a compra do aço DIN ISO 898-1 8.8, bobinado em formato de fio, o que facilitará as próximas etapas do processo de conformação mecânica dos parafusos sextavados de rosca inteira.

Após a obtenção do material, é preciso inseri-lo na linha automática de produção, através de um cavalete desbobinador de fios e cabos metálico, o qual seguirá para a seção de corte por cisalhamento.

Vale destacar, que a comunicação entre os diferentes maquinários, se dá através de linhas automáticas de produção, com o auxílio de esteiras rolantes automatizadas, que transportam as peças de um ponto até outro.

Utilizando-se de uma punção em uma matriz, o fio é cortado de acordo com o tamanho desejado para a fabricação da peça. Para a realização do corte por cisalhamento e conformação da cabeça do parafuso será utilizado uma prensa à frio de dupla ação modelo CH 4 da Himafe International, empresa originalmente alemã, mas com participação no mercado brasileiro. O equipamento em questão é capaz de conformar até 170 parafusos por minuto.

Caso seja necessário, após o forjamento à frio da cabeça do parafuso, é preciso realizar a retirada de rebarbas, podem ser criadas, após o processo de conformação. Para a retirada, se faz uso do processo de rebarbação, que utilizará um rebolo de desbaste, o qual retirará o excesso de material.

A figura 22 ilustra o equipamento selecionado, juntamente com as características técnicas do modelo escolhido.

Características técnicas



Tipo		CH 00	CH 0	CH 1 - L	CH 2-L	CH 4
Diâmetro máximo do arame p/ parafusos de alta resistência	mm	3	4	6	8	12
p/ parafusos normais e rebites	mm	3,5	4,5	7	9	12
Dimensões da gama dos diâmetros do arame	mm	1-3,5	2- 4,5	3- 7	4- 9	6-12
Comprimento mínimo e máximo da haste do parafuso	mm	3-32	4- 40	6- 60	8- 102	15-130
Comprimento máximo de corte do arame	mm	40	50	75	102	170
Produção máxima da máquina c/ r						
egulador de velocidade	peças/min	...220	...200	...180	...140	...100
Consumo de energia aproximado	Kw	2	3,5	7,5	11	15
Peso líquido aproximado	Kg	1100	1600	2400	5000	11.000
Dimensões das ferramentas						
Standart:						
Bucha de corte (max)	Ø mm	14	16	18(16)	25(20)	35
Matriz (max)	Ø mm	30(35)	35(40)	45(40)	60(50)	70
1º punção	Ømm	22	25	32/30	32/30	50
2º punção	Ømm	25	30	35	35	60

Figura 22 – Características técnicas e modelos da prensa à frio de dupla ação utilizada. (HIMAFE INTERNATIONAL, 2022).

Como a linha de produção está baseada em parafusos sextavados de rosca inteira M10, ou seja, com 10 milímetros (mm) de diâmetro da cabeça e comprimento do corpo do parafuso de, 100 milímetros (mm), se faz necessária a escolha do modelo CH 4.

Para o cálculo do comprimento do fio metálico cortado, utilizado para a produção de um parafuso, é preciso medir o volume de um protótipo com as mesmas dimensões e, então, medir o volume que esse possui, buscando cortar uma porção do fio com o mesmo volume do parafuso protótipo.

Tal procedimento é possível, pois, na conformação mecânica, de acordo com Arantes (2022), trabalha-se com a suposição do volume constante pré e pós operação.

Em seguida, a peça seguirá para a etapa da conformação da rosca no corpo do parafuso, por meio do processo de rolamento. Para tanto, será utilizada a máquina de rolamento em sequência, a qual produzirá a rosca em alta velocidade dos parafusos.

O equipamento utilizado para a realização da operação foi a máquina de rolamento em sequência modelo RCG10N, da Taiwan Metiz Alliance, conforme ilustrado pela figura 23.



Figura 23 – Máquina de rolamento em sequência, modelo RCG10N. (Taiwan Metiz Alliance, 2022).

Já a figura 24, traz as especificações técnicas do modelo escolhido, com este estando destacado dos demais.

Modelo	diâmetro do corpo (mm)	comprimento do corpo (mm)	comprimento da rosca (mm)	comprimento do curso de rolamento (mm)	tamanho do dado de rolagem (mm)	Potência do motor (HP)	Peças por minuto	Peso aproximado da máquina (kg)
RCG2A	1-3	25	20	138	51/64/19	1	275-330	750
RCG5TA	2-5	38	38	186	76/89/25	3	220-240	1150
RCG05H	2-5	50	50	220	76/89/25	3	190-230	1260
RC06H	3-6	50/75	50	220	90/105/25	5	220-240	1600
RCG08N	4-8	75/100/150/200	75	268/290/350	108/140/127/25	7.5	110-180	2300
RCG10N	6-10	100/150/200/300	100	350	150/165/25	15	80-110	6200
RC12N	8-12	100/150/200/300	100	450	190/215/25	20	80-90	8715
RC16N	8-16	76	30	580	250/270/38	7.5	60-80	3650
RC19N	12-16	150/200/300	150	570	230/265/38	30-4P/6P	50-60	10200
RC20N	14-20	200/300	150	710	290/330/50	40-4P/6P	40-50	11500
RC25N	16-24	200/300	150	920	380/420/50	60-4P/6P	35-45	22400

Figura 24 – Características técnicas do modelo RCG10N. (ADAPTADO DE TAIWAN METIZ ALLIANCE, 2022).

Ao finalizar o processo de rolagem, a peça estará praticamente pronta, restando apenas a etapa de tratamento térmico, a qual irá garantir aumento da dureza e alívio de tensões residuais, evitando assim, uma possível fragilização da peça.

Para tanto, será necessário um forno, o qual deverá alcançar a temperatura de austenitização, para que seja realizada a têmpera e, posterior, recozimento.

O forno utilizado será o forno contínuo com esteira Jung, produzido pela Fornos Jung Limitada, de capacidade térmica de até 1000°C, o qual realiza processos de pré-aquecimento, têmpera e recozimento.

A figura 25 mostra o forno contínuo Jung utilizado na linha de produção em questão.



Figura 25 – Forno de malha contínua. (GREFORTEC, 2022).

Após essa etapa de tratamento térmico, é recomendado que haja uma equipe de controle de qualidade, a qual irá, através de equipamentos de metrologia, como micrômetros e paquímetro, verificar, por amostragem, o lote recém produzido.

Após essa inspeção e devida liberação do lote produzido, é realizada a etapa de embalagem dos parafusos produzidos. Para esse processo, se faz necessário a obtenção de uma embaladora, a escolhida para a linha em questão foi a embaladora vertical Microvert Pro, da marca Imanpack, uma vez que está é recomendada para embalar pequenas peças metálicas, como para o processo de fabricação em questão.

Outro aspecto importante, trata-se da possibilidade desse equipamento ser conectado à linhas automáticas de produção, se adequando ao processo descrito em todo esse capítulo, já que o controle da produção pode ser feito via CLP (Comando lógico programável).

A figura 20, já mostrada no subitem “3.3.1 – Linha de produção: metalurgia do pó”, apresenta a embaladora vertical Microvert Pro, da Imanpack Packaging & Eco Solutions Spa, empresa de origem italiana.

3.3.3 – Linha de produção: Usinagem CNC

A princípio, é preciso a compra do aço DIN ISO 898-1 8.8, em formato de tarugo, o que facilitará as próximas etapas do processo de usinagem dos parafusos sextavados de rosca inteira.

Em seguida, é preciso o desenho em *CAD* tanto 2D quanto 3D da peça a ser produzida, para que assim, seja possível a preparação de toda a programação do centro de torneamento CNC.

As figuras 14 e 15 ilustram o desenho em *CAD* do parafuso, mostrado no subitem “3.1 – Parafuso sextavado selecionado”.

Como os tarugos da matéria prima vêm em longos comprimentos, é necessário um processo de corte dos mesmos, para adequar ao comprimento final dos parafusos produzidos.

Vale destacar que, a comunicação entre os diferentes maquinários, se dá através de linhas automáticas de produção, com o auxílio de esteiras rolantes automatizadas, que transportam as peças de um ponto até outro.

Em seguida, com o auxílio de uma máquina de corte de tarugos CNC, modelo WILA-30, fabricado pela *Maanshan Wila CNC Machine Tools*, empresa chinesa especializada em equipamentos CNC, os tarugos serão cortados por meio de discos cortantes.

A figura 26 ilustra a máquina de cortes de tarugos CNC, modelo WILA-30, utilizado na linha de produção.



Figura 26 – Máquina de corte de tarugo CNC WILA-30 (WILA MACHINE TOOLS, 2022).

Para o abastecimento dos centros de torneamento CNC, serão necessários a aquisição de robôs com braços articulados, os quais alimentarão as máquinas CNC que, perante a programação já definida e inserida, estarão prontas para fazer a usinagem não só da cabeça, como também da rosca do parafuso.

A figura 27 ilustra o robô com braço articulado, com movimentação em 6 eixos, da Borunte, modelo BRTIRUS0805A, com capacidade de 5 kg, selecionado para a linha de produção em questão.



Figura 27 – Robô de braço articulado em 6 eixos. (BORUNTE ROBOT COMPANY, 2022).

Conforme dito anteriormente, o centro de torneamento CNC será responsável pela completa fabricação do parafuso, sem a necessidade de processos de acabamento.

Caso seja necessário, pode ser feito um tratamento térmico, como têmpera, por exemplo, visando a melhora das propriedades mecânicas do parafuso recém produzido.

Como já ilustrado na figura 10, no subitem “2.4.1 – Centro de torneamento CNC”, os centros de torneamentos selecionados para a linha de produção serão os da ROMI S.A., modelo GL 300M, com acessórios de broca, fresa de topo, alargador, macho de roscar, cabeçotes fresadores etc.

Além disso, dentre as operações realizadas pelo equipamento, pode-se destacar os processos de alargamento, fresamento, furação, mandrilhamento, rebaixo e rosqueamento. A partir dessas operações é possível a usinagem de parafusos sextavados de rosca inteira, modelo M10, de material DIN ISO 898-1, classe 8.8.

Após essa etapa usinagem, é recomendado que haja uma equipe de controle de qualidade, a qual irá, através de equipamentos de metrologia, como micrômetros e paquímetro, verificar, por amostragem, o lote recém produzido.

Após essa inspeção e posterior liberação do lote produzido, segue-se para a etapa de embalar as peças produzidas. Para essa operação, é fundamental a aquisição da de uma embalador, para o cenário em questão, optou-se pela seleção da embaladora vertical Microvert Pro, da marca Imanpack, indicada, como já dito anteriormente em outros subitens, para embalagem de pequenas peças metálicas, como, por exemplo, os parafusos sextavados.

Outro ponto importante a se destacar é que esta ser inserida à linhas automáticas de produção, se inserindo, portanto, ao processo descrito acima, uma vez que seu controle pode ser feito por CLP (Comando lógico programável).

A figura 20, já mostrada no subitem “3.3.1 – Linha de produção: metalurgia do pó”, traz a embaladora vertical Microvert Pro, da *Imanpack Packaging & Eco Solutions Spa*, empresa de origem italiana.

4 – SHOULD COST E DISCUSSÕES

Conforme dito anteriormente, o objetivo deste trabalho é, por meio da metodologia *should cost*, determinar, através de 3 processos de fabricação diferentes, via metalurgia do pó, conformação mecânica e usinagem CNC, os custos envolvidos para a fabricação de parafusos sextavados M10 de rosca inteiras.

Por meio de análises dos custos totais obtidos através da contabilidade dos custos diretos e indiretos, será possível determinar qual processo é o mais viável economicamente e, assim, assegurar a linha de produção mais adequada para a peça em questão.

Além disso, levou-se em conta algumas simplificações, para tornar possível a aplicação da metodologia, tais como, desconsiderar os custos envolvidos de transporte das peças, por meio de linhas de produção automáticas, através de esteiras automáticas e demais componentes que possam vir a compor a linha de alimentação.

Desse modo, serão considerados apenas os maquinários responsáveis por processos de transformação material, como, por exemplo, os fornos de sinterização ou máquina de rolagem. Contudo, alguns itens exclusivos à um determinado processo, como o caso dos robôs articulados na alimentação das máquinas CNC, serão considerados nos custos de produção.

No entanto, mesmo com tais aproximações, os resultados obtidos representam com fidelidade as diferenças encontradas entre os métodos de fabricação.

4.1 – *Should cost*: Metalurgia do Pó

Em seguida, será utilizada a metodologia *should cost* para aferir os custos envolvidos no processo de fabricação do parafuso sextavado M10 por meio da metalurgia do pó. Antes de iniciar, foi definido uma taxa de produção de 300 parafusos por minuto.

Para que os resultados do trabalho sejam analisados à longo prazo, os custos serão estimados em um período de 10 anos de produção ininterrupta, com a fábrica operando 84 horas semanais, em 2 turnos diários de 8 horas cada, os quais ocorrem de segunda à sexta. Já aos sábados, haverá turno único, com funcionários se alternando, de 4 horas de trabalho.

4.1.1 – Custo de aquisição do ferramental e maquinário

Para a linha de produção por metalurgia utilizou-se os seguintes equipamentos, misturador de pó duplo-cone Alki máquinas, com capacidade de 20 kg de mistura, no entanto, para uma mistura efetiva, o fabricante indica apenas 60% da capacidade total do equipamento.

Portanto, cada misturador será capaz de operar com 12 kg de mistura. Para tanto será necessário a aquisição de 9 misturadores, de acordo com os itens e contas abaixo:

- Volume da peça: 9,03774 cm³;
- Densidade média do aço: 7,8 g/cm³;
- Taxa de material perdido: 3%;
- Produtividade: 300 peças/min.

Assim, por meio da multiplicação do volume da peça pela densidade média do aço, obtém-se a massa de uma unidade, a qual é, aproximadamente, 70,5 gramas. Como foi estipulado 300 peças por minuto, multiplica-se esse valor pela massa de cada parafuso e, então, obtém-se uma massa de 21,15 kg. Vale destacar que, a taxa de material perdido se deve ao desperdício de pós inerentes ao processo, durante transporte e manuseio. Sendo seu valor estipulado pelos autores do trabalho.

Por fim, é preciso multiplicar esse valor por 1,03, para determinar o valor final com a taxa de material perdido, obtendo assim uma massa de 21,7845 kg que será necessário para cada minuto de produção.

Além disso, determinou-se que o tempo de mistura do pó, para cada misturador será de 5 minutos. Logo, multiplicou-se a massa final por minuto, pelo tempo gasto de cada misturador, isto é, 5 minutos. Após os cálculos, foram obtidos, aproximadamente 109 kg de matéria prima.

Ao dividir, pela capacidade máxima recomendada pelo fabricante, chega-se ao resultado de, aproximadamente, 9 misturadores de pó duplo-cone da Alki máquinas.

O custo de cada equipamento será de R\$ 13.975,40.

Em seguida, na linha de produção, é preciso definir o tempo em que cada matriz será prensada, por meio de valores médios de mercado. Estipulou-se 6,4 segundos de prensagem do pó metálico.

Além disso, como dito anteriormente, cada matriz possui 8 cavidades, logo, são produzidas pelo conjunto matriz-prensa 75 peças por minutos. Como é preciso a produção de 300 parafusos sextavados por minuto, se faz necessária a aquisição de 4 prensas hidráulicas de metal em pó TSINFA, com capacidade de 315 toneladas no valor de R\$ 27.917,00. Bem como a aquisição de 4 matrizes com 8 cavidades cada, no valor de R\$ 30.000,00.

A próxima etapa consiste na sinterização das peças verdes produzidas, sendo necessário a utilização de um forno de sinterização de malha contínua. Para tanto, foi adquirido o forno de sinterização de malha contínua da Grefortec.

Com a produção estimada em 300 peças/minuto, sabe-se que é necessário a produção de 18.000 peças/hora.

Para que o processo no forno esteja completo, são necessários 10 minutos de sinterização, portanto, cada forno deve produzir 3.000 peças a cada 10 minutos, o que está dentro da capacidade produtiva do forno selecionado.

O forno utilizado foi cotado, junto à Grefortec, R\$ 10.000.451,28.

Por último, é necessário a aquisição da embaladora. A selecionada foi a embaladora vertical *Microvert Pro*, a qual possui capacidade de embalar 300 peças por minuto, ao custo de R\$ 56.900,00.

A tabela 7 reúne os custos envolvidos com o investimento inicial dos equipamentos.

Tabela 7 – Investimento inicial de equipamentos para metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

Equipamentos da linha de produção	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Misturador duplo-cone Alki 20 kg	R\$ 13.975,40	9	R\$ 125.778,96
Prensa Hidráulica de metal em pó TSINFA 315 ton.	R\$ 27.919,00	4	R\$ 111.676,00
Matriz metálica com 8 cavidade para parafusos sextavados M10	R\$ 30.000,00	4	R\$ 120.000,00
Forno de sinterização de malha contínua Grefortec	R\$ 10.000.451,28	1	R\$ 10.000.451,28
Embaladora vertical Microvert Pro	R\$ 56.900,00	1	R\$ 56.900,00
Investimento inicial de equipamentos			R\$ 10.414.806,24

4.1.2 – Custo de aquisição da matéria prima

Para determinar os custos referentes à matéria, é importante, primeiramente, determinar a quantidade de peças produzidas durante um mês. Para tanto, é importante definir o tempo de operação diário, para determinar a quantidade de parafusos produzidos.

A produção operará, de segunda a sexta feira em dois turnos de 8 horas cada, acumulando em 16 horas diárias de produção, com 17 horas de operação total, contando mudanças de turno e paradas para manutenção. Já aos sábados, ocorrerá apenas um turno de 4 horas.

Isto é, durante uma semana, os parafusos serão produzidos em um tempo de operação de 84 horas semanais. Já que o ano possui 52 semanas, o tempo total de produção serão 4.386 horas, ou, 364 horas mensais.

Logo, como a produção é de 300 parafusos por minuto, em uma hora serão produzidos 18.000 parafusos. Portanto, em um mês serão fabricados 6.552.000 parafusos mensais, totalizando, em um período de 10 anos 786 milhões e 240 mil parafusos.

Em média, cada parafuso pesa 70,5 gramas. Para o dimensionamento da quantidade de matéria prima necessária, multiplica-se a massa pelo número de parafusos, resultando em 461.916 kg/mês de matéria prima, aproximadamente.

Para o aço DIN ISSO 898-1 classe 8.8, tem-se as proporções conforme explicitado na tabela 8, bem como os custos envolvidos na aquisição de matéria prima para um mês, um ano e 10 anos, respectivamente.

No entanto, vale destacar, para simplificação dos cálculos, que foram desconsiderados os aumentos no preço do material devido à inflação e flutuações dos mercados no decorrer dos anos.

Tabela 8 – Matéria prima consumida em um mês para metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

Elemento em pó	Composição (%)	Quantidade (kg)	Valor total de cada elemento (kg)	Valor total mensal para cada elemento
Ferro (Fe)	99.027	45.742,15573	R\$ 71,80	R\$ 3.284.286,78
Carbono (C)	0.300	138,5748	R\$ 33,30	R\$ 4.614,54
Manganês (Mn)	0.600	277,1496	R\$ 98,00	R\$ 27.160,66
Fósforo (P)	0.035	16,16706	R\$ 12,22	R\$ 197,56
Enxofre (S)	0.035	16,16706	R\$ 24,74	R\$ 399,97
Boro (B)	0.003	1,385748	R\$ 3.881,60	R\$ 5.378,92
Investimento mensal de matéria prima			R\$ 3.322.038,44	
Investimento anual de matéria prima			R\$ 39.864.461,25	
Investimento para 10 anos de matéria prima			R\$ 398.644.612,44	

Além disso, se faz necessário a aquisição de lubrificante a base de bissulfeto de molibdênio. Para o processo em questão, será utilizado 0,5% do valor da massa total de

matéria utilizada, ou seja, para o intervalo de 10 anos, irá se utilizar 277.149,6 kg de lubrificante em 10 anos de operação.

O preço do bissulfeto de molibdênio encontrado, para 500 gramas, foi de R\$ 202,92. Portanto, para 10 anos de operação, o valor gasto de lubrificante, desconsiderando aumentos devido à inflação e outros foi de R\$ 112,478,393.7.

4.1.3 – Custos de mão de obra direta

Para a definição dos custos de mão de obra direta, primeiramente, foi necessário a definição da quantidade de colaboradores em cada área por turno, lembrando que a indústria opera em dois turnos, sendo preciso dobrar o quadro de funcionários, com exceção do gerente de turno, que será apenas um para ambos.

Os valores do salário estão representados na tabela 9, com o acumulativo para 10 anos de operação da linha de produção. Vale ressaltar que, para simplificação dos cálculos, desconsiderou-se os custos com férias e 13º salário, além de encargos trabalhistas.

Tabela 9 – Custos de mão de obra direta para metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Operador dos misturadores	6	R\$ 2.500,00	R\$ 15.000,00
Operador das prensas	8	R\$ 2.500,00	R\$ 20.000,00
Operador de forno	2	R\$ 3.200,00	R\$ 6.400,00
Operador de embaladora	2	R\$ 2.100,00	R\$ 4.200,00
Engenheiro Mecânico	1	R\$ 7.395,93	R\$ 7.395,93
Líder de equipe	2	R\$ 4.500,00	R\$ 9.000,00
Inspeção de lotes	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Gerente geral	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Custo mensal de mão de obra direta		R\$ 83.995,93	
Custo em 10 anos de mão de obra direta		R\$ 10.079.511,60	

4.1.4 – Custos de manutenção e depreciação

Dando início a estimativa dos custos indiretos da linha de produção, é preciso estimar os gastos envolvendo manutenção e depreciação no decorrer dos 10 anos de produção da linha.

De acordo com Arantes (2020), pode-se estimar um custo de depreciação de 10% por ano do equipamento, portanto, em 10 anos de operação, em um formato semelhante a juros compostos, o equipamento desvalorizará da seguinte forma:

- Valor Inicial (tabela 7): R\$ 10.414.806,24;
- Valor Após 1 ano: R\$ 9.373.325,62;
- Valor após 5 anos: R\$ 6.149.838,94;
- Valor após 10 anos: R\$ 3.631.418,39;

Logo, o custo de depreciação total será o valor inicial de investimento de equipamento (tabela 7) menos o valor após 10 anos de depreciação, o que resulta em um gasto de R\$ 6.783.387,85.

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2019), a média de gastos com manutenção é de 5% por ano, totalizando 50% do valor de aquisição dos equipamentos investidos.

Logo, o valor gasto com manutenção é de R\$ 5.207.403,12 no decorrer de 10 anos de funcionamento da linha de produção em questão.

4.1.5 – Custos de mão de obra indireta

Os custos de mão de obra indireta representam aqueles colaboradores que atuam na empresa, porém fora da linha da produção, como nos cargos de gestão e contabilidade, por exemplo.

A tabela 10 apresenta os custos envolvidos com mão de obra indireta, tanto para um período de 1 mês, como também para 10 anos. Vale ressaltar que, para simplificação dos cálculos, desconsiderou-se os custos com férias e 13º salário, além de encargos trabalhistas.

Tabela 10 – Custos de mão de obra indireta para metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Contador	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
Marketing e RH	3	R\$ 3.200,00	R\$ 9.600,00
Vendedores	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Diretor	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00

Custo mensal de mão de obra indireta	R\$ 46.600,00
Custo em 10 anos de mão de obra indireta	R\$ 5.592.000,00

4.1.6 – Custos indiretos

Nos custos indiretos, serão abordados os gastos com aluguel, manutenção e limpeza predial, realizados por uma empresa terceirizada devidamente contratada, gastos com energia, água.

Além disso, os gastos com expedição, ou seja, transporte e recebimento, serão feitos, também, por uma empresa terceirizada, devidamente contratada.

Para a definição de custo de aluguel, optou-se por uma galpão de 48x50 metros, com um valor médio de aluguel mensal de R\$ 35.000,00, na cidade de Uberlândia – MG.

Para quantificar os gastos com energia elétrica, de acordo com Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2017), 40% dos custos de produção são vinculados aos gastos com energia elétrica.

Foi considerado como custo de produção a somatória dos gastos com a aquisição de equipamentos e mão de obra direto.

A tabela 11 ilustra os gastos indiretos que a linha de produção possui, incluindo os custos mensais, anuais e para 10 anos de operação.

Tabela 11 – Custos indiretos para metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

Custo indireto	Valor mensal	Custo anual	Custo em 10 anos
Aluguel mensal do prédio	R\$ 35.000,00	R\$ 420.000,00	R\$ 4.200.000,00
Energia Elétrica	R\$ 68.314,39	R\$ 819.772,68	R\$ 8.197.726,80
Empresa de limpeza e manutenção predial	R\$ 20.000,00	R\$ 240.000,00	R\$ 2.400.000,00
Água	R\$ 4.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 480.000,00
Empresa de expedição	R\$ 25.000,00	R\$ 300.000,00	R\$ 3.000.000,00
Custo total		R\$ 18.277.726,80	

Por fim, adotou-se uma margem de lucro de 15% ao valor final de produção, o qual representa a soma de todos os custos envolvidos no processo, diretos e indiretos. A tabela 12 reúne todos os gastos envolvidos no processo, incluindo a margem de lucro da produção.

Tabela 12 – Custos totais para metalurgia do pó. (OS AUTORES, 2022).

Custo	Custo em 10 anos
Equipamento	R\$ 10.414.806,24
Manutenção	R\$ 5.207.403,12
Depreciação	R\$ 6.783.387,85
Matéria prima	R\$ 398.644.612,44
Mão de obra direta	R\$ 10.079.511,60
Mão de obra indireta	R\$ 5.592.000,00
Custos indiretos	R\$ 18.277.726,80
Custo total (com lucro de 15%)	R\$ 523.249.365,26

Para se determinar o custo unitário de cada parafuso sextavado M10 de rosca inteira, é preciso determinar a quantidade produzida em 10 anos.

Conforme citado no subitem “4.1.2 – Custo de aquisição de matéria prima”, serão produzidos, em 10 anos, 786.240.000 parafusos.

Para se determinar o valor, é preciso seguir a equação (5).

$$Custo\ unitário = \frac{Custo\ total\ com\ lucro}{Número\ de\ parafusos\ fabricados} = R\$ 0,67 \quad (5)$$

Portanto, a linha de produção baseada em metalurgia do pó, produziu parafusos sextavados M10 de rosca inteira, ao preço de R\$ 0,67. Sobre as vantagens e desvantagens do processo, revisar o subitem “2.2.3 – Vantagens e desvantagens do processo”, o qual aborda o assunto.

4.2 – Should cost: Conformação Mecânica

A seguir, será utilizada, também, a metodologia *should cost* para quantificar os custos envolvidos no processo de fabricação do parafuso sextavado M10 por meio da conformação. Antes de iniciar, como já citado no subitem “4.1 – Should cost: metalurgia do pó”, foi definido uma taxa de produção de 300 parafusos por minuto.

Para que os resultados do trabalho sejam analisados à longo prazo, os custos serão estimados em um período de 10 anos de produção ininterrupta, com a fábrica operando 84 horas semanais, em 2 turnos diários de 8 horas cada, os quais ocorrem de segunda à sexta. Já aos sábados, haverá turno único, com funcionários se alternando, de 4 horas de trabalho.

4.2.1 – Custo de aquisição do ferramental e maquinário

Para a linha de produção baseada na conformação mecânica, é necessário a aquisição dos seguintes maquinários, duas prensas à frio de dupla ação CH 4 da Himafe International, no valor de R\$ 82.150,00, com capacidade de cortar, via cisalhamento, e conformar a cabeça de 150 parafusos sextavados M10 por minuto.

Além disso, é preciso a compra de três máquinas de rolamento em sequência, modelo RCG10N, capazes de fabricar a rosca de 100 parafusos por minuto.

Em seguida, após a finalização da parte de conformação mecânica, é importante a realização do tratamento térmico conforme discutido no subitem “3.3.2 – Linha de produção: conformação mecânica”.

Para o tratamento térmico, envolvendo uma têmpera seguida de revenimento, foi adquirido um forno de malha contínua da Grefortec, o qual é capaz de receber, de maneira contínua, realizar o tratamento e finalizar o processo de 300 parafusos por minuto, no valor de R\$ 10.000.451,28.

Por último, é necessário a aquisição da embaladora, a selecionada foi a embaladora vertical *Microvert Pro*, a qual possui capacidade de embalar, 300 peças por minuto, ao custo de R\$ 56.900,00.

A tabela 13 reúne os custos envolvidos com o investimento inicial dos equipamentos.

Tabela 13 – Investimento inicial de equipamentos para conformação mecânica. (OS AUTORES, 2022).

Equipamentos da linha de produção	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Prensa à frio de dupla ação CH 4 da Himafe	R\$ 82.150,00	2	R\$ 164.300,00
Máquina de rolamento em sequência, modelo RCG10N, da Taiwan Metiz	R\$ 36.570,00	3	R\$ 109.710,00
Forno de malha contínua Grefortec	R\$ 10.000.451,28	1	R\$ 10.000.451,28
Embaladora vertical Microvert Pro	R\$ 56.900,00	1	R\$ 56.900,00
Investimento inicial de equipamentos			R\$ 10.331.361,28

4.2.2 – Custo de aquisição da matéria prima

Para conseguir determinar os custos referentes à matéria prima, é importante, primeiramente, determinar a quantidade de peças produzidas durante um mês. Para tanto, é importante definir o tempo de operação diário, para determinar a quantidade de parafusos produzidos.

Conforme detalhado no subitem “4.1.2 – Custo de aquisição de matéria prima”, calculou-se as horas totais em que a linha de produção ficará em operação e a quantidade de parafusos fabricados, uma vez que a produção de ambos os processos é exatamente igual, ou seja, 300 parafusos por minuto. Totalizando em 10 anos, os mesmos, 786 milhões e 240 mil parafusos.

Em média, cada parafuso pesa 70,5 gramas. Para o dimensionamento da quantidade de matéria prima necessária, multiplicou-se a massa pelo número de parafusos, resultando em 461.916 kg/mês de matéria prima, aproximadamente.

Para o aço DIN ISO 898-1 classe 8.8, é necessária sua aquisição em fios metálicos bobinados, o qual, é comercializado pela Olist Plus, no valor de R\$ 30,20 para cada 4,96 kg de aço, bobinado e com dimensão 10 mm de diâmetro.

Conforme dito acima, são necessário 461.916 kg/mês de matéria prima e cada fio bobinado de aço possui 4,96 kg, portanto, são necessárias a aquisição de 93.128 mil fios de aço bobinado.

Logo, a tabela 14 traz os custos referentes à matéria prima para os períodos de um mês, um ano e dez anos.

E assim, como anteriormente, também foram desconsiderados os aumentos no preço do material devido à inflação e flutuações dos mercados no decorrer dos anos.

Tabela 14 – Investimento em matéria prima para conformação mecânica. (OS AUTORES, 2022).

Material	Custo de cada bobina	Quantidade mensal (unidades)
Aço DIN ISO 898-1 Classe 8.8	R\$ 30,20	93.128
Investimento mensal de matéria prima		R\$ 2.812.465,60
Investimento anual de matéria prima		R\$ 33.749.587,20
Investimento para 10 anos de matéria prima		R\$ 337.495.872,00

4.2.3 – Custos de mão de obra direta

Para a definição dos custos de mão de obra direta, primeiramente, foi necessário a definição da quantidade de colaboradores em cada área por turno, lembrando que a indústria opera em dois turnos, sendo preciso dobrar o quadro de funcionários, com exceção do gerente de turno, que será apenas um para ambos.

Os valores do salário estão representados na tabela 15, com o acumulativo para 10 anos de operação da linha de produção. Vale ressaltar que, para simplificação dos cálculos, desconsiderou-se os custos com férias e 13º salário, além de encargos trabalhistas.

Tabela 15 – Custos de mão de obra direta para conformação mecânica. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Operador das prensas	4	R\$ 2.500,00	R\$ 10.000,00
Operador das máquinas de rolagem	6	R\$ 2.500,00	R\$ 15.000,00
Operador de forno	2	R\$ 3.200,00	R\$ 6.400,00
Operador de embaladora	2	R\$ 2.100,00	R\$ 4.200,00
Engenheiro Mecânico	1	R\$ 7.395,93	R\$ 7.395,93
Líder de equipe	2	R\$ 4.500,00	R\$ 9.000,00
Inspeção de lotes	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Gerente geral	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Custo mensal de mão de obra direta		R\$ 73.995,93	
Custo em 10 anos de mão de obra direta		R\$ 8.879.511,60	

4.2.4 – Custos de manutenção e depreciação

Dando início a estimativa dos custos indiretos da linha de produção, é preciso estimar os gastos envolvendo manutenção e depreciação no decorrer dos 10 anos de produção da linha.

De acordo com Arantes (2020), pode-se estimar um custo de depreciação de 10% por ano do equipamento, portanto, em 10 anos de operação, em um formato semelhante a juros compostos, o equipamento desvalorizará da seguinte forma:

- Valor Inicial (tabela 13): R\$ 10.331.361,28;
- Valor Após 1 ano: R\$ 9.298.225,15;
- Valor após 5 anos: R\$ 6.100.565,52;
- Valor após 10 anos: R\$ 3.602.322,94;

Logo, o custo de depreciação total será o valor inicial de investimento de equipamento (tabela 13) menos o valor após 10 anos de depreciação, o que resulta em um gasto de R\$ 6.729.038,34.

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2019), a média de gastos com manutenção é de 5% por ano, totalizando 50% do valor de aquisição dos equipamentos investidos.

Logo, o valor gasto com manutenção é de R\$ 5.165.680,64 no decorrer de 10 anos de funcionamento da linha de produção em questão.

4.2.5 – Custos de mão de obra indireta

Os custos de mão de obra indireta representam aqueles colaboradores que atuam na empresa, porém fora da linha da produção, como nos cargos de gestão e contabilidade, por exemplo.

A tabela 16 apresenta os custos envolvidos com mão de obra indireta, foram considerados os mesmos custos de mão de obra indireta e fatores considerados, como por exemplo 13º salário, envolvidos em todos os processos, para que seja possível equiparar, de maneira mais igualitária, apenas os processos de fabricação entre si.

Tabela 16 – Custos de mão de obra indireta para conformação mecânica. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Contador	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
Marketing e RH	3	R\$ 3.200,00	R\$ 9.600,00
Vendedores	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Diretor	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Custo mensal de mão de obra indireta		R\$ 46.600,00	
Custo em 10 anos de mão de obra indireta		R\$ 5.592.000,00	

4.2.6 – Custos indiretos

Nos custos indiretos, serão abordados os gastos com aluguel, manutenção e limpeza predial, realizados por uma empresa terceirizada devidamente contratada, gastos com energia, água.

Além disso, os gastos com expedição, ou seja, transporte e recebimento, serão feitos, também, por uma empresa terceirizada, devidamente contratada.

Para a definição de custo de aluguel, optou-se por uma galpão de 48x50 metros, com um valor médio de aluguel de R\$ 35.000,00, na cidade de Uberlândia – MG.

Para quantificar os gastos com energia elétrica, de acordo com Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2017), 40% dos custos de produção são vinculados aos gastos com energia elétrica.

Foi considerado como custo de produção a somatória dos gastos com a aquisição de equipamentos e mão de obra direto.

A tabela 17 ilustra os gastos indiretos que a linha de produção possui, incluindo os custos mensais, anuais e para 10 anos de operação.

Tabela 17 – Custos indiretos para conformação mecânica. (OS AUTORES, 2022).

Custo Indireto	Valor mensal	Custo anual	Custo em 10 anos
Aluguel mensal do prédio	R\$ 35.000,00	R\$ 420.000,00	R\$ 4.200.000,00
Energia Elétrica	R\$ 64.036,24	R\$ 768.434,88	R\$ 7.684.348,80
Empresa de limpeza e manutenção predial	R\$ 20.000,00	R\$ 240.000,00	R\$ 2.400.000,00
Água	R\$ 4.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 480.000,00
Empresa de expedição	R\$ 25.000,00	R\$ 300.000,00	R\$ 3.000.000,00
Custo total		R\$ 17.764.348,80	

Para garantir a equidade entre os processos, considerou-se iguais os custos indiretos, com exceção da energia elétrica, já que essa se baseia no custo de produção mensal. Tal estratégia foi utilizada, para ter-se o menor impacto de custos externos possíveis, entre as linhas de produção.

Por fim, adotou-se uma margem de lucro de 15% ao valor final de produção, o qual representa a soma de todos os custos envolvidos no processo, diretos e indiretos. A tabela 18 reúne todos os gastos envolvidos no processo, incluindo a margem de lucro da produção.

Tabela 18 – Custos totais para conformação mecânica. (O AUTOR, 2022).

Custo	Custo em 10 anos
Equipamento	R\$ 10.331.361,28
Manutenção	R\$ 5.165.680,64
Depreciação	R\$ 6.729.038,34.
Matéria prima	R\$ 337.495.872,00
Mão de obra direta	R\$ 8.879.511,60
Mão de obra indireta	R\$ 5.592.000,00
Custos indiretos	R\$ 17.764.348,80
Custo total (com lucro de 15%)	R\$ 450.751.484,56

Para se determinar o custo unitário de cada parafuso sextavado M10 de rosca inteira, é preciso determinar a quantidade produzida em 10 anos. Conforme citado no subitem “4.2.2 – Custo de aquisição de matéria prima”, serão produzidos, em 10 anos, 786.240.000 parafusos.

Para se determinar o valor, é preciso seguir a equação (6).

$$Custo\ unitário = \frac{Custo\ total\ com\ lucro}{Número\ de\ parafusos\ fabricados} = R\$ 0,57 \quad (6)$$

Portanto, a linha de produção baseada na conformação mecânica, produziu parafusos sextavados M10 de rosca inteira, ao preço de R\$ 0,57. Sobre as vantagens e desvantagens do processo, revisar o subitem “2.3.1.3 – Vantagens e desvantagens do processo”, o qual aborda o assunto.

4.3 – *Should cost*: Usinagem CNC

Por fim, será utilizada a metodologia *should cost* para quantificar os custos envolvidos no processo de fabricação do parafuso sextavado M10 de rosca inteira através da usinagem com torno CNC. Antes de iniciar, após pesquisa de campo, verificou-se o tempo médio gasto para produção de uma parafuso sextavado, através da usinagem, em um torno CNC foi de 2 minutos.

Isso exposto, inviabiliza uma produção de 300 parafusos por minuto, conforme visto nas linhas de produção por metalurgia do pó e por conformação mecânica, já que seriam necessárias 600 máquinas de torneamento CNC, as quais acarretariam custo de investimento inicial altíssimo.

Portanto, se faz necessário a construção de uma linha de produção com uma capacidade produtiva muito menor, sendo indicada para pequenos lotes e para, quando necessário, peças específicas, uma vez que há flexibilidade no processo.

Logo, para ser possível o desenvolvimento da linha de produção, definiu-se a fabricação de 180 parafusos por hora, contra 18.000 parafusos por hora das outras linhas de produção.

Para a linha de produção em questão, considerou-se a mesma jornada de trabalho, já exposta nos subitens “4.1 – Metalurgia do Pó” e “4.2 – Conformação Mecânica”.

4.3.1 – Custo de aquisição do ferramental e maquinário

Para a linha de produção baseada na conformação mecânica, é necessário a aquisição dos seguintes maquinários, uma máquina de corte de tarugos CNC, modelo WILA-30, fabricado pela *Maanshan Wila CNC Machine Tools*, no valor de R\$ 39.750,00.

Além disso, é necessário a aquisição de 6 robôs articulados em 6 eixos, modelo BRTIRUS0805A, da marca Borunte para a alimentação do centros de torneamento CNC, já que, conforme será discutido no próximo parágrafo, cada robô alimentará um centro CNC. O custo de cada um deles é de R\$ 65.308,28.

Como discutido anteriormente, a linha de produção será responsável pela fabricação de 180 parafusos por hora. Também, é sabido que cada parafuso leva cerca de 2 minutos para ser produzido dentro do torno CNC.

Logo, se faz necessária a aquisição de 6 tornos CNC, modelo GL 300M, da marca Romi S/A, no valor de R\$ 450.000,00.

Por último, é necessário a aquisição de uma embaladora. A selecionada foi a embaladora vertical *Microvert Pro*, a qual possui capacidade de embalar, 180 peças por hora, ao custo de R\$ 56.900,00.

A tabela 19 traz o valor de aquisição de equipamentos de forma detalhada.

Tabela 19 – Investimento inicial de equipamentos para usinagem CNC. (OS AUTORES, 2022).

Equipamentos da linha de produção	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Máquina de corte de tarugos CNC, modelo WILA-30	R\$ 39.750,00	1	R\$ 39.750,00
Robôs articulados de 6 eixos, modelo BRTIRUS0805A, da Borunte	R\$ 65.308,28	6	R\$ 391.849,68
Centro de torneamento CNC, modelo GL 300M, da Romi S/A	R\$ 450.000,00	6	R\$ 2.700.000,00
Embaladora vertical Microvert Pro	R\$ 56.900,00	1	R\$ 56.900,00
Investimento inicial de equipamentos			R\$ 3.188.499,68

4.3.2 – Custo de aquisição da matéria prima

Para conseguir determinar os custos referentes à matéria prima, é fundamental, a princípio, determinar a quantidade de peças produzidas durante um mês. Para tanto, é importante definir o tempo de operação diário, para determinar a quantidade de parafusos produzidos.

Conforme explicitado no subitem “4.3 – *Should Cost*: Usinagem CNC”, utilizou-se a mesma jornada de trabalho das outras linhas de produção. Logo, como a produção é de 3 parafusos por minuto, em uma hora, serão produzidos 180 parafusos. Portanto, em um mês serão fabricados 65.520 parafusos mensais, totalizando, em um período de 10 anos 7 milhões, 862 mil e 400 parafusos.

Em média, cada parafuso pesa 70,5 gramas. Para o dimensionamento da quantidade de matéria prima necessária, multiplicou-se a massa pelo número de parafusos, resultando em 4.619,16 kg/mês de matéria prima, aproximadamente.

Para o aço DIN ISO 898-1 classe 8.8, é necessária sua aquisição em tarugos metálicos, o qual, é comercializado pela Olist Plus, no valor de R\$ 60,40 para cada 9,92 kg de aço, bobinado e com dimensão de 20 mm de diâmetro, uma vez que foi considerado uma perda de 50% do material, durante a usinagem.

Logo, a tabela 20 traz os custos referentes à matéria prima para os períodos de um mês, um ano e dez anos.

No entanto, vale destacar, para simplificação dos cálculos, que foram desconsiderados os aumentos no preço do material devido à inflação e flutuações dos mercados no decorrer dos anos.

Tabela 20 – Investimento em matéria prima para usinagem CNC. (O AUTOR, 2022).

Material	Custo de cada bobina	Quantidade mensal
Aço DIN ISO 898-1 Classe 8.8	R\$ 60,40	932
Investimento mensal de matéria prima		R\$ 56.292,80
Investimento anual de matéria prima		R\$ 675.513,60
Investimento para 10 anos de matéria prima		R\$ 6.755.136,00

4.3.3 – Custos de mão de obra direta

Para a definição dos custos de mão de obra direta, primeiramente, foi necessário a definição da quantidade de colaboradores em cada área por turno, lembrando que a indústria opera em dois turnos, sendo preciso dobrar o quadro de funcionários, com exceção do gerente de turno, que será apenas um para ambos.

Os valores do salário estão representados na tabela 21, com o acumulativo para 10 anos de operação da linha de produção. Vale ressaltar que, para simplificação dos cálculos, desconsiderou-se os custos com férias e 13º salário, além de encargos trabalhistas.

Tabela 21 – Custos de mão de obra direta para usinagem CNC. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Operador da máquina de corte	2	R\$ 2.500,00	R\$ 5.000,00
Operador dos tornos CNC	12	R\$ 3.500,00	R\$ 42.000,00
Operador de embaladora	2	R\$ 2.100,00	R\$ 4.200,00
Engenheiro Mecânico	1	R\$ 7.395,93	R\$ 7.395,93
Líder de equipe	2	R\$ 4.500,00	R\$ 9.000,00
Inspeção de lotes	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Gerente geral	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Custo mensal de mão de obra direta			R\$ 89.595,93
Custo em 10 anos de mão de obra direta			R\$ 10.751.511,60

4.3.4 – Custos de manutenção e depreciação

Dando início a estimativa dos custos indiretos da linha de produção, é preciso estimar os gastos envolvendo manutenção e depreciação no decorrer dos 10 anos de produção da linha.

De acordo com Arantes (2020), pode-se estimar um custo de depreciação de 10% por ano do equipamento, portanto, em 10 anos de operação, em um formato semelhante a juros compostos, o equipamento desvalorizará da seguinte forma:

- Valor Inicial (tabela 19): R\$ 3.188.499,68;
- Valor Após 1 ano: R\$ 2.869.649,71;
- Valor após 5 anos: R\$ 1.882.777,18;
- Valor após 10 anos: R\$ 1.111.761,09;

Logo, o custo de depreciação total será o valor inicial de investimento de equipamento (tabela 19) menos o valor após 10 anos de depreciação, o que resulta em um gasto de R\$ 2.076.738,59.

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2019), a média de gastos com manutenção é de 5% por ano, totalizando 50% do valor de aquisição dos equipamentos investidos.

Logo, o valor gasto com manutenção é de R\$ 1.594.249,84 no decorrer de 10 anos de funcionamento da linha de produção em questão.

4.3.5 – Custos de mão de obra indireta

Os custos de mão de obra indireta representam aqueles colaboradores que atuam na empresa, porém fora da linha da produção, como nos cargos de gestão e contabilidade, por exemplo.

A tabela 22 apresenta os custos envolvidos com mão de obra indireta, foram considerados os mesmos custos de mão de obra indireta e fatores considerados, como por exemplo 13º salário, envolvidos em todos os processos, para que seja possível equiparar, de maneira mais igualitária, apenas os processos de fabricação entre si.

Tabela 22 – Custos de mão de obra indireta para usinagem CNC. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Contador	2	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00
Marketing e RH	3	R\$ 3.200,00	R\$ 9.600,00
Vendedores	4	R\$ 3.500,00	R\$ 14.000,00
Diretor	1	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
Custo mensal de mão de obra indireta		R\$ 46.600,00	
Custo em 10 anos de mão de obra indireta		R\$ 5.592.000,00	

4.3.6 – Custos indiretos

Nos custos indiretos, serão abordados os gastos com aluguel, manutenção e limpeza predial, realizados por uma empresa terceirizada devidamente contratada, gastos com energia, água.

Além disso, os gastos com expedição, ou seja, transporte e recebimento, serão feitos, também, por uma empresa terceirizada, devidamente contratada.

Para a definição de custo de aluguel, optou-se por uma galpão de 48x50 metros, com um valor médio de aluguel de R\$ 35,000.00, na cidade de Uberlândia – MG.

Para quantificar os gastos com energia elétrica, de acordo com Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2017), 40% dos custos de produção são vinculados aos gastos com energia elétrica.

Foi considerado como custo de produção a somatória dos gastos com a aquisição de equipamentos e mão de obra direto.

A tabela 23 ilustra os gastos indiretos que a linha de produção possui, incluindo os custos mensais, anuais e para 10 anos de operação.

Tabela 23 – Custos indiretos para usinagem CNC. (OS AUTORES, 2022).

Colaborador por área	Valor mensal	Custo anual	Custo em 10 anos
Aluguel mensal do prédio	R\$ 35.000,00	R\$ 420.000,00	R\$ 4.200.000,00
Energia Elétrica	R\$ 46.466,00	R\$ 557.600,45	R\$ 5.575.920,00
Empresa de limpeza e manutenção predial	R\$ 20.000,00	R\$ 240.000,00	R\$ 2.400.000,00
Água	R\$ 4.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 480.000,00
Empresa de expedição	R\$ 25.000,00	R\$ 300.000,00	R\$ 3.000.000,00
Custo total		R\$ 15.655.920,00	

Para garantir a equidade entre os processos, considerou-se iguais os custos indiretos, com exceção da energia elétrica, já que essa se baseia no custo de produção mensal. Tal estratégia foi utilizada, para ter-se o menor impacto de custos externos possíveis, entre as linhas de produção.

Por fim, adotou-se uma margem de lucro de 15% ao valor final de produção, o qual representa a soma de todos os custos envolvidos no processo, diretos e indiretos. A tabela 24 reúne todos os gastos envolvidos no processo, incluindo a margem de lucro da produção.

Tabela 24 – Custos totais para usinagem CNC. (OS AUTORES, 2022).

Custo	Custo em 10 anos
Equipamento	R\$ 3.188.499,68
Manutenção	R\$ 1.594.249,84
Depreciação	R\$ 2.076.738,58
Matéria prima	R\$ 6.755.136,00
Mão de obra direta	R\$ 10.751.511,60
Mão de obra indireta	R\$ 5.592.000,00
Custos indiretos	R\$ 15.655.920,00
Custo total (com lucro de 15%)	R\$ 52.456.164,06

Para se determinar o custo unitário de cada parafuso sextavado M10 de rosca inteira, é preciso determinar a quantidade produzida em 10 anos. Conforme citado no subitem “4.3.2 – Custo de aquisição de matéria prima”, serão produzidos, em 10 anos, 7.862.400 parafusos.

Para se determinar o valor, é preciso seguir a equação (7).

$$\text{Custo unitário} = \frac{\text{Custo total com lucro}}{\text{Número de parafusos fabricados}} = R\$ 6,67 \quad (7)$$

Portanto, a linha de produção baseada em usinagem CNC, produziu parafusos sextavados M10 de rosca inteira, ao preço de R\$ 6,67. Sobre as vantagens e desvantagens do processo, revisar o subitem “2.4.4 – Vantagens e desvantagens do processo”, o qual aborda o assunto.

5 – CONCLUSÕES

Aplicando-se a metodologia *should cost*, foi possível analisar as variáveis de custos de 3 métodos distintos de produção para uma mesma peça, um parafuso sextavado M10 de rosca inteira, com 100 mm de comprimento, produzido a partir do aço DIN ISSO 898-1 classe de resistência 8.8.

A linha de produção por metalurgia do pó, produziu parafusos ao custo de R\$ 0,67, o que mostra que, a cada dia, a metalurgia do pó avança como um processo de produção cada vez mais competitivo, ao produzir peças de boas qualidades de acabamento, tolerância e flexibilidade quanto à composição da liga metálica, com um preço competitivo para grandes lotes.

Já a linha de produção baseada na conformação mecânica, foi capaz de produzir parafusos ao custo de R\$ 0,57, o que mostra que, embora outros processos estejam em evolução e se tornando mais baratos, ela ainda é a mais viável economicamente para grandes lotes, produzindo peças com alto valor competitivo, devido ao menor preço, mesmo necessitando de um tratamento térmico para alívio de tensões residuais decorrentes do processo.

Por fim, a linha de produção com base na usinagem CNC, mostrou-se inviável em larga escala, sendo ela mais adequada para pequenos lotes ou peças específicas, uma vez que o custo do parafuso foi de R\$ 6,67, com uma produção de apenas 3 parafusos por minuto, contra 300 parafusos por minuto dos outros dois processos analisados.

No entanto, a usinagem CNC apresenta vantagens quanto à flexibilidade do processo, bem como do desenho de projeto, que não depende de matrizes para operar, apenas modelos computadorizados. Além disso, esse processo seria adequado para lotes específicos ou para a produção de parafusos de grandes tamanhos.

Portanto, conclui-se que, para uma produção em larga escala, ou seja, a nível industrial, a conformação mecânica é o processo mais indicado, produzindo peças que são 14,9% mais baratas que a metalurgia do pó, com a mesma produção de 300 parafusos por minuto, e 91,5% que a usinagem CNC, com a produção 100 vezes maior quando comparado à usinagem.

Em seguida, a figura 28 mostra a comparação dos valores unitários dos parafusos sextavados pelos diferentes processos de fabricação.

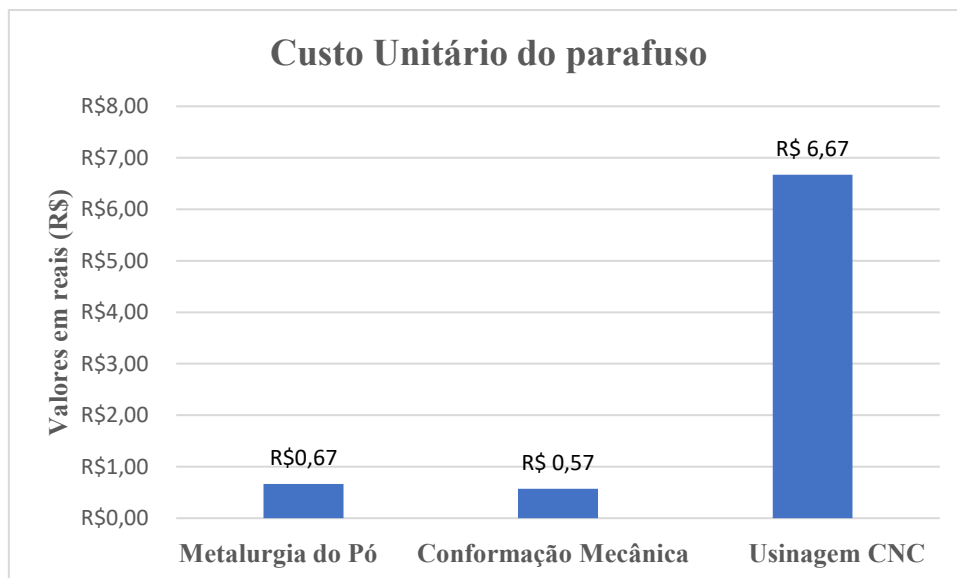


Figura 28 – Custo unitário do parafuso. (OS AUTORES, 2022).

Em sequência, a figura 29 ilustra o investimento inicial de aquisição de maquinário. É importante destacar que, embora seja conhecidamente um processo com maior necessidade de capital inicial, a usinagem CNC, nesse caso, apresenta o menor valor de compra de equipamento, já que sua produção é 100 vezes menor que as demais.

A mesma observação é válida para a figura 30, a qual mostra o custo de aquisição de matéria prima.

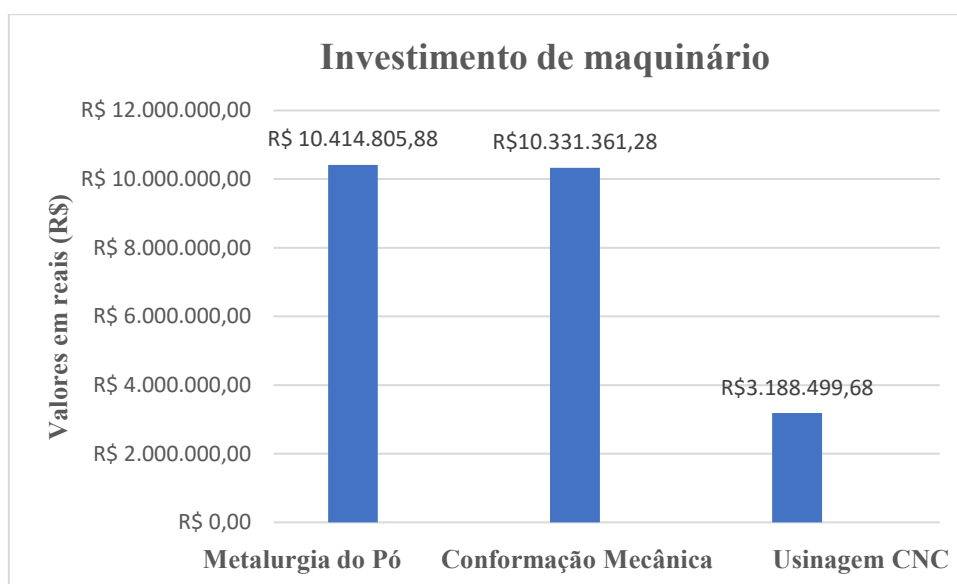


Figura 29 – Investimento de maquinário. (OS AUTORES, 2022).

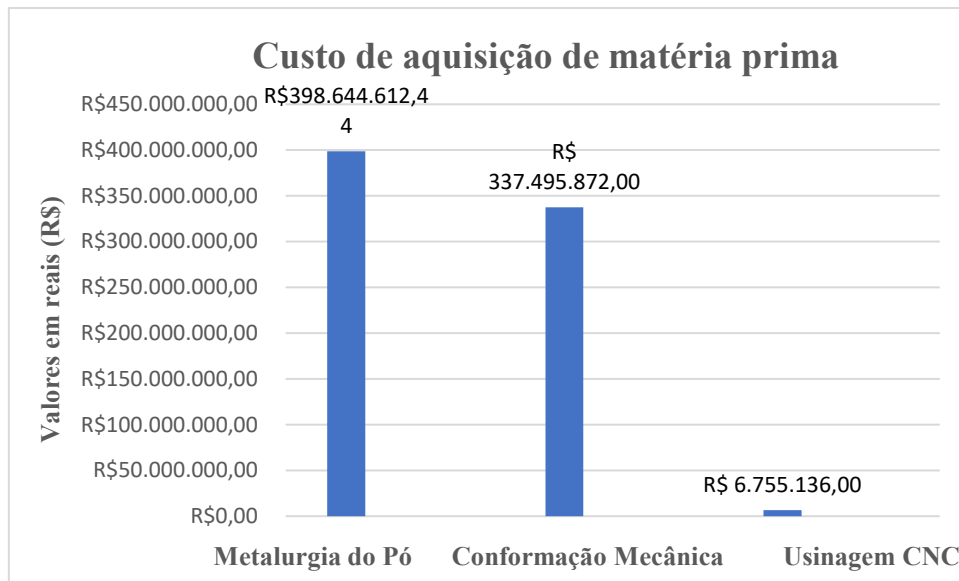


Figura 30 – Custo de aquisição de matéria prima em 10 anos. (OS AUTORES, 2022).

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIAVERINI, Vicente. Metalurgia do pó, São Paulo: ABM, 3ª ed., 1992.
- CHIAVERINI, VICENTE. Tecnologia Mecânica – Processos de Fabricação e Tratamento, São Paulo: ABM, 2ª ed., 1986.
- STRUTZ, EMERSON. Gestão e Análise de Custo, Indaial: Uniasselvi, 1ª ed., 2017.
- FERRARESI, DINO. Fundamentos da Usinagem dos Metais, São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1ª ed., 1969.
- MARCHI, B. et al. Life Cycle Cost Analysis for BESS Optimal Sizing. Energy Procedia, v. 113, 2017.
- PAZOS, FERNANDO. Automação de Sistemas e Robótica. Rio de Janeiro, Editora Axcel Books do Brasil, 1ª edição, 2002.
- ARANTES, L.J. Conformação Mecânica - Capítulo 3: Forjamento. Uberlândia, 2020.
- ARANTES, L.J. Conformação Mecânica - Capítulo 7: Metalurgia do Pó. Uberlândia, 2020.
- ARANTES, L.J. Planejamento e Organização da Manutenção, Uberlândia, 2020.
- VILARINHO, L.O. Introdução à Automação. Uberlândia, 2020.
- MACHADO, A.R et BACCI, M.S. Usinagem dos Metais, Uberlândia, 8ª ed, 2004.
- ESPINOZA, M. Estudo de parâmetros no processo de forjamento semissólido da liga de Alumínio AA7075, Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1999.
- BURT, David N. Should Cost, a poupança de milhões de dólares. Air Force Institute of Technology, Estados Unidos, 2004.
- Boff, U et Schaeffer L., Fundamentos do Projeto de Ferramentas para o Processo de Corte, Revista Corte & Conformação de Metais. Aranda Editora, AnoVII, Nº78, São Paulo, 2011.
- BARRAU, O. et al. Analysis of the friction and wear behaviour of hot work tool steel for forging. Wear, v. 255, n. 7–12, p. 1444–1454, Estados Unidos, 2003.
- LEONE, G. S. Curso de contabilidade de custos. São Paulo: Atlas, 1997.
- LEONE, G. S. Custos: planejamento, implantação e controle. São Paulo: Atlas, 2000.
- ARANDANET. Uma análise dos parâmetros de punçionamento na furação de chapas. Disponível em: < https://www.arandanet.com.br/revista/ccm/materia/2016/12/21/uma_analise_dos_parametros.html>. Acesso em: outubro de 2022.
- COSTA, L.L et al. Fatores de Influência no Projeto de Matrizes para o Forjamento à Quente, ABM Week, Rio de Janeiro, 2015.

CORRÊA DE SOUZA, J.H. Estudo do Processo de Corte de Chapas por Cisalhamento, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

COSA, INTERMÁQUINAS. Manual de Programação e Operação, Vinhedo, 2017.

ALKI MÁQUINAS. Misturador de duplo cone. Disponível em: < <https://www.alkimaquinas.com.br/misturador-de-po-duplo-cone.html> > Acesso em: novembro de 2022.

TSINFA. Powder Metal Press. Disponível em: < <https://www.tsinfa.com/pt/powder-metal-press/> > Acesso em: novembro de 2022.

DNC. Graxa Bissulfeto de Molibdênio. Disponível em: < <https://www.dnc.com.br/graxa-bissulfeto-molibdenio> > Acesso em: outubro de 2022.

IMANPACK. Soluções de embalagem para parafusos. Disponível em: < <https://www.imanpack.it/pt/novidades/solu%C3%A7%C3%B5es> >

IMANPACK. Embaladora Vertical (VFFS). Disponível em: < http://www.imanpack.it/pt/m%C3%A1quinas/microvert_pro > Acesso em: novembro de 2022.

OPERATRIX. MÁQUINA CONFORMADORA DE PARAFUSOS - CHUN ZU - COM DOIS ESTÁGIOS. Disponível em: < <https://www.operatrix.com.br/anuncio/maquina-conformadora-de-parafusos-chun-zu-com-dois-estagios-9212> > Acesso em: novembro de 2022.

HIMAFE. Prensas à frio de dupla ação. Disponível em: < <http://www.himafe.com.br/Maquinas/ConformacaoaFrio.htm> > Acesso em: novembro de 2022.

METIZ. THREAD ROLLING MACHINES FOR THE FASTENERS INDUSTRY. Disponível em: < https://english.metiz.com.tw/rolling_bolt.htm > Acesso em: novembro de 2022.

BORUNTE ROBOT. Precisa De Um Robô Industrial. Disponível em: < https://borunterobot.website/fabricante-de-robos-industriais-borunte/?gclid=Cj0KCQiAsdKbBhDHARIsANJ6-jeh0mmC0lFo9cUamWjOhywQwxVISYsS5jaJYVgf7DDh3JkVP2K8T1oaAsCwEALw_wcB > Acesso em: novembro de 2022.

ROMI. Linha ROMI GL – Nova Geração. Disponível em: < <https://www.romi.com/produtos/centros-de-torneamento-romi-gl/> > Acesso em: outubro de 2022.

SOLUÇÕES DYNAMIC AIR. Atenção aos Custos de Manutenção em sua Indústria. Disponível em: < <https://www.solucoesdynamicair.com.br/blog/atencao-aos-custos-de-manutencao-em-sua-industria> > Acesso em: novembro de 2022.

ALIBABA. Automatic One Die Two Blow Large Size D6 Cold Heading Machine For Screw Bolt Making. Disponível em: < https://www.alibaba.com/product-detail/Cold-Heading-Machine-Automatic-1-Die_62114683383.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.7f8aK7hqK7hqUl&s=p > Acesso em: novembro de 2022.

ALIEXPRESS. industrial china welding pipe robot 6 axis automatic robotic arm. Disponível em: < https://campaign.aliexpress.com/wow/gcp/tesla-pc-new/index?UTABTest=aliabtest344316_486351&_randl_currency=BRL&_randl_shipto=BR&src=google&aff_fcid=35abdfc898ab4294a1d73a461813949f-1669829299737-09110-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=35abdfc898ab4294a1d73a461813949f-1669829299737-09110-UneMJZVf&terminal_id=5d89a0229f1844a8bd12909a6069217b&wh_weex=true&wx_navbar_hidden=true&wx_navbar_transparent=true&ignoreNavigationBar=true&wx_statusbar_hidden=true&bt_src=ppc_direct_lp&scenario=pcBridgePPC&productId=1005001633266626&OLP=1084300508_f_group2&o_s_id=1084300508 > Acesso em: novembro de 2022.

TS MÁQUINAS. Centro de Usinagem Marca Romi Modelo D 800. Disponível em: < <https://tsmaquinas.com.br/produto/centro-de-usinagem-marca-romi-modelo-d-800/> > Acesso em: novembro de 2022.

ALIBABA. CNC Steel Sheet Metal Plate Hydraulic Shearing Shear Cutting Machine Guillotine Shear. Disponível em: < https://www.alibaba.com/product-detail/CNC-Steel-Sheet-Metal-Plate-Hydraulic_1600149142856.html?spm=a2700.shop_index.82.15.39655247xETQXw > Acesso em: novembro de 2022.

FIRJAN. Quanto custa a energia elétrica. Disponível em: < <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm#pubAlign> > Acesso em: novembro de 2022.

PONTOPAR. COMO É O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PARAFUSO. Disponível em: < <https://blog.pontopar.com.br/fabricacao-do-parafuso/> > Acesso em: outubro de 2022.

E-DISCIPLINAS USP. Material Removal Processes. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1642095/mod_resource/content/3/Aula%201_%20Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20da%20Disciplina%20-%20Sele%C3%A7%C3%A3o%20de%20Processo_2015.pdf > Acesso em: outubro de 2022.

EROMINAS. Centro de Usinagem CNC: conheça mais sobre inovação. Disponível em: < <https://www.erominas.com.br/usinagem/centro-de-usinagem-cnc-conheca-mais-sobre-inovacao> >. Acesso em: outubro de 2022.

CIMM. Entenda as variáveis e parâmetros de corte. Disponível em: < [https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7401-entenda-as-variaveis-e-parametros-de-corte#:~:text=A%20velocidade%20de%20corte%20\(vc,%2C%20ent%C3%A3o%2C%20uma%20velocidade%20tangencial](https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/7401-entenda-as-variaveis-e-parametros-de-corte#:~:text=A%20velocidade%20de%20corte%20(vc,%2C%20ent%C3%A3o%2C%20uma%20velocidade%20tangencial) >. Acesso em: outubro de 2022.

RENISHAW. Tecnologia de preset de ferramentas. Disponível em: < <https://www.renishaw.com.br/pt/tecnologia-de-preset-de-ferramentas--32934#:~:text=Preset%20de%20ferramentas%20%C3%A9%20o,ferramentas%20e%20um%20software%20dedicado> >. Acesso em: outubro de 2022.

CCV Industrial. O que é CNC? Disponível em: < <https://ccvindustrial.com.br/o-que-e-cnc/> >. Acesso em: outubro de 2022.

CRV Industrial. Parafuso sextavado: tudo o que você precisa saber. Disponível em: < <https://www.crvindustrial.com/blog/parafuso-sextavado-tudo-o-que-voce-precisa-saber> > Acesso em: outubro de 2022.

CRV Industrial. Rosca Métrica ou Polegada? Veja como identificar. Disponível em: < <https://www.crvindustrial.com/blog/rosca-metrica-ou-polegada-veja-como-identificar> > Acesso em: outubro de 2022.

PROJETTE PARAFUSOS. Parafuso Sextavado. Disponível em: < <https://projetteparafusos.com.br/parafuso-sextavado/> >. Acesso em: outubro de 2022.

ATD. Parafuso sextavado rosca inteira aço carbono Classe 8.8 MA. Disponível em: < <https://www.atdvedacoes.com.br/produto/parafuso-sextavado-rosca-inteira-ma/> >. Acesso em: outubro de 2022.

INDUFIX. Composição Química Normas de Materiais para Parafusos. Disponível em: < <https://www.indufix.com.br/material-apoio-tecnico-parafusos/composicao-quimica-normas-de-materiais-para-parafusos/> >. Acesso em: outubro de 2022.

RAKIVIKANTI, S. Should-Costing: A Solution to Filling Traditional Sourcing Gaps. Disponível em: < <https://www.cgnglobal.com/blog/should-costing> >. Acesso em: outubro de 2022.

HOINASKI, F. Should Cost – Uma poderosa ferramenta para abordar seus fornecedores. Disponível em: < <https://ibid.com.br/blog/should-cost/> >. Acesso em: outubro de 2022.