

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

JADSON SILVA SOUZA

ANÁLISE DE CUSTOS PELO MÉTODO *SHOULD COST* NA PRODUÇÃO DE EIXOS
DE TRANSMISSÃO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE
CONFORMAÇÃO MECÂNICA E USINAGEM CNC PARA EIXOS CARDAN

Uberlândia, Brasil

2024

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

JADSON SILVA SOUZA

ANÁLISE DE CUSTOS PELO MÉTODO *SHOULD COST* NA PRODUÇÃO DE EIXOS
DE TRANSMISSÃO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS DE
CONFORMAÇÃO MECÂNICA E USINAGEM CNC PARA EIXOS CARDAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia, Minas
Gerais, como requisito exigido parcial à
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Mecatrônica. Orientador: Prof. Dr. Leonardo
Rosa Ribeiro da Silva.

Uberlândia, Brasil

2024

JADSON SILVA SOUZA

ANÁLISE DE CUSTOS PELO MÉTODO *SHOULD COST* NA PRODUÇÃO
DE EIXOS DE TRANSMISSÃO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE
PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA E USINAGEM CNC
PARA EIXOS CARDAN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia, Minas
Gerais, como requisito exigido parcial à
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Mecatrônica.

Uberlândia, abril de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Me. Felipe Chagas Rodrigues de Souza
Universidade Federal de Uberlândia

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

Prof. Dr. Luciano José Arantes
Universidade Federal de Uberlândia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus pelo direcionamento e saúde ao longo da vida. Em seguida, aos meus pais que me deram condições necessárias para ingressar na faculdade.

Além disso, ao meu professor orientador, o doutor Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, por todo suporte 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

*“Não sabendo que era impossível, ele
foi lá e fez.”*

(Jean Cocteau)

RESUMO

Para manter a competitividade em um mercado cada vez mais globalizado, é essencial adotar metodologias que otimizem os processos de fabricação. Nesse contexto, o método *Should Cost* se destaca como uma ferramenta de análise e gestão de custos eficaz. Este estudo, centrado na fabricação de eixos de transmissão cardan, investiga os custos associados à produção por meio desse método, comparando os processos de conformação mecânica e usinagem CNC. O objetivo é identificar as melhores práticas para otimização de recursos nas empresas. A análise engloba diversos aspectos, como matéria-prima, capacidade de produção e custos estruturais, a fim de determinar os custos diretos e indiretos dos processos. Isso possibilita a avaliação do valor de cada peça produzida. Os custos foram estimados por meio de pesquisa de mercado e comparação com valores de trabalhos e produtos similares. Os resultados indicam que a linha de produção baseada em usinagem CNC se apresentou como a mais viável economicamente. Por outro lado, a conformação mecânica demonstrou demandar um custo relativamente maior, sendo mais adequada para lotes específicos ou produção unitária. O estudo também aborda as vantagens e desvantagens de cada processo, contribuindo para uma compreensão mais ampla das escolhas de fabricação.

Palavras-chave: Análise de custos, *Should Cost*, eixos de transmissão, conformação mecânica, usinagem CNC.

ABSTRACT

To maintain competitiveness in an increasingly globalized market, it is essential to adopt methodologies that optimize manufacturing processes. In this context, the Should Cost method stands out as an effective cost analysis and management tool. This study, focused on the manufacture of cardan transmission shafts, investigates the costs associated with production using this method, comparing the processes of mechanical forming and CNC machining. The objective is to identify the best practices for optimizing resources in companies. The analysis encompasses several aspects, such as raw materials, production capacity and structural costs, in order to determine the direct and indirect costs of the processes. This makes it possible to assess the value of each piece produced. Costs were estimated through market research and comparison with values of similar works and products. The results indicate that the production line based on CNC machining was the most economically viable. On the other hand, mechanical forming proved to require a relatively higher cost, being more suitable for specific batches or unit production. The study also addresses the advantages and disadvantages of each process, contributing to a broader understanding of manufacturing choices.

Keywords: *Cost analysis, Should Cost, transmission shafts, mechanical forming, CNC machining.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eixo de transmissão. Fonte: Spicer, 2021	2
Figura 2 - Eixo cardan DIN 808. Fonte: Brait, 2021	3
Figura 3 - Parâmetros fundamentais do forjamento. Fonte: Schaeffer, 2006	5
Figura 4 - Centro de torneamento CNC GL 300M. Fonte: Romi S.A., 2024	8
Figura 5 - Fresamento com parâmetros de sentido de rotação (n), velocidade de corte (V_c) e avanço (V_f) definidos. Fonte: CIMM, 2010	10
Figura 6 - Fluxo de processos de <i>Should Cost</i> . Fonte: Ravikanti, 2019	14
Figura 7 - Eixo cardan DIN 808 – G. Fonte: Imetex, 2006	15
Figura 8 – Dimensões. Fonte: Imetex, 2006	16
Figura 9 – Parâmetros do eixo. Fonte: Imetex, 2006	16
Figura 10 - Fluxograma da linha de produção por conformação mecânica	17
Figura 11 - Máquina de corte. Fonte: SLS Machinery, 2024	17
Figura 12 - Prensa hidráulica. Fonte: Pressmatik, 2024	18
Figura 13 - Forno mufla industrial. Fonte: Exaustermo, 2024	18
Figura 14 - Máquina balanceadora. Fonte: Schenck, 2024.....	19
Figura 15 - Fronius CMT 400. Fonte: Fronius, 2024	19
Figura 16 - Gema OptiStar 2000. Fonte: Gema, 2024	20
Figura 17 - Fluxograma da linha de produção por usinagem CNC	20
Figura 18 – Máquina de corte de tarugo CNC WILA-30. Fonte: Wila Machine Tools, 2024	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais para fabricação de eixo cardan.	3
Tabela 2 – Investimento em matéria-prima	23
Tabela 3 – Investimento inicial de equipamentos para conformação mecânica	24
Tabela 4 – Custos de mão de obra direta para conformação mecânica	25
Tabela 5 – Custos de mão de obra indireta para conformação mecânica	26
Tabela 6 – Custos indiretos para conformação mecânica	27
Tabela 7 – Custos totais para conformação mecânica	28
Tabela 8 – Investimento inicial de equipamentos para usinagem CNC	29
Tabela 9 – Custos de mão de obra direta para usinagem CNC	30
Tabela 10 – Custos de mão de obra indireta para usinagem CNC	31
Tabela 11 – Custos indiretos para usinagem CNC	32
Tabela 12 – Custos totais para usinagem CNC	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1	Eixo de transmissão cardan	2
2.2	Conformação mecânica	4
2.2.1	Forjamento a quente	5
2.3	Usinagem CNC	8
2.3.1	Centro de torneamento CNC	8
2.4	<i>Should cost</i>	12
2.4.1	Definições de custos	13
3	METODOLOGIA	16
3.1	Eixo cardan escolhido	16
3.2	Linhas de produção	17
3.2.1	Linha de produção: Conformação mecânica	17
3.2.2	Linha de produção: Usinagem CNC	21
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA <i>SHOULD COST</i>	23
4.1	Custo de aquisição da matéria-prima	23
4.2	<i>Should cost</i>: Conformação Mecânica	24
4.2.1	Custos de mão de obra direta	25
4.2.2	Custos de manutenção e depreciação.....	26
4.2.3	Custos de mão de obra indireta.....	27
4.3	<i>Should cost</i>: Usinagem CNC	29
4.3.1	Custos de mão de obra direta.....	30
4.3.2	Custos de manutenção e depreciação.....	31
4.3.3	Custos de mão de obra indireta.....	32
5	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

No atual contexto de competição globalizada, a eficiência na fabricação é vital para a manutenção da competitividade das empresas. Nesse sentido, metodologias de análise de custos desempenham um papel crucial ao identificar áreas para aprimoramento e eficiência operacional (SILVA et al., 2017).

A análise de custos é fundamental para as empresas, pois permite uma compreensão detalhada dos fatores que influenciam os custos de produção. Essa compreensão é essencial para tomar decisões informadas e estratégicas que visam a redução de despesas e o aumento da eficiência operacional. Além disso, a análise de custos possibilita a identificação de áreas de desperdício e ineficiência, que podem ser alvos de melhorias contínuas.

Na produção de eixos de transmissão cardan, a análise de custos assume uma importância ainda maior devido à complexidade e relevância desses componentes. Os eixos de transmissão são peças críticas em muitos sistemas mecânicos, sendo essenciais para a transmissão de torque e movimento entre diferentes partes de um veículo ou máquina. Portanto, qualquer otimização nos processos de fabricação desses componentes pode ter um impacto significativo no desempenho e na competitividade dos produtos finais.

E dessa forma, a escolha entre os processos para a fabricação de eixos de transmissão cardan é uma decisão estratégica que envolve uma série de fatores, incluindo custo, velocidade de produção, qualidade do produto final e flexibilidade de fabricação. Nesse sentido, uma análise detalhada dos custos associados a cada processo é essencial para uma tomada de decisão informada e fundamentada.

Além dos aspectos puramente econômicos, a análise de custos também pode fornecer insights valiosos sobre questões relacionadas à sustentabilidade e responsabilidade social corporativa. Ao identificar áreas de desperdício e ineficiência, as empresas podem implementar medidas para reduzir seu impacto ambiental e social, contribuindo para um modelo de negócio mais sustentável e ético.

E dentro desse contexto, o método *Should Cost* destaca-se como uma ferramenta robusta para gestão de custos, fornecendo insights sobre os gastos de produção (HOINASKI, 2014). Este estudo foca na aplicação dessa metodologia na fabricação de eixos de transmissão cardan, essenciais em diversos sistemas, especialmente na indústria automotiva (Juvinal e Marshek, 2008).

E este trabalho compara dois principais processos de fabricação: conformação mecânica e usinagem CNC. A relevância deste trabalho está em avaliar os custos associados a cada processo de fabricação, buscando ser útil na otimização de estratégias de produção, considerando aspectos econômicos (BRANDÃO, 2020).

O método *Should Cost*, desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano, é a ferramenta central deste estudo. Concebido para controlar custos e preços, foi adotado pela indústria nos anos 80, focando em reduzir despesas desnecessárias na produção (HONDAKI, 2014).

Em resumo, este trabalho visa contribuir para o conhecimento sobre análise de custos na fabricação, com enfoque na produção de eixos de transmissão cardan. Através do método citado acima e da comparação entre conformação mecânica e usinagem CNC, busca oferecer insights que impulsionem a eficiência e competitividade na indústria manufatureira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eixo de transmissão cardan

O eixo cardan foi desenvolvido pelo italiano Geronimo Cardano, do qual deu origem ao nome eixo cardan. Conforme descrito por Palma et al. (2017), ele é composto por duas juntas universais interligadas por um corpo central, geralmente tubular.

De acordo com Weihermann (2015), tal eixo de transmissão desempenha um papel fundamental na transferência de energia do motor para o eixo diferencial que, por sua vez, distribui essa energia para as rodas. Embora essa tarefa possa soar como algo simples, há desafios significativos, especialmente em terrenos irregulares, nos quais o eixo traseiro oscila consideravelmente. Isso exige que a potência seja transmitida para as rodas de forma contínua e sem perda de eficiência.

Visualmente, o eixo de transmissão parece apenas um tubo longo, frequentemente apoiado por um suporte (mancal), que permanece posicionado sob as longarinas de caminhões ou ônibus. Nas extremidades desse tubo, encontram-se conexões conhecidas como juntas universais, onde estão instaladas as cruzetas. São as cruzetas que conferem aos eixos cardan a capacidade de transferir força do motor para o eixo diferencial em diferentes ângulos.

Além de possibilitar a transmissão de força em ângulos variados, também deve ser capaz de se contrair e expandir conforme a oscilação vertical do eixo diferencial. Esse

movimento é viabilizado pelo conjunto de luvas e ponteiros localizado no centro do eixo cardan. A disposição do eixo de transmissão pode ser observada na Figura 1.

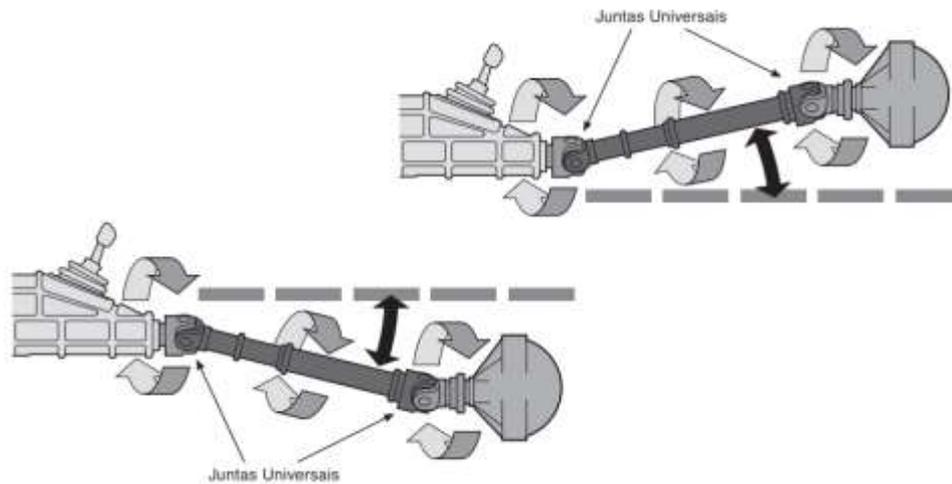


Figura 1 – Eixo de transmissão (Spicer, 2022)

Os materiais utilizados na fabricação de um eixo cardan são escolhidos de acordo com requisitos específicos de cada projeto, como resistência à fadiga, durabilidade e capacidade para suportar cargas variáveis.

A tabela 1 apresenta os principais materiais.

Tabela 1 – Materiais para fabricação de eixo cardan.

Material	Características
Aço	É o material mais comum devido à sua alta resistência e durabilidade.
Alumínio	Em alguns casos, utilizado para reduzir o peso do eixo, especialmente em aplicações automotivas.
Ferro fundido nodular	Utilizado em algumas aplicações industriais devido à sua boa combinação de resistência e custo.

O eixo cardan de análise desse trabalho é o DIN 808, a figura 2 representa tal eixo e seus modelos com diferentes dimensões.

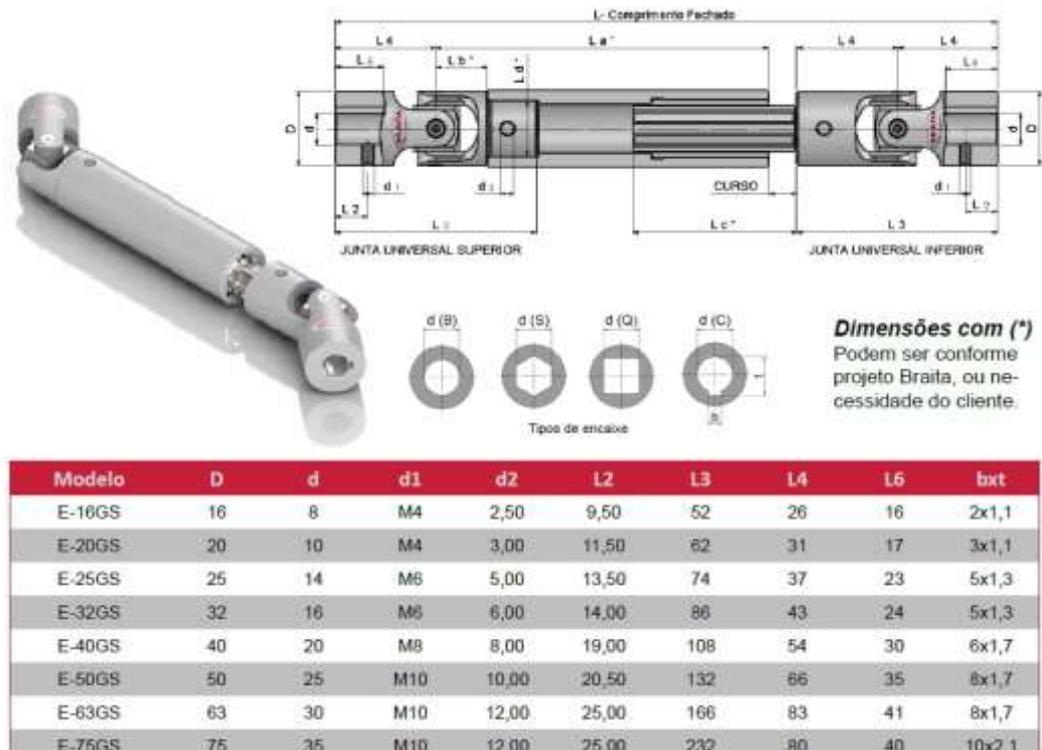


Figura 2 – Eixo cardan DIN 808 (Braita, 2021).

2.2 Conformação mecânica

Processo amplamente utilizado na indústria para fabricação de peças metálicas. Este processo envolve a aplicação de força mecânica para moldar e formar materiais metálicos em formas desejadas.

E de acordo com Bresciani Filho (2011), a conformação de corpos metálicos envolve a modificação da sua forma para uma forma específica, sem que ocorra a fusão do metal. Essa conformação é alcançada por meio da aplicação de tensões externas, muitas vezes em temperaturas elevadas, mas sem chegar ao ponto de liquefação do metal. Esses processos são conhecidos como processos de conformação mecânica.

Os processos mecânicos incluem a conformação plástica, na qual as tensões aplicadas são geralmente menores do que o limite de resistência à ruptura do material. Esses processos são assim chamados devido à sua natureza de alterar a forma dos materiais sem a necessidade de fusão (E. BRESCIANI FILHO, 2011).

2.2.1 Forjamento a quente

De acordo com Kalpakjian et al. (2014), o forjamento é um processo milenar amplamente utilizado na indústria metalúrgica, sendo uma escolha consagrada na fabricação de componentes mecânicos de alta resistência e durabilidade, como os eixos cardan.

No contexto específico da produção de eixos cardan DIN 808, o forjamento é adotado devido à sua comprovada eficácia em produzir peças robustas e confiáveis, essenciais para aplicações exigentes.

Através do forjamento, os materiais metálicos são moldados por meio da aplicação de pressão e impacto controlados, resultando em uma estrutura metalúrgica refinada e propriedades mecânicas superiores, atendendo aos rigorosos requisitos de desempenho.

2.2.1.1 Etapas do processo

No processo de forjamento, as etapas descritas por Fredriksson et al. (2007) constituem uma sequência cuidadosamente planejada e executada para garantir a qualidade e precisão das peças produzidas. A preparação do material é o primeiro passo, envolvendo a seleção e preparação da matéria-prima adequada para o forjamento. Esta etapa é crucial para garantir que o material atenda aos requisitos de resistência, ductilidade e outras propriedades necessárias para o processo.

Em seguida, o material é aquecido a uma temperatura específica, visando aumentar a maleabilidade do material, tornando-o mais suscetível à deformação durante a etapa de conformação.

E na etapa de conformação, são aplicados pressão e impacto controlados sobre o material aquecido, utilizando uma matriz ou ferramenta de forjamento. Essa etapa é fundamental para moldar o material na forma desejada, garantindo a precisão dimensional e a integridade estrutural da peça. Após a conformação, o material passa pela etapa de resfriamento e acabamento.

Já no resfriamento, o material é estabilizado para manter sua forma e propriedades mecânicas. Em seguida, o acabamento superficial é realizado para atender às especificações de tolerância e acabamento da peça final. Essa etapa final do processo de forjamento garante que as peças atendam aos requisitos de qualidade e estética, prontas para serem utilizadas em suas aplicações específicas.

Essas etapas do processo de forjamento representam uma integração harmoniosa de diferentes operações, desde a preparação da matéria-prima até o acabamento final da peça. Cada etapa é realizada com precisão e cuidado, com o objetivo de produzir peças forjadas de alta qualidade, com propriedades mecânicas superiores e acabamento excepcional.

2.2.1.2 Parâmetros do processo

Vários fatores são apresentados na Figura 3, como, por exemplo, as diversas variáveis relacionadas à matéria-prima, tais como composição química, microestrutura, propriedades mecânicas e defeitos superficiais.

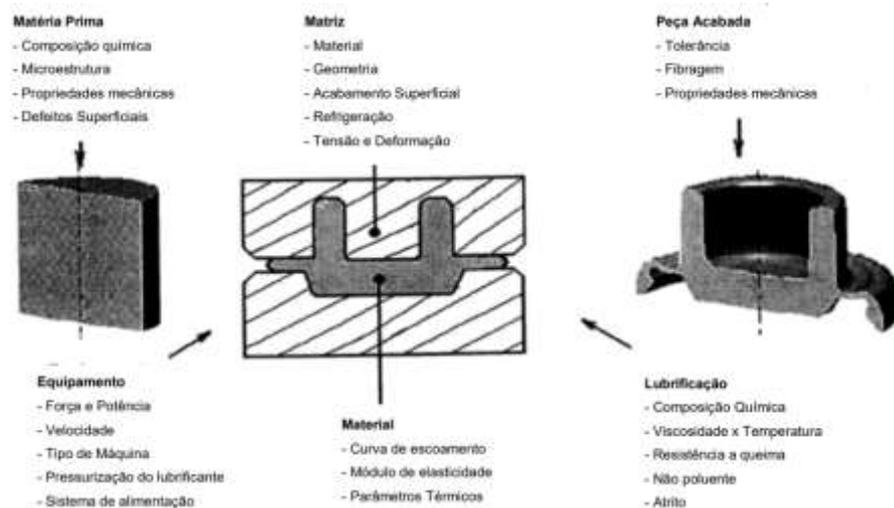


Figura 3 - Parâmetros fundamentais do forjamento (SCHAEFFER, 2006)

É notável que as tensões, deformações, força, potência e outras variáveis são influenciadas pela matriz, pelas peças acabadas, entre outros fatores.

Sendo que os principais parâmetros do processo, de acordo com Geiger (2004), são:

- **Temperatura de aquecimento:** A temperatura adequada para aumentar a maleabilidade do material sem causar danos.
- **Pressão de forjamento:** A quantidade de pressão aplicada durante o processo para moldar o material.
- **Taxa de deformação:** A velocidade com que o material é deformado durante o processo.
- **Tempo de resfriamento:** O tempo necessário para resfriar o material após a conformação.

2.2.1.3 Vantagens e desvantagens do processo

Entre as vantagens da aplicação de processos de conformação na fabricação de peças, destacam-se:

- Obtém-se um excelente acabamento superficial na peça, especialmente quando as matrizes utilizadas no processo possuem bons acabamentos;
- As propriedades mecânicas dos materiais forjados são superiores às encontradas em materiais fundidos, devido à sua estrutura fina e homogênea, conforme indicado por Espinoza (1999);
- O uso de temperaturas mais baixas durante o forjamento contribui para um ambiente de trabalho mais saudável, com menor poluição atmosférica em comparação com os processos de fundição;
- Há uma alta taxa produtiva e a obtenção de boa precisão dimensional, uma vez que as peças adquirem as características das matrizes utilizadas no processo, as quais geralmente possuem excelentes tolerâncias dimensionais e geométricas.

Entre as desvantagens associadas à conformação na fabricação de peças, destaca-se, conforme Arantes (2020), o alto custo das ferramentas, uma vez que as matrizes possuem um custo de aquisição elevado, o que pode inviabilizar a produção em pequena escala.

Além disso, em alguns casos, é necessária a usinagem para alcançar os valores dimensionais desejados, quando as matrizes utilizadas não possuem as tolerâncias dimensionais requeridas para a produção da peça desejada.

E em relação às desvantagens relacionadas às características da peça, destacam-se:

- **Limitações de forma:** A conformação mecânica pode ter limitações na complexidade das formas que podem ser produzidas, especialmente em comparação com processos de usinagem. Formas muito intrincadas podem ser difíceis ou impossíveis de alcançar com eficiência por meio de conformação mecânica.
- **Tolerâncias dimensionais:** Devido à natureza dos processos de forjamento e prensagem, pode ser desafiador manter tolerâncias dimensionais muito apertadas em peças produzidas por conformação mecânica, especialmente em comparação com usinagem CNC, que oferece maior precisão dimensional.
- **Custos de ferramental:** Os custos iniciais de ferramentas e matrizes para conformação mecânica podem ser substanciais, especialmente para peças complexas ou produções em pequena escala. Isso pode tornar o processo menos viável para certas aplicações ou empresas com recursos limitados.

Por fim, de acordo com Barrau (2003), as peças produzidas por forjamento estão sujeitas a altas tensões térmicas e intensos choques mecânicos durante o processo de

fabricação, o que pode resultar em falhas no ferramental devido ao desgaste e à fadiga, aumentando assim os custos de reposição e manutenção do maquinário.

2.3 Usinagem CNC

Operações de usinagem referem-se àquelas que conferem à peça sua forma, dimensões ou acabamento desejados, resultando na remoção de material em forma de cavaco. O termo "cavaco" é usado para descrever a porção de material da peça que é retirada pela ferramenta de usinagem, caracterizada por sua forma geométrica irregular, conforme definido por Ferraresi (1969).

Por outro lado, a usinagem CNC segue os mesmos princípios em relação à forma, dimensões e acabamento da peça, também resultando na produção de cavaco. No entanto, esse processo utiliza máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado), que são equipamentos eletromecânicos controlados por computador.

Tais máquinas recebem informações na forma de linguagem de máquina por meio de um computador dedicado, que as compila e transmite em linguagem decodificada para servomotores e outros mecanismos.

E por fim, permite que os eixos se movam ou configurem diversas operações de forma precisa e sequencial, possibilitando a fabricação de peças e produtos de alta complexidade por meio da remoção de material por ferramentas cortantes, em uma sequência determinada pelo programador CNC, conforme explicado por Azevedo (2017).

2.3.1 Centro de torneamento CNC

Os centros de torneamento CNC representam uma categoria especializada de máquinas projetadas para a produção eficiente de uma ampla gama de peças cilíndricas de revolução. Geralmente, essas máquinas são configuradas para operar com dois eixos, o que proporciona uma grande flexibilidade na programação e execução das operações de usinagem.

Dentro do contexto das operações realizadas por um centro de torneamento CNC, destacam-se a fabricação de componentes cilíndricos essenciais, como eixos, tubos e, de forma específica para este estudo, uma variedade de eixos de diferentes tipos, conforme ressaltado por Erominas (2019).

Uma das características mais vantajosas desses equipamentos, conforme destacado por Erominas (2019), é sua capacidade de realizar todas essas operações de usinagem sem a necessidade de intervenção manual para a troca de ferramentas ou peças durante o processo.

E tal capacidade automática não apenas aumenta a eficiência e a produtividade da produção, mas também desempenha um papel fundamental na redução de erros e na garantia da consistência dimensional e de qualidade das peças fabricadas.

Assim, os centros de torneamento CNC representam uma solução altamente eficaz para a produção de peças cilíndricas complexas e precisas, oferecendo benefícios significativos em termos de desempenho e confiabilidade do processo de usinagem.

A figura 4 representa um centro de torneamento CNC da ROMI S.A., modelo GL 300M.



Figura 4 – Centro de torneamento CNC GL 300M. (ROMI S.A., 2024)

2.3.1.1 Etapas do processo

Usinar uma peça em um centro de torneamento envolve a definição de informações cruciais, como coordenadas e outros dados técnicos, que instruem o movimento da ferramenta em relação à peça de trabalho para alcançar a forma desejada.

Essas instruções são codificadas em um programa de usinagem, que compreende dados dimensionais (geométricos) e dados de controle, incluindo funções preparatórias e auxiliares, como a ativação da refrigeração, conforme explicado pela COSA Intermáquinas (2022).

E segundo a COSA Intermáquinas (2022), o processo de programação inicia-se com a definição da matéria-prima e do desenho da peça desejada. Em seguida, o desenho é adaptado

para o sistema de coordenadas do centro de torneamento CNC selecionado, seguido pela definição do plano de usinagem para determinar o método mais eficiente. A fixação da matéria-prima no equipamento ocorre em seguida, utilizando dispositivos adequados.

Após a fixação, procede-se à seleção das ferramentas, determinação dos parâmetros de corte e ajuste do *preset* da ferramenta. O próximo passo envolve a criação do processo em papel, detalhando o percurso das ferramentas e seus movimentos com base nas especificações do equipamento.

Em seguida, o programa é transmitido para a máquina, utilizando interfaces de armazenamento externo, como cartões PCMCIA e, após o preparo, é realizado um teste do programa para verificar sua precisão antes da produção das peças desejadas.

2.3.1.2 Parâmetros do processo

Para garantir o sucesso na fabricação de uma peça utilizando um centro de torneamento CNC, é essencial determinar uma série de parâmetros que configurarão o equipamento para produzir o que foi projetado. Conforme explicado pela COSA Intermáquinas (2017), esses parâmetros incluem rotações por minuto (RPM) da ferramenta, velocidade de corte, profundidade de corte, avanço da ferramenta e o uso de fluido de corte.

As RPM da ferramenta devem ser ajustadas para determinar a velocidade de corte durante a usinagem, conforme definição do CIMM (2010). Isso representa a velocidade instantânea de um ponto específico no gume da ferramenta em relação à peça. A profundidade de corte, como definido por Bacci (2004), refere-se ao ajuste entre peça e ferramenta para controlar a espessura do material retirado.

A figura 5 demonstra uma fresadora em operação de fresamento discordante, com seus devidos parâmetros ilustrados e direcionados.

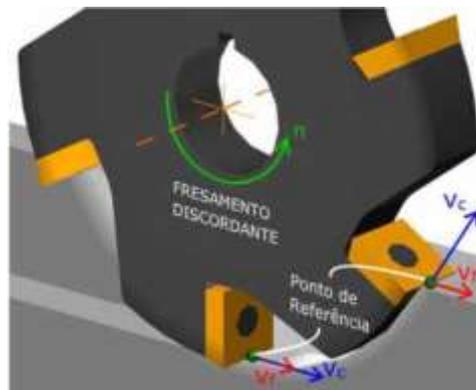


Figura 5 – Fresamento com parâmetros de sentido de rotação (n), velocidade de corte (V_c) e avanço (V_f) definidos. (CIMM, 2010)

O avanço da ferramenta, expresso em milímetros por rotação ($\frac{mm}{rot}$), combinado com o movimento de corte, resulta na remoção do cavaco, como destacado por Bacci (2004). Já o fluido de corte atua como um lubrificante entre as superfícies, reduzindo o atrito entre o cavaco e a ferramenta, diminuindo assim as forças de usinagem. Além disso, os fluidos de corte funcionam como refrigerantes, dissipando o calor gerado pelo atrito e prolongando a vida útil do ferramental.

Em relação aos parâmetros de referência do centro de usinagem, é importante mencionar a montagem em ordem lógica, o *preset* de ferramentas e o zero-peça. A montagem em ordem lógica define as etapas sequenciais que o sistema deve seguir para realizar a produção do produto proposto.

O *preset* de ferramentas envolve a determinação das características da ferramenta, como comprimento e diâmetro, usando um dispositivo dedicado. Por fim, o zero-peça é o ponto de origem do sistema de coordenadas do programa, marcando o início da peça, conforme explicado por Rodrigues (2019).

2.3.1.3 Vantagens e desvantagens do processo

Assim como em qualquer processo de fabricação, os métodos de usinagem, especialmente aqueles que utilizam centros de torneamento CNC, apresentam vantagens e desvantagens que serão discutidas a seguir. Entre as vantagens, conforme destacado pela CCV Industrial (2019), está a alta produtividade das máquinas, que reduz o tempo de produção de cada peça em comparação com a usinagem convencional.

Além disso, a precisão e flexibilidade da usinagem CNC proporcionam uma repetibilidade elevada, resultando em peças com tolerâncias dimensionais e geométricas precisas e reduzindo ou eliminando a necessidade de acabamento adicional.

Como resultado desses benefícios, é possível realizar um maior número de operações em comparação com métodos convencionais de usinagem ou conformação, pois basta ajustar o programa para produzir uma peça completamente diferente.

No entanto, em relação às desvantagens, conforme apontado por Pazos (2002), a usinagem CNC requer um investimento inicial significativo devido ao alto custo de aquisição dos centros de usinagem e outros componentes necessários, o que pode tornar inviável para linhas de produção com baixa produtividade.

E em relação às desvantagens relacionadas às características da peça, destacam-se:

- **Desperdício de material:** A usinagem CNC pode resultar em um considerável desperdício de material, especialmente em operações de remoção de grandes volumes de material. Isso pode aumentar os custos de matéria-prima e ter impactos ambientais negativos.
- **Custos de programação e tempo de configuração:** A programação de máquinas CNC e a configuração inicial podem ser complexas e demoradas, especialmente para peças com geometrias complicadas. Isso pode aumentar os custos de produção e atrasar os prazos de entrega.
- **Rugosidade superficial:** Dependendo das condições de corte e dos materiais utilizados, as peças produzidas por usinagem CNC podem apresentar rugosidades superficiais indesejadas, o que pode exigir processos adicionais, como acabamento superficial, para atender aos requisitos de qualidade.

Além disso, as máquinas também exigem manutenção mais rigorosa, necessitando de mão de obra especializada, o que acarreta em maiores custos de manutenção, como observado pela CCV Industrial (2019). Devido à complexidade do equipamento, é necessário contratar operadores especializados em usinagem CNC, o que também adiciona custos salariais adicionais.

2.4 *Should cost*

A análise de custo alvo, conhecida como *should cost*, surge como uma tentativa de preencher a lacuna necessária para uma compreensão detalhada dos custos. Este método é empregado para determinar o valor que um produto deve ter considerando um processo eficiente e um cenário econômico estável.

Ao aplicar o *should cost*, é viável conduzir uma análise minuciosa dos custos e desafiar os fornecedores a eliminar as ineficiências que impactam no preço final, como apontado por Burt (2004).

Com a crescente globalização e o acesso a novas tecnologias, o mercado consumidor tornou-se mais exigente, demandando constantemente por inovações em processos, produtos e serviços. Nesse contexto, para se manterem competitivas no mercado global, as empresas precisam se reinventar continuamente, o que resulta em um aumento significativo da concorrência ano após ano (Lima; Rodrigues, 2023, p.27).

Diante desse cenário, o fator custo-benefício de um produto assume um papel fundamental aos olhos do consumidor, sendo essencial para que uma indústria se mantenha competitiva no mercado.

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

2.4.1 Definições de custos

Para criar uma ferramenta de *should cost*, é essencial, em primeiro lugar, identificar todos os custos relacionados à metodologia. Conforme explicado por Marchi (2017), o custo é definido como uma despesa e é analisado sob essa ótica, pois envolve os aspectos ligados à produção de bens e serviços no processo de fabricação de um item ou na prestação de um serviço específico. Desse modo, o custo se torna um elemento que reflete o uso de diversos serviços e produtos, expressos em valores monetários, podendo ou não resultar na geração de renda.

De acordo com Strutz (2017), entre os custos presentes nos processos relacionados a uma linha de produção industrial, destacam-se os custos diretos e indiretos. Os custos diretos são aqueles diretamente associados à produção de um produto ou serviço, como matéria-prima, mão de obra direta e custos específicos de equipamentos.

Já os custos indiretos englobam despesas que não estão diretamente ligadas à produção, mas que contribuem para o funcionamento geral da empresa, incluindo despesas administrativas, de manutenção, de depreciação de equipamentos e outros gastos gerais.

2.4.1.1 Custos Diretos

Os custos diretos representam despesas que podem ser facilmente quantificadas e identificadas diretamente no produto ou serviço, sem a necessidade de critérios de rateio para sua alocação. Conforme explicado por Strutz (2017), esses custos são facilmente atribuíveis aos produtos fabricados ou serviços prestados.

Além disso, é destacado por Leone (1997) que os custos diretos também são variáveis, ou seja, eles flutuam de acordo com o volume de atividades. Para projetar esses custos variáveis, é essencial determinar a produção em unidades físicas específicas. Por exemplo, estabelecer a produção de 20 eixos cardan por hora em uma determinada planta industrial.

Assim, fica evidente que os custos variáveis estão diretamente ligados à quantidade produzida, ou seja, os custos diretos para fabricar 20 eixos cardan serão diferentes dos custos diretos para fabricar 50 unidades do mesmo produto.

Segundo Strutz (2017), os principais custos diretos envolvidos na produção de bens ou serviços incluem mão de obra direta, custos de aquisição da matéria-prima e despesas relacionadas à embalagem do produto final.

2.4.1.2 Custos Indiretos

De acordo com Leone (2000), os custos indiretos são aqueles que não podem ser atribuídos diretamente aos produtos ou serviços produzidos e, portanto, exigem o uso de critérios de rateio para sua alocação. Esses custos representam os gastos necessários para manter a empresa em funcionamento, mas que não estão diretamente ligados à produção específica de um item, pois abrangem vários itens simultaneamente.

Os custos indiretos são classificados em duas categorias: custos indiretos variáveis e custos indiretos fixos. Os custos variáveis incluem despesas como energia elétrica, água, materiais de limpeza, manutenção de equipamentos, depreciação de máquinas e mão de obra indireta, que engloba funcionários não diretamente envolvidos na produção, como os administrativos (Lima; Rodrigues, 2023, p.29).

Por outro lado, os custos indiretos fixos, conforme explicado por Leone (2000), são aqueles que permanecem constantes independentemente da quantidade produzida. Esses custos são predeterminados e não variam com a produção, como o aluguel do prédio, a depreciação das instalações, seguros, aquisição de equipamentos e ferramentas.

Além dos custos diretos e indiretos, os impostos municipais, estaduais e federais também são parte importante da análise de custos, pois impactam no preço final de venda do produto. Portanto, o custo total do produto é composto pela soma dos custos diretos variáveis, custos indiretos fixos e variáveis, impostos incidentes e a margem de lucro estabelecida.

2.4.1.3 Metodologia aplicada

A abordagem do *Should Cost* busca estimar detalhadamente o intervalo de custo de um produto específico, considerando um processo eficiente e um ambiente econômico estável. Com essa metodologia, é viável realizar análises minuciosas e identificar oportunidades para aprimorar o preço final do produto (BURT, 2004).

A figura 6 apresenta um fluxograma que esclarece as etapas necessárias para a implementação da metodologia *Should Cost*.



Figura 6 – Fluxo de processos de *Should Cost*. Adaptado de (RAVIKANTI, 2019).

Como observado acima, a metodologia do *Should Cost* começa com a fase de estudo inicial, onde são abordadas as características iniciais do processo, incluindo a lista de materiais, modelagem computacional, especificações, volume de produção e local de fabricação. Em seguida, é elaborada a base de dados do projeto, incluindo custos de materiais, taxas de contratação, salários, aquisição de equipamentos e sua depreciação.

Posteriormente, vem a etapa de cálculo de materiais, que envolve a classificação, composição e estimativa do peso total do material, juntamente com a previsão da taxa de material improdutivo. Em seguida, é necessário definir o plano de ação da linha de produção, incluindo treinamento de colaboradores, alocação de maquinário e determinação dos fluxos de processos e ferramentas a serem utilizadas.

A etapa seguinte, denominada tempo de ciclo, aborda os tempos envolvidos na fabricação da peça, incluindo jornadas de trabalho, tempo de operação das máquinas e parâmetros operacionais. O próximo passo é a elaboração do modelo de custo, que engloba os custos de mão de obra, máquinas, custos variáveis do processo, reposição de ferramentas e possíveis custos de perda.

Após isso, há uma revisão minuciosa dos custos envolvidos, incluindo processos de fabricação, custos dos fornecedores, finanças e custos de fornecimento. Finalmente, ocorre a análise final do custo da linha de produção, comparando com outros processos ou concorrentes, identificando falhas, realizando análises *What If* para identificar riscos e

aplicando a análise TCO (*Total Costs of Ownership*) para entender o custo total de propriedade. Com todas as etapas e parâmetros definidos, é possível desenvolver um *Should Cost* confiável e flexível, permitindo uma precificação adequada e competitiva em um mercado em constante evolução.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão discutidos os aspectos relacionados à metodologia empregada neste estudo para a fabricação de um eixo cardan, empregando dois métodos diferentes: conformação mecânica e usinagem CNC.

A fim de comparar os processos de fabricação e determinar aquele com o melhor custo-benefício, será adotada a metodologia do *Should Cost*. Esta abordagem analisará todos os custos, diretos e indiretos, associados à produção de eixos cardan.

3.1 Eixo cardan escolhido

Diante dos diversos tipos de eixos cardan disponíveis no mercado, neste trabalho serão desenvolvidas linhas de produção para eixos cardan DIN 808 tipo G.

Além disso, é preciso determinar a classificação do referido eixo, a figura 7 representa tal eixo.



Figura 7 – Eixo cardan DIN 808 – G (IMETEX, 2006)

E a figura 8 representa as dimensões que foram definidas para a fabricação do eixo.

Tamanho		Comprimento			L mín.	Curso A	L máx.	Eixo ranhurado DIN 5463	Chaveta DIN6885/1		Quadr. S
D1	D2	L1	L2	L4					B	T	
10	22	12	48	24	190	60	250	6 x 11 x 14	3	11,4	10
12	22	18	62	31	220	60	280	6 x 11 x 14	4	13,8	12
12	25	13	56	28	225	70	295	6 x 13 x 16	4	13,8	12
16	25	21	74	37	260	70	330	6 x 13 x 16	5	18,3	16
14	28	13	60	30	230	70	300	6 x 13 x 16	5	16,3	14
16	32	16	68	34	252	70	322	6 x 16 x 20	5	18,3	16
20	32	24	86	43	295	80	375	6 x 16 x 20	6	22,8	20
18	36	17	74	37	270	80	350	6 x 18 x 22	6	20,8	18
20	42	18	82	41	310	100	410	6 x 21 x 25	6	22,8	20
25	42	31	108	54	365	100	465	6 x 21 x 25	8	28,3	25
22	45	22	95	47,5	340	100	440	6 x 23 x 28	6	24,8	22
25	50	26	108	54	415	150	565	6 x 26 x 32	8	28,3	25
30	50	38	132	66	460	150	610	6 x 26 x 32	8	33,3	30
30	58	29	122	61	445	150	595	8 x 32 x 38	8	33,3	30
32	58	33	130	65	515	200	715	8 x 32 x 38	10	35,3	32
35	70	35	140	70	555	200	755	8 x 36 x 42	10	38,3	35
40	70	47	166	83	605	200	805	8 x 36 x 42	12	43,3	40
40	80	40	160	80	600	200	800	8 x 42 x 48	12	43,3	40
50	95	50	190	95	670	200	870	8 x 46 x 54	14	53,8	50

Figura 8 – Dimensões (IMETEX, 2006)

Os parâmetros da tabela são representados na figura 9.

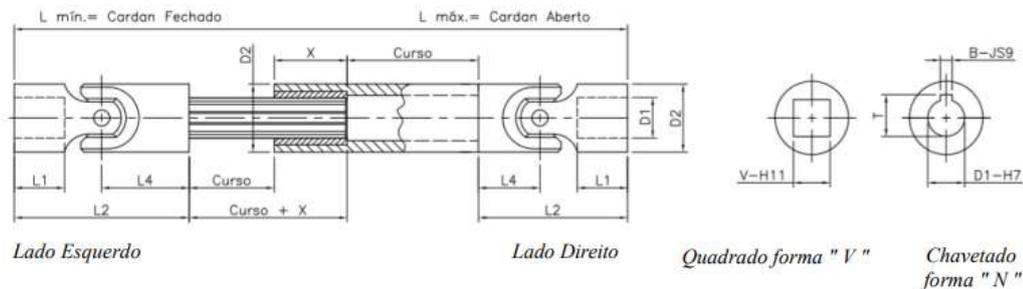


Figura 9 – Parâmetros do eixo (IMETEX, 2006).

3.2 Linhas de produção

Nos subitens a seguir, serão percorridas todas as etapas das linhas de produção para os 2 processos de fabricação adotados: conformação mecânica e usinagem CNC, respectivamente.

3.2.1 Linha de produção: Conformação mecânica

Para essa linha de produção em questão foram estabelecidos 6 processos, conforme mostrado na figura 10.

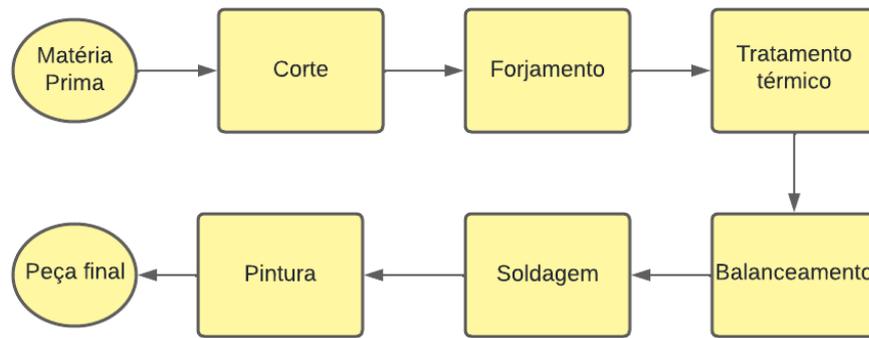


Figura 10 – Fluxograma da linha de produção por conformação mecânica.

A fabricação do eixo cardan G DIN 808 tem seu início com o corte de tubos de aço SAE 1045 em seções de comprimento específico, etapa realizada pela máquina de corte MC-425CNC, fabricada pela renomada empresa SLS Machinery. A representação visual desta máquina, pode ser observada na figura 11.



Figura 11 – Máquina de corte (SLS Machinery, 2024)

Essa máquina oferece uma série de vantagens para o processo produtivo. Com alta precisão, cortes rápidos e remoção eficiente de rebarbas, a MC-425CNC é capaz de cortar tubos de até 320 mm de diâmetro a uma velocidade de até 120 m/min. Além disso, sua tolerância de corte de +/- 0,5 mm assegura que as seções dos tubos permaneçam dentro das especificações dimensionais necessárias para as etapas subsequentes do processo.

Após o corte dos tubos, o próximo passo é a deformação plástica para alcançar a forma final do eixo cardan. Para essa tarefa, a prensa hidráulica PM4C, fabricada pela Pressmatik, é empregada. Com uma capacidade de prensagem de 500 toneladas, essa máquina garante uma conformação precisa das cabeças do eixo cardan. A figura 12 ilustra a prensa hidráulica.



Figura 12 – Prensa hidráulica (Pressmatik, 2024)

Posteriormente, utiliza-se também um forno industrial, como o forno mufla industrial, produzido pela Exaustermo. Essa etapa molda as cabeças do eixo cardan com a forma e as dimensões finais. A temperatura máxima do forno de indução é de 1.200 °C, garantindo o aquecimento adequado do aço para o forjamento.

A tolerância dimensional das cabeças forjadas é de +/- 0,2 mm, assegurando a precisão e a qualidade do produto final. A figura 13 mostra tal equipamento.



Figura 13 – Forno mufla industrial (Exaustermo, 2024)

Para aumentar a dureza e a resistência do eixo cardan, as peças são temperadas e revenidas através de um tratamento térmico. O processo garante que o eixo tenha a resistência necessária para suportar as cargas e vibrações durante o seu funcionamento. A dureza superficial do eixo cardan após o tratamento térmico é de 55 HRC, o que garante a sua durabilidade.

O eixo cardan é então balanceado em uma máquina balanceadora, como a Schenck Trebel HM 30. Essa etapa garante que o eixo cardan esteja em equilíbrio, evitando vibrações

durante a sua rotação. A máquina é capaz de balancear peças de até 1.500 kg com um nível de balanceamento de G6.3, o que garante um funcionamento suave e sem vibrações.

A figura 14 representa tal máquina.



Figura 14 – Máquina balanceadora (Schenck, 2024)

As cruzetas, que conectam o eixo cardan às rodas, são soldadas às cabeças do eixo em uma máquina de soldagem automática, junta de uma fonte Fronius CMT 4000, conforme mostrado na figura 15. A soldagem é feita com o processo MIG/MAG, que garante uma solda de alta qualidade e resistência. A máquina Fronius CMT 4000 oferece corrente de soldagem de até 400 A, permitindo a soldagem de eixos cardan de diversos tamanhos e materiais.



Figura 15 – Fronius CMT 400 (Fronius, 2024)

E para proteger o eixo cardan contra a oxidação, ele é pintado com tinta epóxi anticorrosiva, utilizando a Gema OptiStar 2000, mostrada na figura 15. A pintura epóxi garante a proteção do eixo cardan contra intempéries e ambientes agressivos, aumentando sua vida útil.

A espessura da película de tinta epóxi é de 80 μm , garantindo uma proteção adequada contra a corrosão. A pintura com a Gema OptiStar 2000 oferece controle para a aplicação da tinta, garantindo um acabamento uniforme e de alta qualidade.



Figura 16 – Gema OptiStar 2000 (Gema, 2024)

Após a pintura, o eixo cardan é inspecionado para garantir que atenda a todas as especificações de qualidade. Essa etapa inclui a verificação das dimensões, da dureza, da resistência à tração, da concentricidade e do balanceamento.

3.2.2 Linha de produção: Usinagem CNC

Para essa linha de produção em questão foram estabelecidos 5 processos, conforme mostrado na figura 17

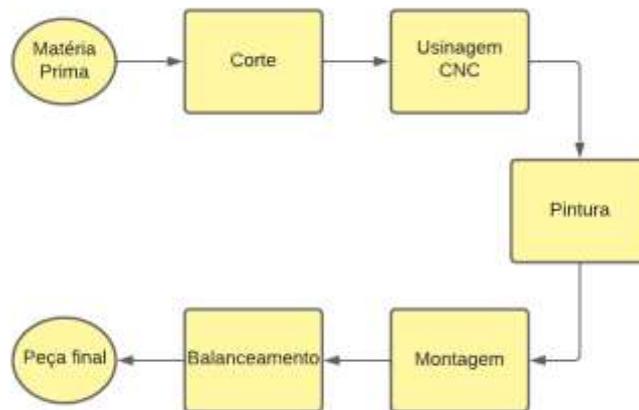


Figura 17 – Fluxograma da linha de produção por usinagem CNC

Inicialmente, é necessário a compra do aço SAE 1045, em formato de tarugo, para facilitar as próximas etapas do processo de usinagem dos eixos de transmissão cardan.

Em seguida, faz-se necessário o desenho em *CAD* tanto 2D quanto 3D da peça a ser fabricada, passo importante para que seja possível a preparação de toda a programação do centro de torneamento CNC.

As figuras 7 e 9 ilustram o desenho do eixo cardan, mostrado no subitem “3.1 Eixo cardan escolhido”.

Posteriormente, é necessário cortar os tarugos da matéria-prima para adequar as dimensões definidas anteriormente. Dessa forma, utiliza-se de uma máquina de corte de tarugos CNC, modelo WILA-30, produzida pela Maanshan Wila CNC Machine Tools.

A figura 18 ilustra a máquina de cortes, modelo WILA-30, utilizada na linha de produção.

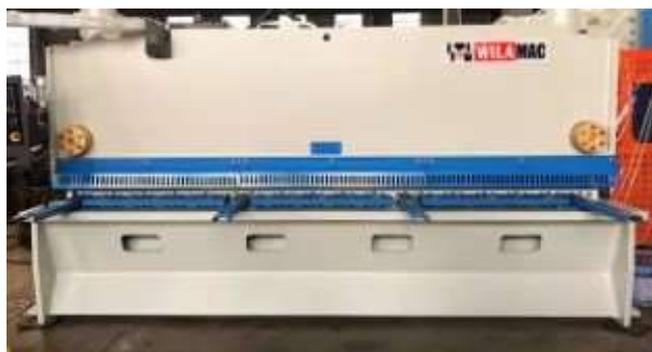


Figura 18 – Máquina de corte de tarugo CNC WILA-30 (WILA MACHINE TOOLS, 2024).

Conforme mencionado anteriormente, o centro de torneamento CNC será encarregado de fabricar completamente os eixos cardan, sem a necessidade de processos de acabamento adicionais. No entanto, se for necessário, um tratamento térmico, como a têmpera, pode ser realizado para melhorar as propriedades mecânicas dos eixos recém-produzidos.

Como mostrado na figura 4, no subitem "2.3.1 - Centro de torneamento CNC", o centro de torneamento selecionado para a linha de produção será da ROMI S.A., modelo GL 300M, equipado com acessórios como brocas, fresas de topo, alargadores, machos de rosca, cabeçotes fresadores, entre outros.

Além disso, entre as operações realizadas pelo equipamento, destacam-se o alargamento, fresamento, furação, mandrilhamento, rebaixamento e rosqueamento. Com base nessas operações, é possível usinar eixos cardan G DIN 808.

Após essa etapa de usinagem, para realizar a pintura e balanceamento, serão utilizadas as máquinas demonstradas nas figuras 14 e 16, respectivamente. Mostradas no subitem "3.2.1 Linha de produção: Conformação mecânica".

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA *SHOULD COST*

Como mencionado previamente, o propósito deste estudo é utilizar a metodologia *should cost* para calcular os custos envolvidos na produção de eixos cardan G DIN 808, utilizando dois processos de fabricação distintos: conformação mecânica e usinagem CNC.

Sendo que a abordagem adotada neste estudo se deu com foco principalmente nos aspectos relacionados aos custos. Portanto, embora questões como qualidade das peças fabricadas em cada processo, resistência a tensões e superfície não tenham sido detalhadamente examinadas, é importante ressaltar que a análise se concentrou predominantemente na contabilidade, não na engenharia em si.

A análise dos custos totais, incluindo custos diretos e indiretos, permitirá determinar qual processo é mais econômico, garantindo a seleção da linha de produção mais adequada para a peça em questão (Neto, 2023, p.31).

Algumas simplificações foram feitas para facilitar a aplicação da metodologia, como a exclusão dos custos de transporte das peças por meio de linhas automáticas de produção, como esteiras e outros componentes.

Assim, apenas os equipamentos envolvidos nos processos de transformação material, como fornos e máquinas usadas durante a fabricação, serão considerados nos cálculos de custo de produção.

Foi estabelecida uma produção de 48 eixos por dia, assumindo-se que a indústria opera 24 horas por dia em turnos de 8 horas. Além disso, foi estimado um tempo de depreciação de 10 anos para cada linha de produção.

4.1 Custo de aquisição da matéria-prima

Considerando a comparação de custo para o eixo selecionado, tanto o processo de conformação mecânica quanto o de usinagem CNC têm a capacidade de produzir a mesma quantidade de peças usando a mesma quantidade de matéria-prima. No entanto, na prática, isso pode resultar em máquinas ociosas em determinados processos, como no caso do forjamento. Então, diante do que foi mencionado anteriormente e considerando uma produção de 48 eixos por dia, isso equivale a fabricar 1.056 por mês.

O eixo cardan definido nesse estudo tem comprimento máximo de 330 mm, conforme mostrado na figura 8 do subitem “3.1 Eixo cardan escolhido”. Dessa forma, para cada eixo,

definiu-se o uso de tarugos redondos de aço 1045 com diâmetro de 1 polegada (25,4 mm) e comprimento de 1 metro.

E de acordo com estimativas realizadas através de pesquisas, cada unidade do tarugo citado acima custa R\$ 119,00. Considerando que para cada eixo será utilizada uma unidade do tarugo, o cálculo realizado se deu multiplicando a quantidade eixos produzidos por cada custo da unidade de matéria prima.

A tabela 2 traz os custos referentes à matéria-prima para os períodos de um mês, um ano e dez anos.

Tabela 2 – Investimento em matéria prima.

Material	Custo de cada unidade	Quantidade mensal (unidades)
Tarugos de aço 1045	R\$ 119,00	1.056
Investimento mensal de matéria prima		R\$ 125.664,00
Investimento anual de matéria prima		R\$ 1.507.968,00
Investimento para 10 anos de matéria prima		R\$ 15.079.680,00

4.2 *Should cost*: Conformação Mecânica

Para a linha de produção baseada na conformação mecânica, é necessário a aquisição de máquina de máquina de corte MC-425CNC, no valor de R\$ 50.000,00. Sendo tal máquina com capacidade de cortar, remover rebarbas e garantir precisão dimensional.

Além disso, é preciso a compra de uma prensa hidráulica Presmatik PM4C para deformar plasticamente a seção do tubo, no valor de R\$ 800.000,00. E também um forno industrial mufla, no valor de R\$ 25.000,00.

E para etapa de balanceamento, uma Schenck Trebel HM 30, com função de equilibrar o eixo e garantir um funcionamento suave e sem vibrações, no valor de R\$ 220.000,00. Já para a soldagem, a máquina escolhida foi a Fronius CMT 4000, no valor de R\$ 75.000,00.

Por último, é necessário pintar o eixo cardan para proteger contra a corrosão, para tal processo é necessário comprar uma OptiStar 2000, no valor de R\$ 10.000,00.

Vale ressaltar que os valores das máquinas foram estimados de acordo com estudos e análises, já que nem todas possuem valores disponíveis no mercado. A tabela 3 reúne os custos envolvidos com o investimento inicial estimados dos equipamentos.

Tabela 3 – Investimento inicial de equipamentos para conformação mecânica.

Equipamentos da linha de produção	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Máquina de corte MC-425CNC	R\$ 50.000,00	1	R\$ 50.000,00
Prensa hidráulica Pressmatik PM4C	R\$ 800.000,00	1	R\$ 800.000,00
Forno industrial mufla	R\$ 25.000,00	1	R\$ 25.000,00
Balanceadora Schenck Trebel HM 30	R\$ 220.000,00	1	R\$ 220.000,00
Fronius CMT 4000	R\$ 75.000,00	1	R\$ 75.000,00
Gema PtiStar 2000	R\$ 10.000,00	1	R\$ 10.000,00
Investimento inicial de equipamentos			R\$ 1.180.000,00

4.2.1 Custos de mão de obra direta

Para determinar os custos de mão de obra direta, inicialmente, foi necessário estabelecer a quantidade de colaboradores em cada área por turno. É importante destacar que a indústria opera em três turnos, o que requer a triplicação do quadro de funcionários, exceto para o gerente de turno, que será único para ambos os turnos.

Os salários estão apresentados na tabela 4, refletindo um período acumulado de 10 anos de operação da linha de produção. É relevante observar que, apesar dos valores estarem baseados em salários de mercado (Vagas, 2023), para simplificar os cálculos, os custos com férias, 13º salário e encargos trabalhistas foram desconsiderados.

Tabela 4 – Custos de mão de obra direta para conformação mecânica.

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Operador de máquinas	6	R\$ 2.300,00	R\$ 13.800,00
Operador de forno	3	R\$ 3.200,00	R\$ 9.600,00
Operador de balanceamento	3	R\$ 2.300,00	R\$ 6.900,00
Operador de máquina de pintura	3	R\$ 2.100,00	R\$ 6.300,00
Líder de equipe	3	R\$ 4.500,00	R\$ 13.500,00
Soldador	2	R\$ 3.800,00	R\$ 7.600,00
Custo mensal de mão de obra direta		R\$ 57.700,00	
Custo em 10 anos de mão de obra direta		R\$ 6.924.000,00	

4.2.2 Custos de manutenção e depreciação

Iniciando a estimativa dos custos indiretos da linha de produção, é necessário calcular os gastos relacionados à manutenção e depreciação ao longo dos 10 anos de operação da linha.

Conforme mencionado por Arantes (2020), podemos estimar um custo de depreciação de 10% ao ano para o equipamento. Assim, ao longo de 10 anos de operação, seguindo um padrão semelhante aos juros compostos, o equipamento depreciará da seguinte maneira:

- Valor inicial (tabela 3): R\$ 1.180.000,00;
- Valor após 1 ano: R\$ 1.062.000,00;
- Valor após 5 anos: R\$ 696.778,20;
- Valor após 10 anos: R\$ 411.440,56.

Portanto, o custo total de depreciação será o valor inicial de investimento no equipamento (conforme tabela 3) menos o valor residual após 10 anos de depreciação, resultando em um gasto de R\$ 768.559,44.

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2019), a média de despesas com manutenção é de 5% ao ano, totalizando 50% do valor de aquisição dos equipamentos investidos. Assim, o valor gasto com manutenção ao longo de 10 anos de operação da linha de produção em questão será de R\$ 590.000,00.

4.2.3 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. E para cada cargo foram consideradas médias salariais com base em valor de mercado (Vagas, 2023), considerando cargos com posições intermediárias, ou seja, acima do nível júnior.

A tabela 5 apresenta os custos envolvidos com mão de obra indireta, foram considerados os mesmos custos de mão de obra indireta e fatores desconsiderados, 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 5 – Custos de mão de obra indireta para conformação mecânica.

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
Engenheiro Mecatrônico	1	R\$ 7.160,00	R\$ 7.160,00
Gerente geral	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Custo mensal de mão de obra indireta		R\$ 61.760,00	
Custo em 10 anos de mão de obra indireta		R\$ 7.411.200,00	

4.2.4 Custos indiretos

Nos custos indiretos, serão incluídos os gastos com aluguel, manutenção e limpeza predial, realizados por uma empresa terceirizada contratada, bem como os gastos com energia elétrica e água. Além disso, os custos relacionados à expedição, como transporte e recebimento, serão terceirizados por uma empresa contratada para esse fim.

Para determinar o custo do aluguel, foi escolhido um galpão de dimensões 50x50 metros, com um valor médio de aluguel de R\$ 37.500,00, localizado na cidade de Uberlândia, MG.

Para calcular os gastos com energia elétrica, conforme a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2017), 40% dos custos de produção estão relacionados aos gastos com energia elétrica. Os custos de produção incluem a soma dos gastos com aquisição de matéria-prima e mão de obra direta.

A tabela 6 apresenta os gastos indiretos da linha de produção, incluindo os custos mensais, anuais e para os 10 anos de operação.

Tabela 6 – Custos indiretos para conformação mecânica.

Custo Indireto	Valor mensal	Custo anual	Custo em 10 anos
Aluguel mensal do prédio	R\$ 37.500,00	R\$ 450.000,00	R\$ 4.500.000,00
Energia Elétrica	R\$ 79.409,60	R\$ 952.915,20	R\$ 9.529.152,00
Empresa de limpeza e manutenção predial	R\$ 15.000,00	R\$ 180.000,00	R\$ 1.800.000,00
Água	R\$ 5.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 600.000,00
Empresa de expedição	R\$ 25.000,00	R\$ 300.000,00	R\$ 3.000.000,00
Custo total		R\$ 19.429.152,00	

Para assegurar a equidade entre os processos, os custos indiretos foram considerados iguais, exceto pela energia elétrica, cujo custo é baseado na produção mensal. Essa abordagem foi adotada para minimizar ao máximo os impactos de custos externos entre as linhas de produção.

Além disso, uma margem de lucro de 15% foi aplicada ao valor final de produção, que representa a soma de todos os custos, tanto diretos quanto indiretos, envolvidos no processo.

A Tabela 7 apresenta todos os gastos relacionados ao processo, incluindo a margem de lucro da produção.

Tabela 7 – Custos totais para conformação mecânica.

Custo	Custo em 10 anos
Equipamento	R\$ 1.180.000,00
Manutenção	R\$ 590.000,00
Depreciação	R\$ 768.559,44
Matéria prima	R\$ 15.079.680,00
Mão de obra direta	R\$ 6.924.000,00
Mão de obra indireta	R\$ 7.411.200,00
Custos indiretos	R\$ 19.429.152,00
Custo total (com lucro de 15%)	R\$ 59.089.980,156

Para se determinar o custo unitário de cada eixo cardan G DIN 808, é preciso determinar a quantidade produzida em 10 anos. Considerando que serão produzidos, em 10 anos, 126.720,00 eixos.

Para se determinar o valor, é preciso seguir a equação (1).

$$\text{Custo unitário} = \frac{\text{Custo total com lucro}}{\text{Número de eixos fabricados}} = R\$ 466,30 \quad (1)$$

Portanto, a linha de produção baseada na conformação mecânica, produziu eixos cardan G DIN 808, ao custo de R\$ 466,30.

4.3 *Should cost*: Usinagem CNC

Para a linha de produção baseada na usinagem CNC, é necessário a aquisição de uma máquina de corte de tarugos, modelo WILA-30, no valor de R\$ 50.000,00.

Além disso, é preciso a compra de um torno CNC, modelo GL 300M, no valor de R\$ 450.000,00. Sendo também necessário pintar a peça, com um OptiStar 2000, no valor de R\$ 10.000,00.

E após realizar a montagem, para a etapa de balanceamento, uma Schenck Trebel HM 30, com função de equilibrar o eixo e garantir um funcionamento suave e sem vibrações, no valor de R\$ 220.000,00.

Vale ressaltar que os valores das máquinas foram estimados de acordo com estudos e análises, já que nem todas possuem valores disponíveis no mercado. A tabela 8 reúne os custos envolvidos com o investimento inicial dos equipamentos.

Tabela 8 – Investimento inicial de equipamentos para usinagem CNC.

Equipamentos da linha de produção	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Máquina de corte WILA-30	R\$ 50.000,00	1	R\$ 50.000,00
Centro de torneamento CNC, modelo GL 300M, da Romi S/A	R\$ 716.760,00	1	R\$ 716.760,00
Balaceadora Schenck Trebel HM 30	R\$ 220.000,00	1	R\$ 220.000,00
Gema PtiStar 2000	R\$ 10.000,00	1	R\$ 10.000,00
Investimento inicial de equipamentos			R\$ 996.760,00

4.3.1 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 três turnos, sendo preciso triplicar 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. É relevante observar que, apesar dos valores estarem baseados em salários de mercado (Vagas, 2023), para simplificar os cálculos, os custos com férias, 13º salário e encargos trabalhistas foram desconsiderados.

Tabela 9 – Custos de mão de obra direta para usinagem CNC.

Colaborador por área	Quantidade	Salário	Valor total por grupo de colaborador
Operador de máquina	6	R\$ 2.300,00	R\$ 13.800,00
Operador de torno CNC	6	R\$ 3.500,00	R\$ 21.000,00
Operador de Máquina de pintura	3	R\$ 2.100,00	R\$ 6.300,00
Líder de equipe	3	R\$ 4.500,00	R\$ 9.000,00
Custo mensal de mão de obra direta		R\$ 50.100,00	
Custo em 10 anos de mão de obra direta		R\$ 6.012.000,00	

4.3.2 Custos de manutenção e depreciação

Iniciando a estimativa dos custos indiretos da linha de produção, é necessário calcular os gastos relacionados à manutenção e depreciação ao longo dos 10 anos de operação da linha.

Conforme mencionado por Arantes (2020), podemos estimar um custo de depreciação de 10% ao ano para o equipamento. Assim, ao longo de 10 anos de operação, seguindo um padrão semelhante aos juros compostos, o equipamento depreciará da seguinte maneira:

- Valor inicial (tabela 8): R\$ 996.760,00;
- Valor após 1 ano: R\$ 897.084,00;
- Valor após 5 anos: R\$ 588.576,81;
- Valor após 10 anos: R\$ 347.548,72.

Portanto, o custo total de depreciação será o valor inicial de investimento no equipamento (conforme tabela 8) menos o valor residual após 10 anos de depreciação, resultando em um gasto de R\$ 649.211,28.

De acordo com a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN, 2019), a média de despesas com manutenção é de 5% ao ano, totalizando 50% do valor de

aquisição dos equipamentos investidos. Assim, o valor gasto com manutenção ao longo de 10 anos de operação da linha de produção em questão será de R\$ 498.380,00.

4.3.3 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. E para cada cargo foram consideradas médias salariais com base em valor de mercado (Vagas, 2023), considerando cargos com posições intermediárias, ou seja, acima do nível júnior.

A tabela 10 apresenta os custos envolvidos com mão de obra indireta, foram considerados os mesmos custos de mão de obra indireta e fatores desconsiderados, 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 10 – Custos de mão de obra indireta para usinagem CNC.

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
Engenheiro Mecatrônico	1	R\$ 7.160,00	R\$ 7.160,00
Gerente geral	1	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00
Custo mensal de mão de obra indireta		R\$ 61.760,00	
Custo em 10 anos de mão de obra indireta		R\$ 7.411.200,00	

4.3.4 Custos indiretos

Nos custos indiretos, serão incluídos os gastos com aluguel, manutenção e limpeza predial, realizados por uma empresa terceirizada contratada, bem como os gastos com energia

elétrica e água. Além disso, os custos relacionados à expedição, como transporte e recebimento, serão terceirizados por uma empresa contratada para esse fim.

Para determinar o custo do aluguel, foi escolhido um galpão de dimensões 50x50 metros, com um valor médio de aluguel de R\$ 37.500,00, localizado na cidade de Uberlândia, MG.

Para calcular os gastos com energia elétrica, conforme a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2017), 40% dos custos de produção estão relacionados aos gastos com energia elétrica. Os custos de produção incluem a soma dos gastos com aquisição de matéria-prima e mão de obra direta.

A tabela 11 apresenta os gastos indiretos da linha de produção, incluindo os custos mensais, anuais e para os 10 anos de operação.

Tabela 11 – Custos indiretos para usinagem CNC.

Custo Indireto	Valor mensal	Custo anual	Custo em 10 anos
Aluguel mensal do prédio	R\$ 37.500,00	R\$ 450.000,00	R\$ 4.500.000,00
Energia Elétrica	R\$ 76.463,97	R\$ 917.567,66	R\$ 9.175.676,64
Empresa de limpeza e manutenção predial	R\$ 15.000,00	R\$ 180.000,00	R\$ 1.800.000,00
Água	R\$ 5.000,00	R\$ 60.000,00	R\$ 600.000,00
Empresa de expedição	R\$ 25.000,00	R\$ 300.000,00	R\$ 3.000.000,00
Custo total		R\$ 19.075.676,64	

Para assegurar a equidade entre os processos, os custos indiretos foram considerados iguais, exceto pela energia elétrica, cujo custo é baseado na produção mensal. Essa abordagem foi adotada para minimizar ao máximo os impactos de custos externos entre as linhas de produção.

Além disso, uma margem de lucro de 15% foi aplicada ao valor final de produção, que representa a soma de todos os custos, tanto diretos quanto indiretos, envolvidos no processo.

A tabela 12 apresenta todos os gastos relacionados ao processo, incluindo a margem de lucro da produção.

Tabela 12 – Custos totais para usinagem CNC.

Custo	Custo em 10 anos
Equipamento	R\$ 996.760,00
Manutenção	R\$ 498.380,00
Depreciação	R\$ 649.211,28
Matéria prima	R\$ 15.079.680,00
Mão de obra direta	R\$ 6.012.000,00
Mão de obra indireta	R\$ 7.411.200,00
Custos indiretos	R\$ 19.075.676,64
Custo total (com lucro de 15%)	R\$ 57.213.902,45

Para se determinar o custo unitário de cada eixo cardan G DIN 808, é preciso determinar a quantidade produzida em 10 anos. Considerando que serão produzidos, em 10 anos, 126.720,00 eixos.

Para se determinar o valor, é preciso seguir a equação (2).

$$\text{Custo unitário} = \frac{\text{Custo total com lucro}}{\text{Número de eixos fabricados}} = R\$ 451,50 \quad (2)$$

Portanto, a linha de produção baseada na conformação mecânica, produziu eixos cardan G DIN 808, ao custo de R\$ 451,50.

5 CONCLUSÕES

O estudo em questão abordou a análise de custos na produção de eixos de transmissão, com foco no método *Should Cost*, comparando os processos de conformação mecânica e usinagem CNC para o eixo cardan G DIN 808. Os resultados obtidos revelam uma diferença significativa nos custos unitários entre os dois métodos, com R\$ 466,30 para conformação mecânica e R\$ 451,50 para usinagem CNC.

Apesar do resultado apontar a conformação mecânica como o processo mais caro, essa conclusão deve ser contextualizada. O estudo considerou uma produção relativamente pequena e igual quantidade de matéria-prima para ambos os processos, sem levar em conta o

fato de que máquinas específicas, como a máquina de forjamento, poderiam ficar ociosas durante intervalos de produção.

Esses aspectos, comuns na prática industrial, podem influenciar significativamente os custos totais e a eficiência dos processos de fabricação. Além disso, é importante ressaltar que essa aparente discrepância entre a teoria e a prática pode ser atribuída à natureza predominantemente contábil do estudo, que priorizou a análise de custos em detrimento de aspectos de engenharia, como eficiência operacional e utilização de recursos.

Assim, embora os resultados tenham oferecido insights valiosos sobre os custos associados aos diferentes métodos de fabricação, é fundamental reconhecer que a aplicação desses resultados na prática pode exigir uma consideração mais holística dos fatores operacionais e de engenharia envolvidos no processo de fabricação de eixos de transmissão.

Então, esta conclusão não apenas evidencia a importância de entender profundamente os custos envolvidos na produção industrial, mas também destaca a relevância de escolher o método mais eficiente em termos econômicos para a fabricação de componentes mecânicos.

A análise detalhada dos custos unitários por meio do método *Should Cost* ofereceu insights valiosos para a tomada de decisão na produção de eixos de transmissão. A comparação direta entre os processos de conformação mecânica e usinagem CNC permitiu uma avaliação criteriosa das vantagens e desvantagens de cada método.

Além disso, a escolha do eixo cardan G DIN 808 como objeto de estudo proporcionou uma base sólida para a análise comparativa. Este eixo, comumente utilizado em sistemas de transmissão, representa um componente crucial em várias aplicações industriais, justificando a relevância da investigação de métodos de produção mais eficientes e econômicos.

Outro aspecto importante a ser considerado é a que a qualidade e a precisão dos eixos produzidos por cada método são sempre um fator fundamental. Dessa forma, embora o custo seja um fator determinante na escolha do método de produção, a qualidade do produto final é a primeira a ser levada em conta. Portanto, é crucial realizar uma avaliação abrangente que leve em conta não apenas os custos, mas também a qualidade, a precisão e a durabilidade dos eixos produzidos por conformação mecânica e usinagem CNC.

Além disso, é fundamental destacar a importância da análise contínua de custos e processos na indústria. Os avanços tecnológicos e as mudanças no mercado podem influenciar significativamente a viabilidade econômica dos métodos de produção. Portanto, as empresas devem estar sempre atentas às novas oportunidades e tendências, buscando constantemente otimizar seus processos de fabricação para garantir a competitividade e a sustentabilidade a longo prazo.

Em suma, a análise de custos pelo método *Should Cost* na produção de eixos de transmissão, especialmente no contexto do estudo comparativo entre conformação mecânica e usinagem CNC para o eixo cardan G DIN 808, oferece insights valiosos para a indústria. Ao compreender profundamente os custos envolvidos e considerar diversos fatores, como qualidade, precisão e eficiência, as empresas podem tomar decisões mais embasadas e estratégicas, visando a maximização da eficiência e a redução de custos sem comprometer a qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

SILVA, D. S.; RUBA, L. R.M R.; SOARES, A. M.; KOVALESKI, J. L. Análise de custos e sua importância na tomada de decisão em pequenas empresas do ramo alimentício: UM ESTUDO DE CASO. Revista Produção Industrial e Serviços, v. 4, n. 2, p. 159-171, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/rev_prod/article/view/52385>. Acesso em: 17 de março de 2024.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M. Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRANDÃO, F. H. L. Análise de custos e lucratividade das empresas de fertilizantes com capital aberto no Brasil. 2020. 17f. Repositório de Trabalhos de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Centro Universitário UNIFACIG, 2020. Disponível em: <<http://pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/repositorioctcc/article/view/1779>>. Acesso em: 17 de março de 2024.

HOINASKI, F. Should Cost – Uma poderosa ferramenta para abordar seus fornecedores. Disponível em: <<https://ibid.com.br/blog/should-cost/>>. Acesso em: 17 de março de 2024.

PALMA, Pietro et al. Fatigue assessment of universal cardan joint based on laboratory specimen tests. In: 52º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, 52., 2017, Rio de Janeiro. Anais do Seminário de Laminação e Conformação. Rio de Janeiro: Editora Blucher, 2017. p. 396-408. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/279495194>>. Acesso em: 17 de março de 2024.

SPICER, Dana Albarus S.A. Indústria e Comércio Divisão. Eixos Cardan Industriais: catálogo técnico. São Paulo: Dana Albarus S.A. Indústria e Comércio Divisão Spicer, 2022. Catálogo.

WEIHERMANN, H.W. Estudo sobre aplicação de transmissão continuamente variável para veículos de pequeno porte. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Curso de Engenharia Automotiva. Joinville, SC, 2015.

BRAITA, Equipamento Industriais LTDA. Eixo Cardan. Disponível em: <<https://braita.com.br/produto/eixo-cardan/>>. São Paulo, 2021. Acesso em: Acesso em: 17 de março de 2024.

BRESCIANI FILHO, E. (coord.). Conformação plástica dos metais. São Paulo: EPUSP, 2011. p. 36.

S. Kalpakjian e S. R. Schmid. Tecnologia de Manufatura: Fundamentos e Processos. Pearson Prentice Hall, 2014.

H. Fredriksson e U. Linderholm. Handbook of Manufacturing Processes: How Products, Components and Materials are Made. Springer, 2007.

M. Geiger et al. Forging Technology: A Practical Approach. ASM International, 2004.

SCHAEFFER, L. Forjamento - Introdução ao Processo. 2ª edição. Porto Alegre, RS / Brasil: Imprensa Livre, 2006.

ESPINOZA, M. Estudo de parâmetros no processo de forjamento semissólido da liga de Alumínio AA7075, Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1999.

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.

ARANTES, L.J. Conformação Mecânica - Capítulo 3: Forjamento. Uberlândia, 2024.

COSA, INTERMÁQUINAS. Manual de Programação e Operação, Vinhedo, 2022.

FERRARESI, DINO. Fundamentos da Usinagem dos Metais, São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1ª ed., 1969.

AZEVEDO, A. L. D. Fundamentos do CNC para Usinagem. 1. ed. São José dos Campos/SP: Jac, 2017.

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: 19 de março de 2024.

Linha ROMI GL - Nova Geração. Disponível em: <<https://www.romi.com/produtos/centros-de-torneamento-romi-gl/>>. Acesso em: 19 março de 2024.

CCV Industrial. O que é CNC? Disponível em: <<https://ccvindustrial.com.br/o-que-e-cnc/>>. Acesso em: 19 março de 2024.

PAZOS, FERNANDO. Automação de Sistemas e Robótica. Rio de Janeiro, Editora Axcel Books do Brasil, 1ª edição, 2002.

MACHADO, A.R et BACCI, M.S. Usinagem dos Metais, Uberlândia, 8ª ed, 2004.

RENISHAW. Tecnologia de preset de ferramentas. Disponível em: <<https://www.renishaw.com.br/pt/tecnologia-de-preset-de-ferramentas--32934>>. Acesso em: 19 mar. 2024.

CIMM. Fresamento: Variáveis e Parâmetros de Corte. Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/4861-fresamento-variaveis-e-para-metros-de-corte>. Acesso em: 19 mar. 2024.

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

MARCHI, B. et al. Life Cycle Cost Analysis for BESS Optimal Sizing. Energy Procedia, v. 113, 2017.

STRUTZ, EMERSON. Gestão e Análise de Custo, Indaial: Uniasselvi, 1ª ed., 2017.

LEONE, G. S. Curso de contabilidade de custos. São Paulo: Atlas, 1997.

LEONE, G. S. Custos: planejamento, implantação e controle. São Paulo: Atlas, 2000.

HOINASKI, F. Should Cost – Uma poderosa ferramenta para abordar seus fornecedores. Disponível em: <<https://ibid.com.br/blog/should-cost/>>. Acesso em: 20 março de 2024.

IMETEX, Imetex indústria e comércio LTDA. Juntas universais e eixo cardan. Disponível em: <https://imetex.com.br/uploads/produto/Juntas_Universais_e_Eixo_Cardan__IMETEX.pdf>. São Paulo, 2006. Acesso em: 22 de março de 2024.

SLS Machinery. Máquina de corte (MC-425). Disponível em: <<https://pt.slsmachinery.com/MC-425-CNC-Tipo-de-metal-el%C3%A9trico-de-a%C3%A7o-de-a%C3%A7o-perfil-de-tubo-cortador-autom%C3%A1tico-M%C3%A1quina-de-corte-de-frio-autom%C3%A1tico-pd42099270.html>> Acesso em: 30 de março de 2024.

PRESSMATIK, Prensas hidráulicas. Disponível em: <<https://www.pressmatik.com.br/prensas-hidraulicas/>>. Acesso em: 30 março de 2024.

SCHENCK, Máquina balanceadora (HM 30). Disponível em: <<https://www.schenck-rotec.com.br/produtos/catalogo-de-produtos/detalhes-do-produto/pt-hm-2-hm-30.html>>. Acesso em: 30 março de 2024.

EXAUSTERMO, Forno Mufla Industrial. Disponível em: <<https://exaustermo.com.br/forno-mufla-industrial-325-litros>>. Acesso em: 30 março de 2024.

Fronius do Brasil. Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil>>. Acesso em: 30 março de 2024.

ALIEXPRESS. Disponível em: <<https://pt.aliexpress.com/item/32517005303.html>>. Acesso em: 30 março de 2024.

ALIBABA. CNC Steel. 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: 30 março de 2024.

ABRAMAN,2019. Disponível em: < <https://abramanoficial.org.br/page/artigos> >. Acesso em: 30 de março de 2024.

FIRJAN. Quanto custa a energia elétrica. Disponível em: < <https://www.firjan.com.br/firjan/peq/temas/energia.htm> > Acesso em: 30 de março de 2024.

Neto, B. *Should Cost* aplicado na fabricação de separadores de cana, pelo processo de solda MIG MAG. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 40. 2023.

LIMA, T; RODRIGUES, V. *Should Cost* aplicado na fabricação de parafusos sextavados m10, pelos processos de metalurgia do pó, conformação mecânica e usinagem CNC. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, p. 89. 2023.

Vagas. Disponível em: <<https://www.vagas.com.br/>>. Acesso em: 1 de Abril de 2024.