

**Desenvolvimento de ferramenta combinada *design* enxuto para usinagem
de componentes do sistema de direção**

Lizandra Duarte de Paiva

Universidade Federal de Lavras (UFLA)

e-mail: lizandra.paiva@estudante.ufla.br

Sandro Pereira da Silva

Universidade Federal de Lavras (UFLA)

e-mail: sandro.silva@ufla.br

Joelma Rezende Durão Pereira

Universidade Federal de Lavras (UFLA)

e-mail: Joelma.durao@ufla.br

Filipe Augusto Gaio de Oliveira

Universidade Federal de Lavras (UFLA)

e-mail: filipe.gaio@ufla.br

Anderson Pereira da Silva

e-mail: pereiranderson@uol.com.br

Mouhamed Zorkot

Escola Politécnica Federal de Lausana (EPFL)

e-mail: mouhamed.zorkot@epfl.ch

* RECEBIDO em 11/02/2025. ACEITO em 18/08/2025.

Resumo

Um dos principais objetivos da indústria automotiva é o aumento da produtividade, portanto há uma constante demanda por inovação e novas tecnologias para melhoria de negócios do setor. Muitos pesquisadores têm desenvolvido novas abordagens para os processos de manufatura na intenção de melhorar e aumentar a competitividade. Entretanto, o aumento da produtividade não deve ser relacionado somente com a qualidade do produto, mas também deve levar em consideração a escassez de recursos ambientais. Este estudo busca desenvolver uma nova ferramenta de corte aplicada no giro de componentes de direção hidráulica de sistemas automotivos. O objetivo é o desenvolvimento de uma ferramenta, que em combinação com as ferramentas de torneamento utilizadas em etapas separadas durante a usinagem dos componentes de direção, conduza vários processos ao mesmo tempo. Além disso, também foi comparada a ferramenta triangular, atualmente utilizada, com a nova ferramenta de geometria penta, baseada nos princípios da manufatura enxuta. Considerando a capacidade de processo, os resultados demonstram a possibilidade de reproduzir os requisitos dimensionais das peças conforme as especificações do projeto do produto.

Palavras-chave: Projeto; Usinagem; Direção; Processo de torneamento; Projeto enxuto.

Abstract

One of the main objectives of the automotive industry is to increase productivity, therefore there is a constant demand for innovation and new technologies to improve the sector's business. Many researchers have developed new approaches to manufacturing processes with the intention of improving and increasing competitiveness. However, increasing productivity should not only be related to product quality, but should also take into account the scarcity of environmental resources. This study aims to develop a new cutting tool applied to the turning of hydraulic steering components of automotive systems. The objective is to develop a tool that, in combination with the turning tools used in separate steps during the machining of steering components, can carry out several processes at the same time. In addition, the triangular tool currently used was also compared with the new penta geometry tool, based on the principles of lean manufacturing. Considering the process capability, the results demonstrate the possibility of reproducing the dimensional requirements of the parts according to the product design specifications.

Keywords: Design; Machining; Steering; Lathe process; Lean design.

1. Introdução.

Na área de processos de fabricação da engenharia, profissionais enfrentam desafios como encontrar parâmetros de corte ideais para obter a saída de resultados desejados e a maximização do desempenho utilizando os recursos disponíveis. Durante a remoção de metais nos processos de corte, como torneamento, as principais saídas desejadas incluem a taxa de remoção de material, produtividade, qualidade, tempo de usinagem, vida útil da ferramenta, custo de usinagem, entre outros. O principal foco deste estudo é o desenvolvimento de um novo projeto de ferramenta que combine a produtividade e desempenho de qualidade.

Toyota e Honda são empresas japonesas que foram pioneiras na filosofia de manufatura enxuta por volta de 1950. Com superioridade global em custo, qualidade, flexibilidade e resposta rápida, essa abordagem foi adotada em diversas indústrias e países. As práticas de projeto *lean* influenciaram substancialmente o desempenho operacional das plantas, melhorando os resultados com o uso de ferramentas *lean*. O objetivo do projeto enxuto é diminuir desperdícios durante uma operação, como longos prazos de entrega, defeitos e desperdícios de material. Para evidenciar visualmente se o campo do *design* enxuto está crescendo e se espalhando mundialmente, é necessário que as empresas se adaptem às estratégias de negócios crescentes e em evolução.

Os principais objetivos da ferramenta de *design* enxuta moderna são: a obtenção de alta qualidade, em termos de precisão dimensional da peça, acabamento superficial, alta taxa de produção, menor desgaste das ferramentas de corte, economia de usinagem em termos de custos e aumento do desempenho do produto com impacto ambiental reduzidos. Na qual combinam desempenho e produtividade de forma eficaz.

Alguns pesquisadores realizam trabalhos importantes sobre materiais de usinagem, focando no desempenho tecnológico das operações de usinagem, como a vida útil da ferramenta, resistência e acabamento superficial (Wang, Huang, e Song, 2003). Esses estudos impactaram de forma significativa a indústria com as inovações na seleção e criação de máquinas ferramentas, ferramentas de corte, otimização das condições dos processos de usinagem, tornando-os mais eficientes (Kahles, 1987). Show (2004) escreveu que muita atenção tem sido dada a modelagem do processo de corte ortogonal de geometria simples, no qual envolve deformação bidimensional elástica e plástica na máquina, ferramenta e peça de trabalho.

Os processos de usinagem são a base de mecanismos complexos durante o corte ortogonal. Entretanto, quando utilizados em geometrias complexas de ferramentas de corte, o processo básico de remoção de material permanece o mesmo (Trent, 1977). Assim, por meio de análises de corte específicas, o processo de corte ortogonal pode ser facilmente combinado com o processo de corte oblíquo. Ademais, o corte ortogonal é usado em muitas situações práticas de usinagem, exemplos disso são no desenvolvimento de ferramentas de ranhura usadas na fabricação de anéis de vedação ou anéis elásticos, considerados de difícil controle em meio aos processos de corte convencionais.

A escolha do processo de usinagem para o desgaste e considerando a vida útil da ferramenta, comumente é baseado na análise econômica e no planejamento do processo (Wanigaratne et al., 2005). Jawahir, Li, Ghosh e Exner (1995) propuseram que o padrão de desgaste da ferramenta em uma pastilha com ranhuras desgastada passa por influência devido a forma tridimensional, pelo tipo de fluxo de cavacos e também pelas configurações complexas do sulco do chip. A progressão do desgaste do ferramental está relacionada com outras medidas de desempenho de usinagem, como a força de corte principal, a energia consumida e a forma do cavaco (Fang, 1994).

Este novo desenvolvimento de ferramenta, seguindo por uma perspectiva de projeto enxuto, está diretamente relacionado ao alto desempenho e a quebrabilidade dos cavacos, dos quais são influenciados pelo desgaste e pela vida útil da ferramenta durante o processo de usinagem. Outrossim, a vida útil e o desgaste da ferramenta também podem ser influenciados pelo fluxo de material, especialmente quando uma borda estável de uma ferramenta é construída (Arrazola et al. 2008). Diversos modelos matemáticos que preveem o desgaste e a vida útil da ferramenta levam em conta fatores como altos níveis de tensão na interface ferramenta-cavaco e as elevadas temperaturas envolvidas durante a usinagem do aço. Sendo assim, o desgaste da cratera, pode alterar o formato do chip, resultando em uma morfologia segmentada que gera um menor volume de cavacos, o que é ideal na usinagem (Lorentzon, Järvstrat, 2008).

O conceito de *design* de produção enxuta é definido de diversas formas. De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), a melhor abordagem é a que busca organizar e gerenciar de maneira mais eficiente as relações entre uma empresa e seus clientes, com objetivo comum, o que inclui cadeia de suprimentos, desenvolvimento de produtos e operações de produção, relacionado à noção de fazer mais com menos. Shah e Ward (1987), escreveram sobre a abordagem de *design* enxuto, que abrange uma ampla variedade de práticas de gerenciamento, no que inclui o *just in time*, sistemas de qualidade e fabricação celular. Portanto, o foco principal da filosofia de *design* enxuto é garantir que essas práticas trabalhem sinergicamente para criar um sistema que produza produtos de alta qualidade no ritmo exigido pelo cliente, sem desperdícios.

2. Revisão de literatura.

A usinagem é um processo antigo que existe desde a Idade da Pedra, quando o homem primitivo a praticava ao desbastar pedras, madeiras para fabricação de ferramentas para sobrevivência como visto em registros arqueológicos. No cenário mais atual, em 1565 tem-se o primeiro registro do primeiro torno – torno de arco – ainda de forma muito rudimentar. Somente na Revolução Industrial (século XVIII), com o advento das máquinas a vapor, que deu início a uma necessidade de produzir peças de ferro, latão, bronze e posteriormente o aço, passando a exigir máquinas-ferramentas capazes de “tornear” metais. (CASARIN, 2018)

Usinagem é definida por um processo de fabricação em que parte de uma peça bruta maior do que aquilo que se deseja produzir é removido com o auxílio de uma ferramenta de corte produzindo o cavaco e obtendo uma nova peça com formas e dimensões desejadas (PRADO, 2019). A produção seriada das peças para diferentes aplicações, teve início após a Revolução Industrial, quando surgem novos materiais para a fabricação de ferramentas de corte (ALMEIDA, 2015)

A ferramenta é utilizada para o desbaste da peça, ferramentas de geometria definida são indicadas para grandes remoções de materiais (CASARIN, 2018). Segundo a literatura, os seis principais problemas com ferramentas de corte são: alta variedade de ferramentas no processo, indisponibilidade de ferramentas, rastreamento e controle de ferramentas, alto inventário, falta de serviços de manutenção e cisto ferramental. Além disso, ainda há uma falta de entendimento sobre o papel do ferramental na manufatura (PERERA, 1995).

A vida da ferramenta é definida pelo tempo em que ela trabalha efetivamente sem perder o corte ou até que se atinja um critério de fim de vida previamente estabelecido (FERRARESI, 1977). Pela norma ISO 3685, a vida da ferramenta pode ser expressa pelo número de peças produzidas, percurso de avanço, percurso de corte. Velocidade de corte para determinado tempo de vida, etc.

Logo, a produção enxuta é um conjunto de técnicas que englobam conscientização, procedimentos e ações com o objetivo de flexibilizar o processo de produção e eliminar desperdícios, considerando segurança, custo, qualidade e prazo de entrega (MORETO, 1999). De tal modo, conforme a literatura os objetivos macro do gerenciamento de ferramentas de usinagem são a minimização dos distúrbios no processo de produção, a maximização da utilização dos recursos (máquina e ferramenta), a redução do número de refugos e a redução dos custos gerais com ferramentas pela padronização e racionalização (BOOGERT, 1994).

Boogert (1994) e Boehs (2002 apud GOLDONI, 2003), afirmam que para alcançar todos os benefícios propostos pelo gerenciamento de ferramentas, é necessário focar simultaneamente e de forma integrada o planejamento estratégico, logístico e técnico. O planejamento técnico trabalha com a seleção de ferramentas; o planejamento logístico trabalha com a disponibilização de ferramentas no local em tempos certos, o planejamento estratégico envolve decisões que, por exemplo, podem limitar a variedade e a quantidade de produtos que podem ser produzidos com o ferramental disponível.

3. Metodologia.

Este estudo foi feito no chão de fábrica da *Steering Systems Company*, empresa de fabricação automotiva, localizada em São Paulo, Brasil. Os experimentos foram realizados em uma célula flexível de fabricação (aparelho de direção) e a peça utilizada foi uma manga. Mangas são componentes utilizados na direção do sistema hidráulico e direcionam o óleo hidráulico para dentro das câmaras do

sistema, como é mostrado na figura 1. Assim, este trabalho buscou investigar o desenvolvimento de uma nova ferramenta de corte, a saber, uma ferramenta de ranhura, para ser usada exclusivamente para usinagem de múltiplos sulcos.



Figura 1 -Válvula (pinhão e conjunto da válvula). Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A pesquisa foi baseada nos princípios de *design* enxuto, no qual busca pelo aumento do índice de produtividade na empresa. Um novo conceito de projeto de ferramenta de corte foi proposto utilizando uma ferramenta Penta, mostrada na figura 2 a, b, c e d.

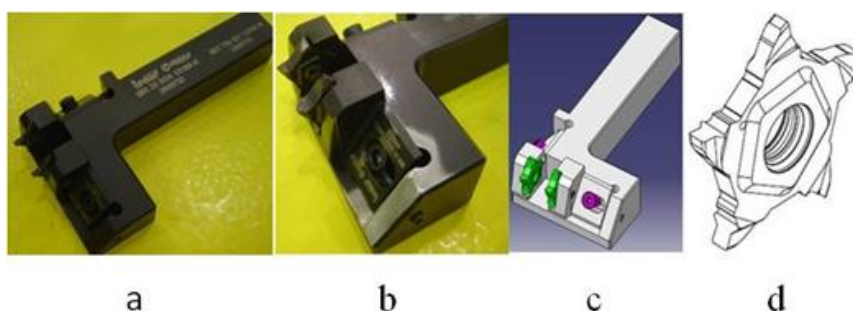


Figura 2 - Ferramenta combinada de *design* de Penta. a) Visão geral da ferramenta combinada; b) Sistema de fixação da inserção do porta-ferramentas; c) o modelo tridimensional utilizando CAD; e d) o formulário de inserção tipo pent. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O experimento com a ferramenta combinada penta foi aplicado no Torno CNC Doosan Lynx 220 com velocidade máxima do fuso de 6.000 rpm e potência máxima de 15 kW.

A ferramenta combinada *Pent design* foi proposta como um novo projeto enxuto para aumentar o desempenho. Ademais, foi considerado a tolerância dimensional e geométrica da usinagem do sulco da manga, uma vez que o sulco é a parte mais crítica deste processo de usinagem.

Também foram avaliados os parâmetros de corte para comparar o desempenho da ferramenta com a ferramenta Triangular original, como visto na Figura 3. Isso permitiu avaliar reduções no tempo de ciclo de usinagem do sulco da manga, demonstrando o aumento da produtividade.

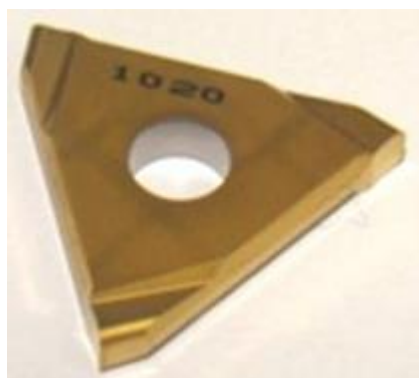


Figura 3 - Inserto utilizado nos experimentos. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Foi também avaliado a capacidade da ferramenta em manter a estabilidade dimensional com base em uma distribuição normal durante a usinagem do produto. Logo, foi possível estimar a qualidade dos sulcos usinados utilizando o *software* Minitab®. Assim, baseado no estudo de capacidade, de acordo com as normas NBR 5426 e NBR5429 (ABNT, 1985), foi utilizado uma amostra de 25 partes para realização dos experimentos, considerando-se o suficiente.

4. Resultados.

O programa de usinagem foi modificado para a nova ferramenta combinada de projeto enxuto, isso foi feito para que a ferramenta seja inserida no sulco do processo de usinagem da manga. O objetivo do processo foi de otimizar e modificar ferramental. A tabela1 mostra os parâmetros de corte da ferramenta triangular e penta, sendo Vc = velocidade de corte; NP = Número de Passes; NE = Número de arestas; Vida = vida útil da ferramenta; Pr = Produtividade.

Tabela 1 - Parâmetros de corte da ferramenta Triangular e Penta.

Tool	Vc	Feed	NP	NE	Life	Pr
	[m/min]	[mm/r]	[counter]	[counter]	Parts/edge	Parts/h
Triangular	212	$f_1 = 0.10$ $f_2 = 0.55$	4	3	112	42
Penta	100	0.08	2	5	693	62

Vc = cutting speed; NP = Number of Passes; NE = Number of Edges; Life = tool life; Pr = Productivity;

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Utilizando a nova ferramenta Penta combinada de *design* enxuto, foi observado que a velocidade de corte (Vc) diminuiu 52%, como mostra a Tabela 1. A alimentação inicial (f) para a ferramenta combinada Penta foi ajustada em 0,08 mm/revolução (mm/r). Ademais, para que haja o aumento da produtividade, o nível de alimentação de usinagem para a ferramenta Triangular foi aumentado para 0,10 mm/r para a primeira e segunda ranhuras e 0,55 mm/r para a terceira e quarta ranhuras, como mostra a Figura 4. A diferença entre as ranhuras de alimentação ocorre pela vibração no fundo das ranhuras como resultado da distância entre os pontos de usinagem e de fixação.



Figura 4 - Ranhuras na parte do sistema de direção. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O tempo de usinagem das ranhuras da manga utilizando a ferramenta combinada penta foi de 20% menor em comparação com a ferramenta triangular, e isso pode ser justificado pela redução no

número de etapas. A ferramenta combinada penta conduz a usinagem do primeiro e terceiro sulcos e do segundo e quarto sulcos simultaneamente, como visto na figura 5.

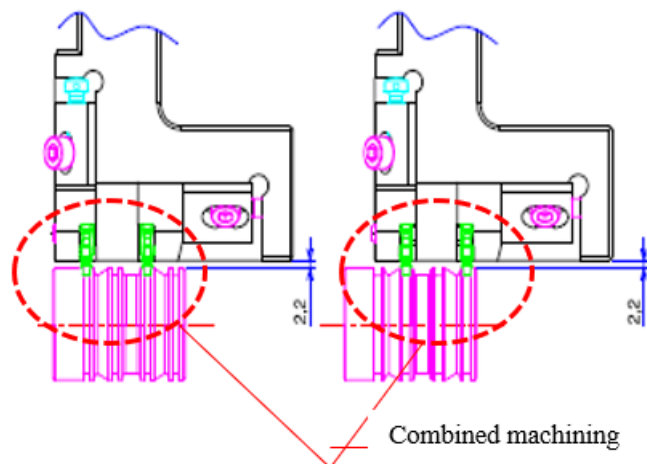


Figura 5 - Projeto enxuto combinou máquinas de ferramentas com dois sulcos simultaneamente. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Como pode ser observado na Tabela 1, foi notado um aumento de aproximadamente 600% na vida útil da ferramenta e um aumento na taxa de produtividade com a ferramenta Penta combinada. A vida útil da ferramenta de corte foi definida com base nas ranhuras raspadas, considerando que esse valor de desgaste representa o descarte das mangas. Logo, a usinagem de ranhuras com a antiga ferramenta triangular não atingiu as tolerâncias dimensionais e geométricas especificadas no projeto do produto.

O estudo de capacidade foi realizado utilizando um torno CNC Doosan para ferramenta combinada de projeto enxuto, e os resultados para profundidade do sulco são vistos na figura 6.

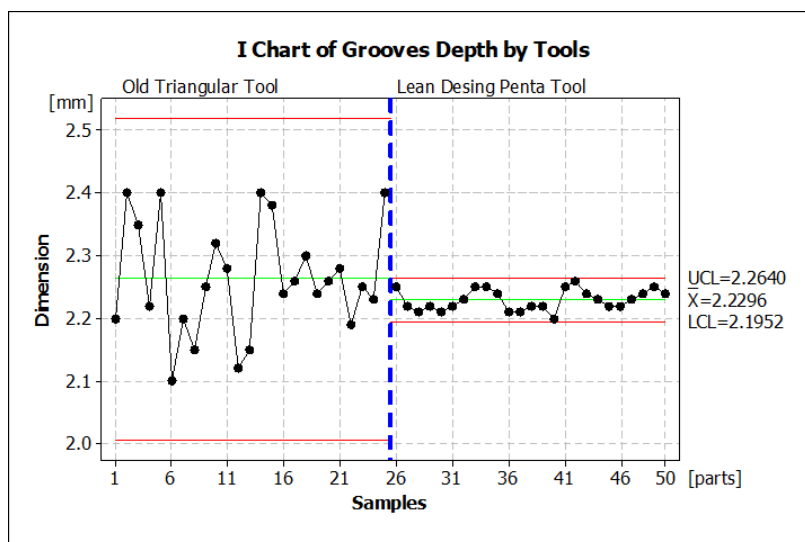


Figura 6 - Gráfico de profundidade do sulco para a ferramenta triangular antiga e a ferramenta penta combinada. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Por meio dos resultados apresentados na figura 6, a tolerância do produto para a profundidade do sulco é de 2,0 a 2,4 mm. As amostras de número 1 a 25 foram produzidas com a ferramenta triangular atualmente utilizada. O limite inferior de controle para essas amostras foi de 2,0 mm e o limite superior foi de 2,52 mm, o que está acima dos limites aceitáveis para o produto. Esses limites são baseados no cálculo de três desvios padrão (acima e abaixo da dimensão média) encontrados no processo de

usinagem de sulcos. Portanto, o processo de usinagem de ranhuras com a ferramenta triangular tem extensa variação dimensional.

A mesma análise estatística foi aplicada ao instrumento combinado de *design* enxuto para as amostras de 26 a 50. Os limites superior e inferior de controle foram de 2,26 e 2,19 mm, nesta ordem, mostrando menor variação no processo de usinagem do sulco. De acordo com Shah e Ward (1987), a aplicação da filosofia de modelo enxuto no desenvolvimento de ferramentas de processo de usinagem, proporciona maior estabilidade dimensional no processo de fabricação.

A figura 7 mostra os resultados para o controle de capacidade, que demonstra a variação das medidas durante o processo de torneamento da ferramenta triangular utilizada atualmente.

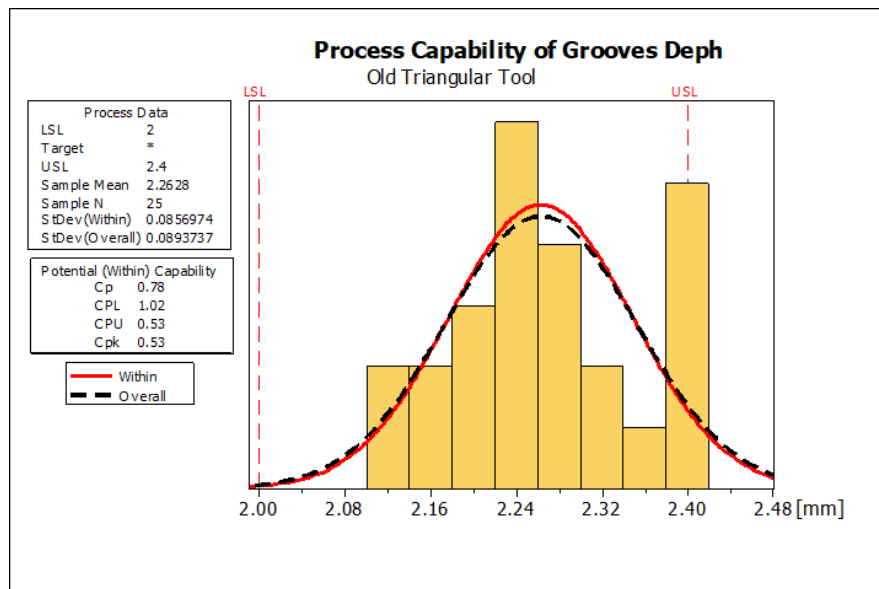


Figura 7 - Distribuição normal da ferramenta triangular atual. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na figura 7, é observado uma distribuição normal da variação da profundidade de 2,1 a 2,4 mm. Isso é resultado da capacidade limitada da ferramenta de reproduzir a dimensão alvo do projeto, refletindo na taxa de dispersão do processo Cp em 0,78 e na taxa de ajuste e dispersão do processo Cpk em 0,53.

A figura 9 apresenta os resultados do controle de capacidade para a ferramenta penta combinada e *design* enxuto, demonstrando a variação das medições durante o processo de torneamento.

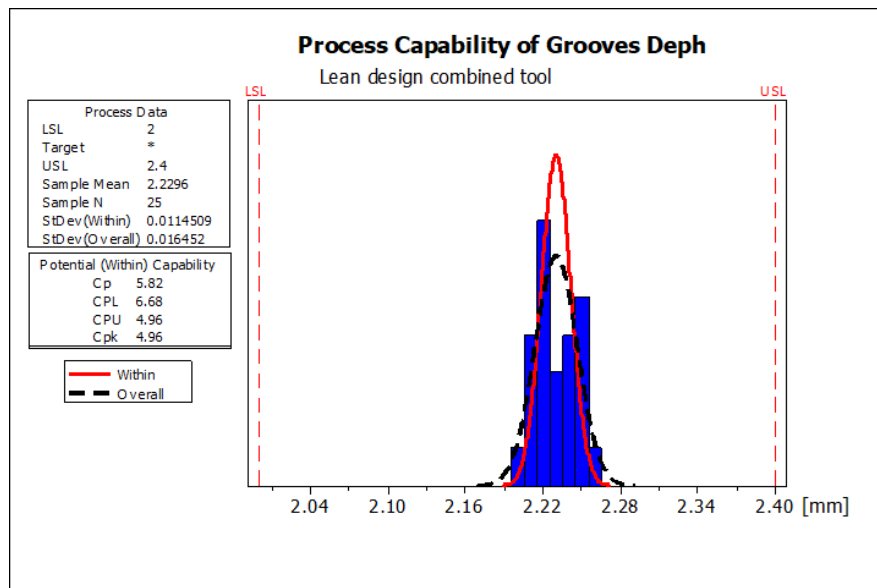


Figura 8 - Distribuição normal da ferramenta penta combinada de projeto enxuto. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Pelos resultados apresentados na figura 8, todos os valores mensurados estão ocorrendo dentro dos limites superior e inferior de controle. Não é visto pontos fora do limite inferior de controle de 2,2 mm e do limite superior de controle de 2,26mm (linha sólida). Essas dimensões demonstram a mínima variação encontrada entre as amostras. Entretanto, a faixa de tolerância especificada para o processo de torneamento da peça deve ser baixa para manter o nível de precisão exigido.

Considerando o gráfico apresentado na Figura 8, a distribuição dos valores apresenta uma simetria. O valor médio está centrado no intervalo de dados, com uma diminuição gradual em ambos os extremos. Isso sugere que o processo é estável, indicando consistência na qualidade. Tanto a taxa de dispersão do processo (Cp) quanto a taxa de ajuste e dispersão do processo (Cpk) apresentaram valores em torno de cinco, o que confirma estatisticamente que o processo está sob controle.

A Figura 9 mostra a análise do *box plot*, considerando a ferramenta triangular atual e a ferramenta Penta combinada de delineamento enxuto utilizadas nos experimentos.

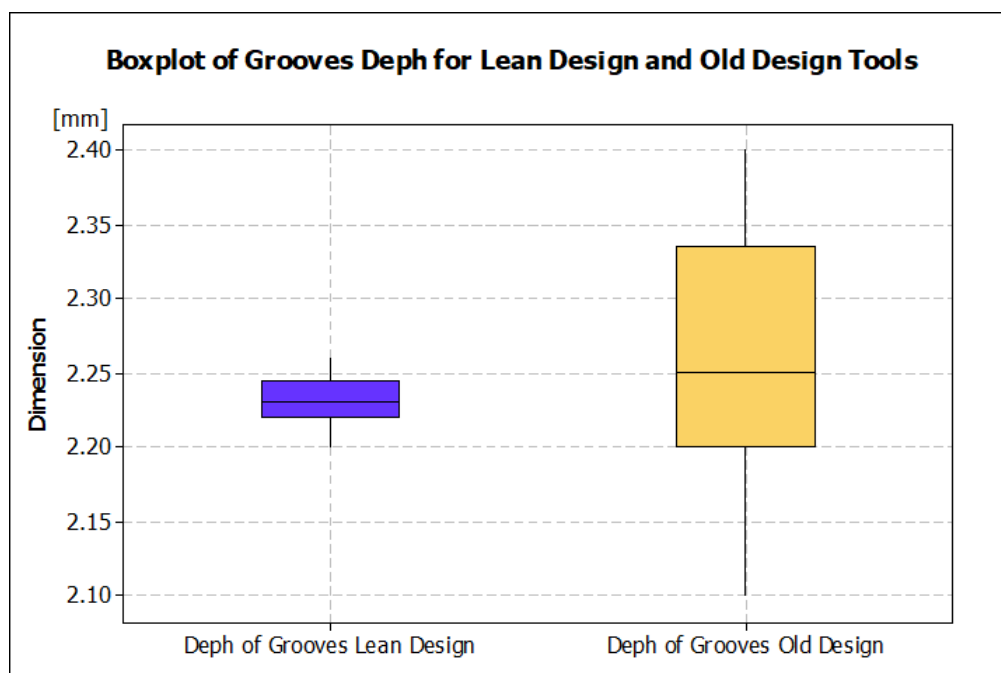


Figura 9 - *Boxplot* do projeto enxuto combinado a ferramenta penta e a ferramenta triangular atual. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na figura 9, pode-se observar que a profundidade dos sulcos para ferramenta penta, apresentou dispersão no terceiro quartil da profundidade dos sulcos, com amplitude de 0,02 mm, enquanto a ferramenta atual possui amplitude de 0,13 mm. Além disso, o Gráfico de Probabilidade Normal para a ferramenta combinada de *design* enxuto mostra que os dados plotados se aproximaram de uma linha reta, indicando que o processo pode ser considerado normal. Isso sugere que os valores individuais de tolerância dimensional dos sulcos das peças seguiram uma distribuição normal. De acordo com Kahles (1987), processos mais estáveis tendem a apresentar baixa variação dimensional nos lotes de produção, o que confirma os resultados obtidos neste estudo.

O teste de hipótese “T”, por Montgomery (2009), foi utilizado para comparar os valores médios encontrados para a profundidade do sulco com dois tipos de ferramentas utilizadas nos experimentos, isso é mostrado na figura 10.

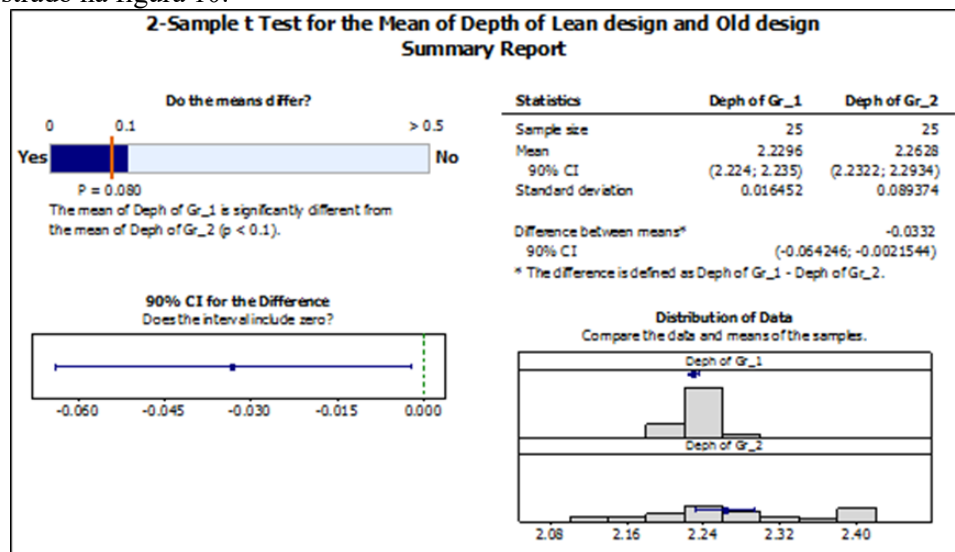


Figura 10 - Teste de amostra “T” para profundidade do sulco usando a ferramenta triangular e a ferramenta penta combinadas no *design* enxuto. Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na figura 10, nota-se que a diferença entre as médias é de -0,064246 e -0,0021544, demonstrando que as médias diferem ao nível de significância de 0,1. Portanto, pode-se quantificar a diferença entre os dados da amostra com 90% de confiança.

5. Conclusões.

Baseado nos resultados experimentais, pode-se concluir que a ferramenta penta combinada de planejamento enxuto produz valores mais favoráveis para os parâmetros do processo de corte do que a ferramenta triangular. O projeto enxuto combinado com a ferramenta Penta revela uma redução no tempo de usinagem, consequentemente induzindo a um aumento na capacidade produtiva. Com esta ferramenta, o tempo de ciclo é reduzido, contribuindo para a troca rápida do ferramental, e a geometria do projeto enxuto combinado com a ferramenta penta, minimizou a oscilação durante o processo de usinagem, resultando no aumento da vida útil da ferramenta.

Referências.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR5426** – Planos de amostragem e procedimentos de inspeção por atributos, Jan 1985.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR5426** – Planos de amostragem e procedimentos de inspeção por variáveis, Jan 1985.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Processos de usinagem: utilização e aplicações das principais máquinas operatrizes**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015. 136 p.

ARRAZOLA, J.P.; ARRIOLA, A.; OLIVEIRA, M.A.; OLIVEIRA, A.L.; DUTTERER, B.S. O efeito da usinabilidade em campos térmicos no corte ortogonal do aço AISI 4140. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57(1): 65–68, 2008.

BOEHS, L. **Gerenciamento de Ferramentas e Banco de Dados de Usinagem**. Apostila, 1-201. Depto. de Eng. Mec. — Universidade Federal de Santa Catarina — Florianópolis, junho de 1994.

BOOGERT, R.M. *Tool management in computer aided process planning*. Utrecht: CIP — Data Koninklijke Bibliotheek, 1994.

CASARIN, Samuel José. **Manufatura mecânica: usinagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 216 p.

FANG, X.D. **Investigação experimental do desempenho geral de usinagem com desgaste geral progressivo da ferramenta em diferentes faces da ferramenta**. *Wear*, 173(1–2): 171–178, 1994.

FERRARESI, Dino. **Usinagem dos metais**. São Paulo: Blucher.

KAHLES, J.F. **Requisitos de dados de usinagem para sistemas avançados de usinagem**. Relatório técnico do CIRP Ann., CIRP, 36(2): 523-529, 1987.

MORETO, C. (Brasil). *Train the trainer Lean Production Modules*. São Paulo, 1999.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4a. ed. Rio de Janeiro. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2009.

OLIVEIRA, I.S.; OLIVEIRA, A.P.; GHOSH, R.; EXNER, E.L. **Uma nova abordagem para a avaliação do desgaste abrangente de ferramentas em ferramentas ranhuradas revestidas**. Ann. CIRP, 45(1): 49–54, 1995.

OLIVEIRA, J.; JÄRVSTRAT, N. Desgaste de ferramentas de modelagem na liga de usinagem de carboneto cimentado 718. *International Journal of Machine Tools & Fabricação*, 48(10): 1072–1080, 2008.

OLIVEIRA, J.; OLIVEIRA, C.Z.; CANÇÃO, W.G. Efeito do desgaste do flanco da ferramenta no processo de corte ortogonal e suas implicações práticas. **Jornal de Tecnologia de Processamento de Materiais**, 142: 338–346, 2003.

PERERA, T.; MATTHEW, S. *Analysis of tooling problems in discrete manufacturing industry*. *International journal of operation & production management*, Bradford, v.15, n.12, 76-86, 1995.

PRADO, A. A qualidade normativa dos processos de usinagem. São Paulo: **Revista Digital AdNormas**, 2019. Disponível em: <https://www.revistaadnormas.com.br/2019/03/05/a-qualidade-normativa-dosprocessos-de-usinagem>. Acesso em: jul. 2020.

SANDOVAL, Renato Alves; CANTO, Roberto Sérgio de Tavares; BARAÚNA, Mário Antônio. Dinamômetro analógico adaptado: um dispositivo para medir o torque muscular. *Lecturas Educacion Fisica y Deportes*. **Revista Digital Buenos Aires**, ano, v. 10, 2004.

SHAW, M.C. **Princípios de Corte de Metal**. 3ª ed., MIT Press, Cambridge, MA, 2004.

SILVA, R.; WARD, P. T. Contexto de manufatura enxuta, pacotes de prática e desempenho. **Revista de Gestão de Operações**, v. 335, p. 1-21, 2002.

TRENTO, E.M. **Metal Cutting**. Butterworths, Londres, 1977.

OLIVEIRA, I.S.; OLIVEIRA, A.P.; GHOSH, R.; EXNER, E.L. Uma nova abordagem para a avaliação do desgaste abrangente de ferramentas em ferramentas ranhuradas revestidas. *Ann. CIRP*, 45(1): 49–54, 1995.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 14. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992, [in portuguese].