

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**MARCOS BARRETO FLAUSINO**

**ESTUDO PARA ALTERAÇÃO DO MATERIAL DA LÂMINA DE CORTE DA**  
**MÁQUINA TRANSFER DO PROJETO TAREK**

**Varginha**

**2022**

**MARCOS BARRETO FLAUSINO**

**ESTUDO PARA ALTERAÇÃO DO MATERIAL DA LÂMINA DE CORTE DA  
MÁQUINA TRANSFER DO PROJETO TAREK**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira

**Varginha  
2022**

**MARCOS BARRETO FLAUSINO**

**ESTUDO PARA ALTERAÇÃO DO MATERIAL DA LÂMINA DE CORTE DA  
MÁQUINA TRANSFER DO PROJETO TAREK**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS-MG como pré-requisito para obtenção de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por sempre ter me abençoado e capacitado durante todos estes anos e a minha família, por todo apoio, incentivo e suporte.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de deixar todo meu agradecimento e reconhecimento aos professores e docentes que compartilharam seus conhecimentos, desde as fases iniciais da educação básica até o ensino superior.

Pelas empresas que depositaram confiança em meu trabalho, me auxiliando no desenvolvimento pessoal e profissional e à todas as pessoas que fizeram parte dessa trajetória, por todo apoio, ensinamento e força.

“Tudo posso Naquele que me fortalece”

Filipenses 4:13

## **RESUMO**

A busca constante pela melhoria de processo dentro da indústria, como por exemplo o desenvolvimento de novos materiais e produtos, traz consigo vários benefícios para a empresa. Partindo desse pressuposto, este projeto tem como objetivo principal verificar o rendimento e desempenho do corte das diferentes ligas metálicas, sendo o aço VND utilizado atualmente pela empresa e a lâmina de carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio (metal duro) proposto nesta pesquisa, calculando o custo-benefício entre elas, considerando a redução do custo de operação, apresentando o estudo de capacidade e variação do processo de corte.

**Palavras-chave:** Rendimento. VND. Metal Duro. Custo-Benefício. Capacidade.

## **ABSTRACT**

*The constant search for process improvement within the industry, such as the development of new materials and products, brings with it several benefits for the company. Based on this assumption, this project has as main objective to verify the yield and cutting performance of the different metallic alloys, being the VND steel currently used by the company and the tungsten carbide blade with titanium nitride coating (carbide) proposed in this research, calculating the cost-benefit between them, considering the reduction of the operation cost, presenting the study of capability and variation of the cutting process.*

**Keywords:** Yield. VND. Hard Metal. Cost benefit. Capability.



Figura 1: Vista frontal da máquina Transfer.....	17
Figura 2: Vista lateral da máquina Transfer.....	17
Figura 3: Lâmina de corte VND.....	18
Figura 4: Desenho técnico da lâmina de corte.....	19
Figura 5: Cotação da lâmina de corte (metal duro).....	20
Figura 6: Base de cálculo do custo total de 50 amostras.....	20
Figura 7: Lâmina de corte metal duro.....	21
Figura 8: Primeira medição da amostragem.....	23
Figura 9: Custo da caixa com dez unidades da lâmina de corte em VND.....	26
Figura 10: Estudo de capacidade da máquina Transfer.....	32

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Comparação de rendimento entre os materiais das lâminas de corte.....	35
Gráfico 2: Comparação entre os custos unitários das lâminas de corte em VND e metal duro.....	35
Gráfico 3: Investimento para compra das lâminas atendimento ao volume de produção em 2023.....	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Peças produzidas X substituição da lâmina no mês de março.....	18
Tabela 2: Peças produzidas X substituição da lâmina em metal duro.....	21
Tabela 3: Comprimentos encontrados.....	24
Tabela 4: Custo da lâmina VND por peça.....	26
Tabela 5: Custo anual - Demanda Lâmina VND 2023.....	28
Tabela 6: Custo da lâmina metal duro por peça.....	30
Tabela 7: Custo anual - Demanda lâmina metal duro 2023.....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
2.1 Metal duro.....	14
2.2 Tungstênio.....	15
2.3 Processo de corte.....	15
2.4 Capabilidade.....	16
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
3.1 Média de consumo da lâmina de corte em VND por peça produzida.....	17
3.2 Desenvolvimento da lâmina de corte com metal duro.....	18
3.3 Média de consumo da lâmina de corte em metal duro por peça produzida.....	21
3.4 Coleta de dados para estudo de capabilidade.....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>25</b>
4.1 Custo da lâmina VND por peça.....	25
4.2 Custo anual para atendimento à demanda de produção com a lâmina em VND.....	27
4.3 Custo da lâmina em metal duro por peça.....	29
4.4 Custo anual para atendimento à demanda de produção com a lâmina em metal duro.....	30
4.5 Capabilidade da máquina de corte.....	32
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A operação de corte no processo de acabamento é de extrema importância para o aspecto visual e aparente na montagem do veículo e, por se tratar de um dos principais pontos de avaliação do cliente, requer uma alta qualidade e performance.

Por este motivo, a utilização de maquinários com componentes e *softwares* (programas) de última geração são imprescindíveis para o sucesso da produção. Ademais, as ferramentas a serem utilizadas também precisam ser de alta performance para desfrutar de todo o mecanismo disponibilizado por estas estruturas robustas.

Buscando sempre a otimização do processo produtivo e a melhoria contínua, após uma análise criteriosa de consumo junto ao almoxarifado, foi possível perceber um elevado índice de substituição da faca de corte da Transfer - máquina responsável pelo corte da peça semiacabada - ocasionando um *downtime* (tempo de inatividade) na linha de produção e no departamento de Ferramentaria, o qual é responsável pela troca deste material.

A redução de custos e a busca pela melhoria contínua são dois fatores extremamente importantes para a sobrevivência de uma empresa. A partir do baixo custo de produção, o produto oferecido pela indústria torna-se mais competitivo no mercado e, conseqüentemente, têm-se maiores procuras e lucratividade. Para que isso ocorra, a melhoria contínua deve estar diretamente ligada, pois é a partir destes projetos que se torna possível reduzir o valor final da mercadoria.

Com a alta demanda de produção, sendo aproximadamente 294.763 peças, conforme previsto no *budget* (orçamento) anual de 2023 e seguindo a metodologia do *Lean Saving* (economia magra) que visa a melhoria contínua do processo com redução no custo operacional e otimização do processo da empresa, o estudo tem como objetivo principal verificar o rendimento e desempenho do corte das diferentes ligas metálicas, sendo o aço VND utilizado atualmente pela empresa e a lâmina de carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio (metal duro) proposto nesta pesquisa, calculando o custo-benefício entre elas, considerando a redução do custo de operação, apresentando o estudo de capacidade e variação do processo de corte.

Para este estudo, a otimização do processo e a diminuição do consumo de lâminas irá baratear a peça acabada, aumentando a margem de lucro para a empresa e maximizando o *target* (alvo) de negociação do departamento de vendas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Metal duro

Metal duro é o nome dado a um composto de carbeto de tungstênio desenvolvido na Alemanha em 1923 por Karl Schröter, frente a necessidade na época de materiais com alta resistência ao desgaste, alta dureza e boa tenacidade. Este material que possui como carbeto principal o WC foi usado primeiramente como matriz para processamento de filamento de lâmpadas incandescentes, porém seu potencial como ferramenta de corte foi logo reconhecido (RODRIGUES, 2006).

Os carbetos cementados constituem-se numa classe de materiais duros de grande interesse acadêmico e industrial fabricados via a rota da metalurgia do pó (ASM, 1998). Esses carbetos têm como aplicações principais ferramentas de corte e operações de usinagem.

O metal duro é um composto que consiste em uma fase dura, que possui alta dureza, resistência mecânica e uma fase ligante que confere tenacidade e plasticidade ao material. A fase dura consiste em grãos de carbeto de tungstênio (WC), elemento principal, mas em algumas aplicações são adicionadas pequena quantidade de carbetos refratários, tais como: TaC, MoC, NbC ou TiC para melhorar a dureza a quente e a resistência ao desgaste. A fase ligante consiste em cobalto ou níquel, mas também pode ser substituída por ferro (GOMES, SILVA, GOMES & HOLANDA, 2007).

As propriedades mecânicas do metal duro à base de WC-Co dependem da microestrutura do material após a sinterização, que por sua vez é influenciada pelas características dos pós iniciais: WC e Co. A quantidade de cobalto está diretamente relacionada com as propriedades do metal duro, ou seja, quando a quantidade de cobalto é aumentada a dureza do material diminui e a resistência à fratura aumenta (EDWARDS, 2008).

O aumento da dureza sem comprometer a tenacidade e elevada resistência ao desgaste são as principais propriedades mecânicas desejadas na fabricação desses produtos estruturais (ZHANG, WANG & ZHUM, 2003).

Para obtenção do metal duro WC-Co o processo utilizado pela indústria é o da sinterização por fase líquida do pó de carbeto de tungstênio com o pó de cobalto, na temperatura de aproximadamente 1500°C (MILHEIRO, 2006).

## **2.2 Tungstênio**

O tungstênio, pertence ao grupo seis da tabela periódica, tem como sua cor predominante o cinza aço. Seu ponto de fusão é o mais alto de todos os metais, perdendo apenas para o carbono em toda a tabela periódica, além de ter o menor coeficiente de expansão térmica entre todos os metais. (PAULINO; AFONSO, 2013).

As características do tungstênio são indispensáveis para a atual sociedade. O primeiro uso comercial importante surgiu em 1868, como aditivo para endurecer o aço. (PAULINO; AFONSO, 2013).

A aplicação de revestimento de carboneto de tungstênio por pulverização térmica aumenta a durabilidade e reduz o desgaste, já a aplicação de revestimento de carboneto de tungstênio através de aspersão térmica aumentará a durabilidade e reduzirá o desgaste abrasivo (CASTRO, 2015).

O sucesso de um revestimento de ferramenta de corte é resultado de propriedades mecânicas (dureza a quente, resistência à abrasão e tensão de compressão) e físicas (estabilidade química, boa adesão, resistência à corrosão), tanto em temperatura ambiente quanto em temperaturas mais elevadas (BOUZAKIS, K.D. et al., 1999).

## **2.3 Processo de corte**

Segundo Stemmer (1995), as ferramentas de corte desempenham um papel de extrema importância no cotidiano, pois são amplamente utilizadas em fábricas e indústrias.

Desta forma, a utilização de fresas modernas permite otimizar o processo, aumentando a produtividade e qualidade da operação.

Para absorver toda a tecnologia empregada pela máquina, faz-se necessário ter boas ferramentas de corte, sendo a dureza, resiliência e resistência ao desgaste, algumas das principais características a serem observadas.

O processo de corte em questão é acionado por um bi comando, que faz com que as funções da máquina sejam realizadas, sendo o sistema pneumático responsável pela movimentação dos cabeçotes e realização dos recortes necessários para atender a demanda final do cliente.

## 2.4 Capabilidade

O uso de técnicas estatísticas tornou-se essencial em todo o ciclo de vida do produto. Em particular, dentro da indústria, vale a pena destacar estudos para determinar o quanto um processo atende às tolerâncias especificadas como cruciais em programas de garantia de qualidade. Tais estudos, comumente denominados de análise de competências, são reconhecidos como importantes ferramentas de tomada de decisão e seus resultados podem gerar importantes ações na gestão de processos (DELERYD, 1996).

Machado (2010) apresenta a estatística como campo do conhecimento que utiliza teorias prováveis para a explicação de eventos, estudos e experimentos. Tem por objetivos obtenção, organização e análise de dados, determinar suas correlações, tirando assim suas consequências para descrever e explicar o que passou e previsão para o que irá acontecer.

O CP e o CPK são dois índices que conseguem indicar se o processo é considerado bom ou não, sendo que o primeiro obtém uma curva gráfica referenciando os limites de tolerância do processo, ou seja, quanto mais estreita a curva, melhor o resultado do processo. Já o segundo índice mencionado, é o ajuste do CP para uma distribuição não-centrada entre as limitações de especificação.

Para avaliar o processo, temos que valores  $< 1$  configura um processo incapaz,  $\leq 1,33$  um processo aceitável e  $\geq 1,33$  é considerado capaz e ideal (STATISTICAL PROCESS CONTROL WORK GROUP, 2005).

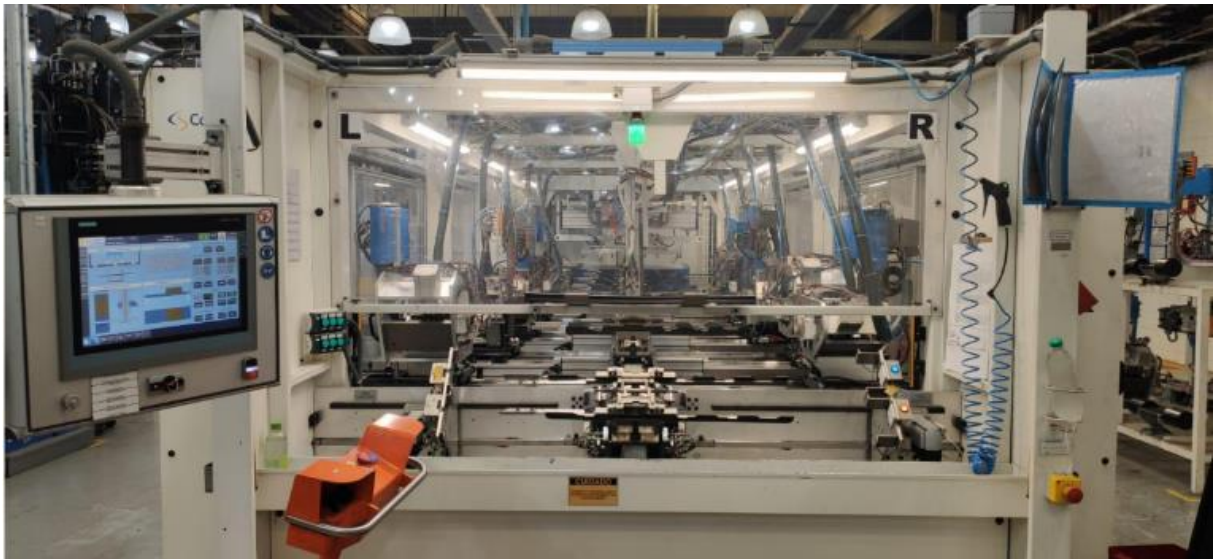
## 3 METODOLOGIA

O projeto foi realizado e executado em uma indústria automobilística, líder do mercado voltada para fabricação de peças de borracha e plástico, localizada no Sul de Minas Gerais.

O processo pelo qual fora realizado a pesquisa, faz-se referência ao carro Taos, projeto Tarek da montadora VW, tendo como estimativa de produção total para o ano de 2022 de aproximadamente 294.763 peças cortadas pela máquina denominada “Transfer”.



Figura 1: Vista frontal da máquina Transfer



Fonte: O autor

Figura 2: Vista lateral da máquina Transfer



Fonte: O autor

### 3.1 Média de consumo da lâmina de corte em VND por peça produzida

Junto ao departamento do almoxarifado, foi levantado um problema de alto consumo das lâminas de corte na empresa no último semestre. Para avaliar a condição atual da máquina e seu rendimento quanto à lâmina de corte VND, fora monitorado a produção e a quantidade de trocas realizadas durante o mês de março.

Com isso, fora calculado a média de consumo por peça produzida, sendo considerado para o cálculo da média, a equação 1, vide abaixo, sendo  $X$  a média de consumo por peça produzida,  $\Sigma NP$  a somatória do número de peças produzidas e  $\Sigma NL$  a somatória do número de lâminas de corte consumidas.

$$X = \frac{\sum NP}{\sum NL} \quad (1)$$

Tabela 1: Peças produzidas X substituição da lâmina no mês de março

SEMANA	PEÇAS PRODUZIDAS	SUBSTITUIÇÃO DA LÂMINA
W10	2084	12
W11	2103	14
W12	2051	9
W13	1978	7

Fonte: O autor

Figura 3: Lâmina de corte VND



Fonte: O autor

### 3.2 Desenvolvimento da lâmina de corte com metal duro

Após o cálculo do rendimento da lâmina de corte em VND, fora observado que o rendimento estava abaixo do esperado, criando-se uma oportunidade para o desenvolvimento de um novo material para a lâmina de corte.

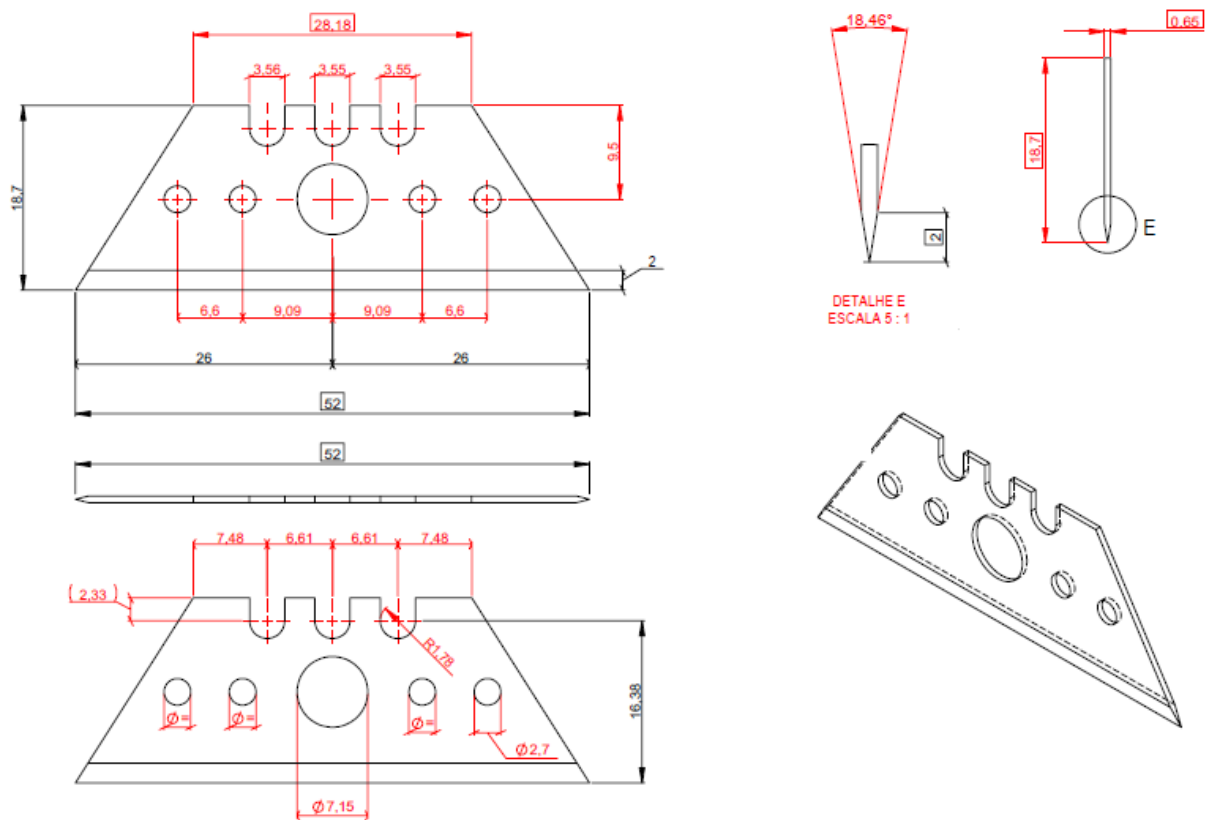
Dessa forma, foi feito a interface com as principais plantas da empresa no mundo, referências em resoluções nos problemas de corte, como por exemplo a fabricante de máquinas de corte localizada em Logroño na Espanha.

Após troca de informações e experiências fabris, a lâmina de corte recomendada para testes é a de carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio, devido às suas propriedades físicas e mecânicas.

Com isso, deu-se início a busca por fornecedores nacionais, com o auxílio do departamento de compras, e com os fornecedores internacionais conforme indicações realizadas durante a interface com as demais localidades da empresa.

Para que fosse possível realizar a cotação com os demais fabricantes em equidade, fora desenvolvido o desenho técnico da lâmina de corte, assegurando que suas medidas e especificações fossem respeitadas por todos os participantes do processo.

Figura 4: Desenho técnico da lâmina de corte



Fonte: O autor

A figura 5 representa a melhor cotação recebida pelo departamento de compras, durante a busca por fornecedores no mercado internacional. Vale ressaltar que nacionalmente não foi encontrado nenhum fornecedor que conseguisse atender as necessidades da companhia, sendo elas o desenho técnico apresentado anteriormente e a composição física da lâmina de corte.

Figura 5: Cotação da lâmina de corte (metal duro)

Description	Due date	Quantity	Price	Amount
<b>95.10.VM.PROV.</b> Tungsten carbide blade Dim. : 52 x 18.7 x 0.65 mm Acc. to your drawing n° DT-28012021 With titanium nitride coating **** 1 or 2 cutting edge ***		100	13.50	1 350.00
Transport fees				75.00
Total without VAT			EUR	1 425.00
VAT Export				0.00
Total with VAT			EUR	1 425.00

Fonte: Valsider SA

Para uma melhor análise de custos, foi considerado a base do euro em R\$5,4482, conforme fechamento do dia de recebimento da proposta pelo fabricante Valsider. Dessa forma, obteve-se que para a compra de 100 unidades da lâmina de corte, era preciso um investimento de aproximadamente R\$7.763,685, fora os impostos e taxas de importação.

Em alinhamento junto à equipe técnica, ficou acordado que, no primeiro momento, seria comprado 50 amostras para validação e testes em máquina, realizando o estudo de rendimento e custo-benefício, a fim de obter resultados satisfatórios para uma tomada de decisão final assertiva.

Conforme a figura 6, o aporte inicial para a compra dessa primeira remessa, com todos os impostos, taxas de importações, frete e custo do material, foi de aproximadamente R\$11.143,53.

Figura 6: Base de cálculo do custo total de 50 amostras

FORNECEDOR	DESCRIÇÃO MATERIAL	VALOR MATERIAL	TARIFAS	VALOR	TOTAL PEDIDO
VALSIDER	LÂMINA DE CORTE CÓD. 50228742	€ 712,50	Outras facas e laminas de cortar	R\$ 2.047,29	R\$ 11.143,53
			IM 21.520-9; II; NF 337381	R\$ 2.009,20	
			IM 21.520-9; ICMS; NF 337381	R\$ 1.814,86	
			Outras facas e laminas de cortar	R\$ 877,41	
			Outras facas e laminas de cortar	R\$ 180,01	
			IM 21.520-9; FRETE; NF 337381	R\$ 169,09	
			IM 21.520-9; TX SISCOMEX; NF 337381	R\$ 86,68	
			Outras facas e laminas de cortar	R\$ 77,15	
			IM-21.520-9 VLR REF ND 1197999 DHL	R\$ 3.881,84	

Fonte: O autor

### 3.3 Média de consumo da lâmina de corte em metal duro por peça produzida

Após todo o processo de aprovação interna, criação e envio do pedido de compra ao fornecedor, trâmites de importação e recebimento do produto, totalizando seis semanas de *lead time* (tempo de espera), deu-se início aos testes para validação do rendimento das lâminas de corte em metal duro, no início do mês de julho.

Figura 7: Lâmina de corte metal duro



Fonte: O autor

Tabela 2: Peças produzidas X substituição da lâmina em metal duro

<b>SEMANA</b>	<b>PEÇAS PRODUZIDAS</b>	<b>SUBSTITUIÇÃO DA LÂMINA</b>
W27	1266	0
W28	1699	0
W29	2345	0
W30	2032	0
W31	665	0
W32	1284	0
W33	1803	0
W34	1486	0
W35	1850	0
W36	1340	0
W37	1708	0
W38	1807	0
W39	1679	1

Fonte: O autor

Vale ressaltar que a máquina de corte Transfer, possui ao todo seis cabeçotes de corte para cada lado (peças lado direito e esquerdo), totalizando doze lâminas de corte na máquina.

No dia 29/09 ocorreu a primeira substituição da lâmina de corte em metal duro, encerrando-se assim o estudo de rendimento dela.

Outro ponto importante a ser avaliado é que ambas as lâminas, tanto de VND quanto de metal duro, possuem dois gumes, ou seja, os dois lados da faca são afiados, sendo possível a sua reutilização (invertendo apenas o lado do encaixe na máquina), duplicando então o rendimento de cada uma delas, apresentado anteriormente.

Com isso, fora calculado a média de consumo por peça produzida, utilizando a equação 1, sendo considerado para o cálculo da média,  $X$  a média de consumo por peça produzida,  $\Sigma NP$  a somatória do número de peças produzidas e  $\Sigma NL$  a somatória do número de lâminas de corte consumidas.

### **3.4 Coleta de dados para estudo de capacidade**

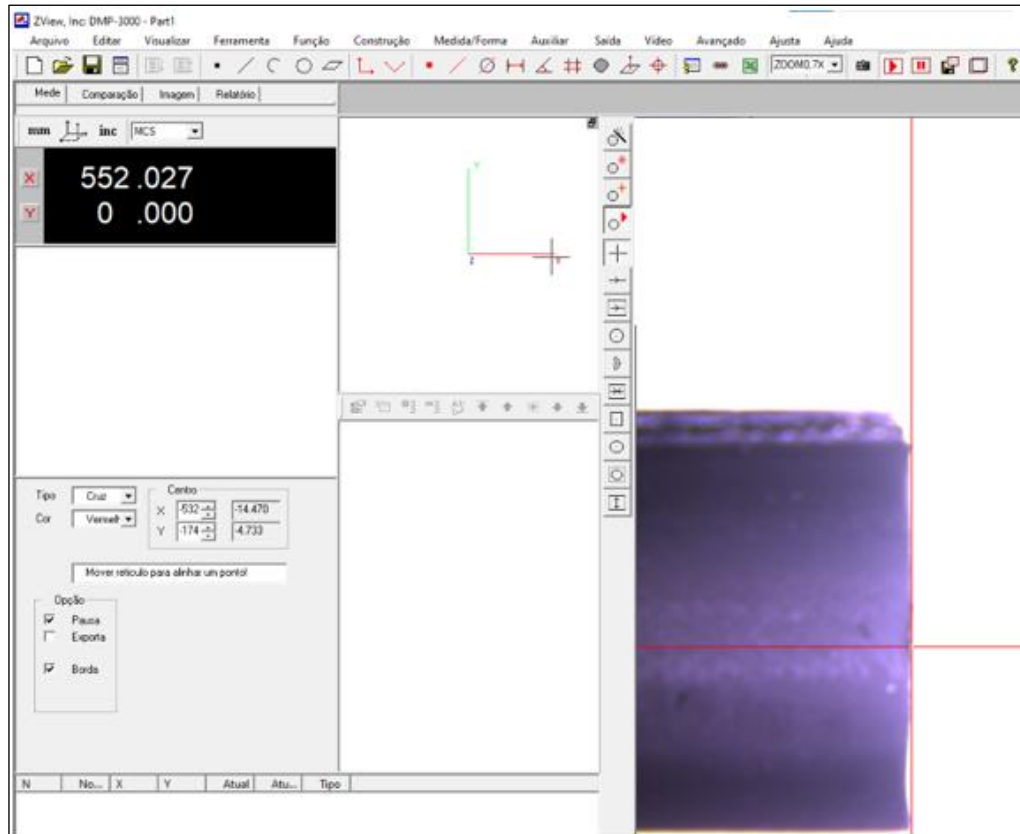
Com os estudos de rendimento concluídos, foi importante verificar a variabilidade da máquina perante a possível alteração da faca de corte. Para tal estudo, foi realizado o estudo de capacidade, com o auxílio do *software* Minitab, considerando uma amostragem de aproximadamente 125 peças.

As amostras coletadas foram submetidas à mediação por uma máquina a laser, de precisão milesimal, sendo que os valores encontrados neste estudo, foram utilizados para a geração dos gráficos estatísticos no Minitab.

Vale ressaltar que, para um melhor resultado quanto à variação e capacidade do processo, o ideal é pegar peças subsequentes, ou seja, seguindo a sequência de peças produzidas.

Na figura 8, pode-se observar a primeira medição realizada pela máquina a laser, obtendo-se o valor de 552,027 milímetros.

Figura 8: Primeira medição da amostragem



Fonte: O autor

Ao finalizar as medições de todas as peças separadas para o estudo de capacidade, foram encontrados os comprimentos abaixo, conforme tabela 3:

Tabela 3: Comprimentos encontrados

AMOSTRA	COMPRIMENTO	AMOSTRA	COMPRIMENTO	AMOSTRA	COMPRIMENTO
1	552,027	43	552,428	85	552,463
2	553,238	44	552,357	86	552,913
3	552,677	45	552,472	87	552,833
4	551,975	46	552,978	88	552,031
5	552,483	47	552,550	89	552,908
6	553,010	48	553,214	90	552,178
7	551,969	49	552,512	91	552,327
8	552,617	50	552,151	92	553,466
9	552,610	51	552,360	93	552,205
10	553,153	52	552,562	94	552,001
11	551,976	53	553,097	95	552,723
12	553,578	54	552,621	96	552,341
13	552,084	55	553,241	97	552,750
14	552,670	56	552,571	98	552,235
15	553,024	57	552,903	99	552,842
16	552,121	58	552,710	100	552,873
17	552,759	59	552,521	101	552,181
18	552,976	60	552,067	102	552,575
19	552,643	61	551,996	103	551,535
20	552,095	62	552,531	104	552,692
21	553,238	63	552,096	105	552,537
22	552,344	64	552,022	106	552,911
23	552,151	65	552,085	107	552,323
24	552,272	66	553,136	108	552,218
25	552,404	67	552,233	109	552,126
26	552,396	68	552,743	110	552,541
27	552,788	69	552,393	111	553,292
28	552,764	70	552,647	112	552,626
29	553,006	71	552,655	113	552,649
30	552,958	72	552,211	114	551,480
31	552,377	73	553,109	115	552,790
32	552,592	74	552,445	116	552,558
33	552,972	75	552,628	117	552,212
34	552,465	76	552,467	118	552,465
35	552,908	77	552,706	119	551,999
36	552,946	78	552,276	120	552,293
37	552,389	79	552,984	121	552,638
38	551,800	80	552,778	122	552,452
39	552,890	81	552,383	123	553,783
40	553,032	82	551,906	124	552,527
41	552,738	83	552,377	125	552,295
42	552,502	84	553,514		

Fonte: O autor



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no que foi exposto anteriormente, para ser possível a conclusão do estudo e, conseqüentemente, a tomada de decisão final sobre uma possível substituição do material da lâmina de corte atualmente fabricada em VND para metal duro (carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio), necessita a realização de mais alguns estudos, tais quais o cálculo do custo-benefício com base no rendimento apresentado (custo da lâmina por peça. para cada material, custo total estimado para suprir a demanda anual), comparação entre os valores calculados e o estudo de capacidade para verificar a variação do processo da máquina perante a uma possível alteração na ferramenta de corte.

### 4.1 Custo da lâmina VND por peça



Para o cálculo do custo da lâmina VND por peça, foi preciso substituir os valores apresentados no tópico 3.1, na equação 1. Dessa forma, calcula-se que o rendimento da lâmina de corte em VND é de aproximadamente 196 peças/lâmina.

$$X = \frac{8216}{42}$$

$$X = 195,62 \text{ peças por lâmina de corte em VND}$$

Partindo do pressuposto que a caixa contendo dez unidades de lâmina em VND tem o custo de R\$123,63, vide figura 9 apresentada a seguir, e que ela possui o rendimento de aproximadamente 195,62 peças por cada gume, conforme relatado e calculado acima, obtemos que:

Figura 9: Custo da caixa com dez unidades da lâmina de corte em VND

Material	50228742			
Denom.	PROD - LAMINA 200-5233.70			
Centro	3750	CS Varginha Sealing		

Cálculo de custos planejados			
Cálculo do preço	Futuro	Atual	Passado
Período / exercício	0	0	0
Preço plan.	0,00	0,00	0,00
Preço standard		123,63	

Preços previstos			
Preço planejado 1	0,00	Data preço plan.1	
Preço planejado 2	0,00	Data preço planej.2	
Preço planejado 3	0,00	Data preço planej.3	

Dados da avaliação			
Classe de avaliação	Z101	Ctg.avaliação	
Cls.av.estq.ord.cli.		Cls.aval.estq.proj.	
Controle de preço	V	Período atual	11 2022
Unidade preço	1	Moeda	BRL
Preço médio móvel	114,72	Preço standard	123,63

Fonte: Sistema SAP / CSA

Tabela 4: Custo da lâmina VND por peça

DESCRIÇÃO	MATERIAL VND
Quantidade de Gume (lâmina)	2
Rendimento por Gume (peças)	195,62
Rendimento Total (peças)	391,24
Custo Lâmina (unidade)	R\$ 12,36
Custo por Peça (unidade)	R\$ 0,03

Fonte: O autor

Conforme mencionado anteriormente, ambas as lâminas de corte, sejam elas em VND ou metal duro, possuem dois gumes, fazendo-se necessário a duplicação do estudo de rendimento, já que ele foi realizado considerando apenas um gume, ou seja, apenas um lado da faca afiado.

Para o cálculo do custo por peça, fora considerado a fórmula 2 abaixo, sendo CP referente ao custo da lâmina por peça, CL o custo de uma lâmina e RT sendo o rendimento total da lâmina em VND com os dois gumes:

$$CP = \frac{CL}{RT} \quad (2)$$

Substituindo a fórmula pelos seus respectivos valores, têm-se que:

$$CP = \frac{12,363}{391,24}$$

$$CP = 0,03 \text{ reais aproximadamente por peça}$$

Pode-se afirmar que no custo para fabricação de cada peça, R\$0,03 corresponde à utilização da lâmina de corte em VND.

#### **4.2 Custo anual para atendimento à demanda de produção com a lâmina em VND**

Sabendo-se que a demanda de produção para o ano de 2023 é de aproximadamente 294.763, conforme previsto pela IHS, mantendo a média de rendimento calculado neste estudo e valores, ambos no tópico 4.1, obtemos que para atender a necessidade anual, seria necessário um investimento total de aproximadamente R\$111.772,47.

Tabela 5: Custo anual - Demanda Lâmina VND 2023

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>RESULTADOS</b>
Máquina de Corte (código interno)	TRA-002
Volume de Peças (ano)	294763
Quantidade Lâminas (máquina)	12
Rendimento Total (peças)	391,24
Custo Lâminas (unidade)	R\$ 12,36
Demanda Necessária (lâminas / ano)	9041
Investimento Aproximado (R\$ / ano)	R\$ 111.772,47

Fonte: O autor

Para este cálculo, foi utilizado a fórmula 3 abaixo, sendo CA o custo de investimento anual previsto, DN a demanda necessária de lâminas no ano, CL o custo unitário da lâmina.

$$CA = DN * CL \quad (3)$$

A demanda necessária de lâminas no ano (DN) foi calculada considerando a fórmula 4 abaixo, no qual DN refere-se a demanda necessária de lâminas no ano, CL o custo unitário da lâmina, VP o volume de peças previsto para 2023, RT como o rendimento total de peças cortadas considerando a lâmina com os dois gumes e QL representando a quantidade de lâminas necessárias para atendimento aos doze cabeçotes de corte da máquina transfer.

$$DN = \left(\frac{VP}{RT}\right) * QL \quad (4)$$

Substituindo a equação, temos que:

$$DN = \left(\frac{294.763}{391,24}\right) * 12$$

Obtendo então a demanda de 9041 lâminas para atendimento ao ano de 2023.

$$DN = 9040,89 \text{ lâminas por ano}$$

Seguindo o cálculo do investimento aproximado para suprir a demanda, calcula-se que:

$$CA = (9040,89) * 12,36$$

Resultando um valor aproximado de R\$111.772,47 em compra de lâminas VND para o ano de 2023.

$$CA = 111.772,47 \text{ reais no ano}$$

### **4.3 Custo da lâmina em metal duro por peça**

Conforme mencionado no tópico 3.2, o valor bruto para a aquisição de cinquenta unidades da lâmina carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio (metal duro) é de aproximadamente R\$11.143,53 e substituindo os valores na equação 1 para o cálculo do rendimento da lâmina de corte em metal duro, temos que se ela possui a capacidade de cortar aproximadamente 20.964 por cada gume, vide abaixo:

$$X = \frac{20964}{1}$$

$$X = 20.964 \text{ peças por lâmina de corte em metal duro}$$

Para seguir com o custo da lâmina em metal duro por peça, foram utilizados os dados da tabela 6, que anteriormente foram calculados e apresentados neste estudo de caso.

Tabela 6: Custo da lâmina metal duro por peça

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>MATERIAL METAL DURO</b>
Quantidade de Gume (lâmina)	2
Rendimento por Gume (peças)	20964
Rendimento Total (peças)	41928
Custo Lâmina (unidade)	R\$ 222,87
Custo por Peça (unidade)	R\$ 0,01

Fonte: O autor

Para o cálculo do custo por peça, fora considerado a fórmula 2, sendo CP referente ao custo da lâmina por peça, CL o custo de uma lâmina e RT sendo o rendimento total da lâmina em VND com os dois gumes.

Substituindo os valores na equação, obtêm-se que:

$$CP = \frac{222,87}{41928}$$

CP = 0,01 reais aproximadamente por peça

Pode-se afirmar que no custo para fabricação de cada peça, R\$0,01 corresponde à utilização da lâmina de corte em metal duro.

#### **4.4 Custo anual para atendimento à demanda de produção com a lâmina em metal duro**

Considerando também que a demanda de produção não sofrerá impacto com a possível alteração do material da lâmina de corte, foi considerado para o ano de 2023, o volume de aproximadamente 294.763 peças, conforme previsto pela IHS, mantendo a média de rendimento calculado neste estudo e valores, ambos no tópico 4.3, obtemos que para atender a necessidade anual, seria necessário um investimento total de aproximadamente R\$18.944,00.

Tabela 7: Custo anual - Demanda lâmina metal duro 2023

<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>RESULTADOS</b>
Máquina de Corte (código interno)	TRA-002
Volume de Peças (ano)	294763
Quantidade Lâminas (máquina)	12
Rendimento Total (peças)	41928
Custo Lâminas (unidade)	R\$ 222,87
Demanda Necessária (lâminas / ano)	85
Investimento Aproximado (R\$ / ano)	R\$ 18.944,00

Fonte: O autor

A demanda necessária de lâminas no ano (DN) foi calculada considerando a fórmula 4, no qual DN refere-se a demanda necessária de lâminas no ano, CL o custo unitário da lâmina, VP o volume de peças previsto para 2023, RT como o rendimento total de peças cortadas considerando a lâmina com os dois gumes e QL representando a quantidade de lâminas necessárias para atendimento aos doze cabeçotes de corte da máquina transfer.

Substituindo a equação, temos que:

$$DN = \left( \frac{294.763}{41.928} \right) * 12$$

Obtendo então a demanda de 85 lâminas para atendimento ao ano de 2023.

$$DN = 84,36 \text{ lâminas por ano}$$

Seguindo o cálculo do investimento aproximado para suprir a demanda anual, foi utilizado a fórmula 3, sendo CA o custo de investimento anual previsto, DN a demanda necessária de lâminas no ano, CL o custo unitário da lâmina, calculando-se então que:

$$CA = 85 * 222,87$$

Resultando um valor aproximado de R\$18.944,00 em compras de lâminas de carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio (metal duro) para o ano de 2023.

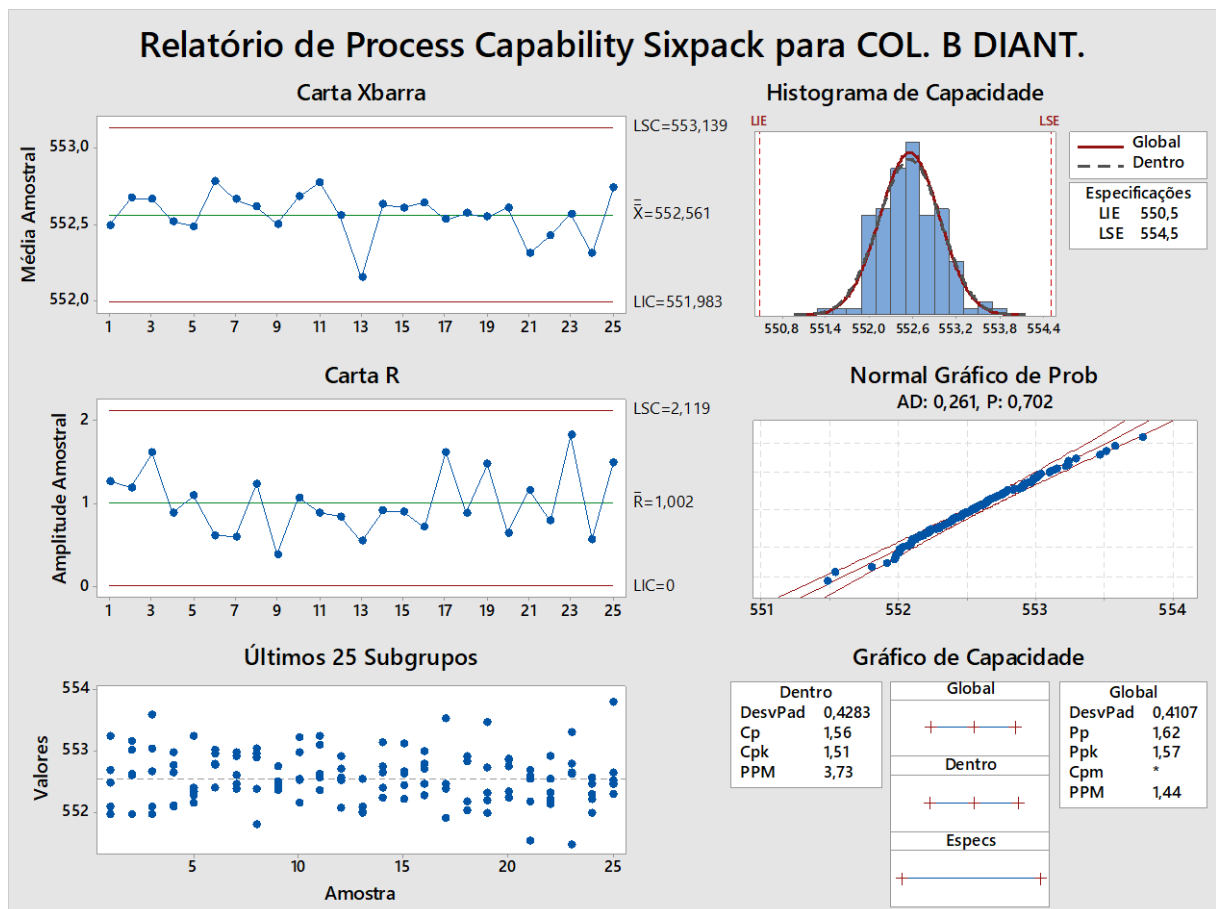
CA = 18.944,00 reais no ano

#### 4.5 Capacidade da máquina de corte

Conforme relatado no tópico 3.4, foram coletadas 125 amostras para a realização do estudo de capacidade da Transfer, sendo elas de produção sequencial para melhor análise dos resultados.

Seguindo os comprimentos encontrados a partir das medições realizadas na máquina a laser com precisão milesimal, conforme tabela 3, foram gerados os gráficos estatísticos com o auxílio do *software* Minitab, obtendo-se os resultados abaixo:

Figura 10: Estudo de capacidade da máquina Transfer



Fonte: O autor



Com isso, pode-se observar que a distribuição é normal, visto que o valor obtido em P (0,702) é superior a 0,05. Ademais, o processo é ideal, visto que seu CP (1,56) e CPK (1,51) apresentados foram superiores a 1,33. Além disso, é válido ressaltar que nenhum valor encontrado excedeu os limites das cartas de controle.

## 5 CONCLUSÃO

Com base no que foi exposto neste projeto, conclui-se que a lâmina em VND apresenta um rendimento de aproximadamente 107 vezes pior em relação ao metal duro, mesmo com o seu custo sendo de aproximadamente 18 vezes maior que o VND, o custo-benefício da lâmina de carboneto de tungstênio com revestimento de nitreto de titânio (metal duro) é 17% melhor.

Dessa forma, conclui-se que a substituição do material da lâmina de corte é válida e será submetido junto aos procedimentos internos da empresa para alteração oficial. O *saving* gerado com a alteração do material da lâmina de corte será de R\$92.828,47, se produzido a quantidade de 294.763 peças, conforme estimado pela IHS. Entretanto, há também os ganhos indiretos, como por exemplo, a diminuição do *downtime* da máquina, devido à redução de paradas para substituições da lâmina e conseqüentemente o aumento de produtividade.

Outro ponto importante a ser relatado é o planejamento que deve ocorrer entre os departamentos de almoxarifado e compras, por se tratar de um item importado e *lead time* de seis semanas, para que o estoque mínimo e de segurança seja respeitado para eventuais contratempos.

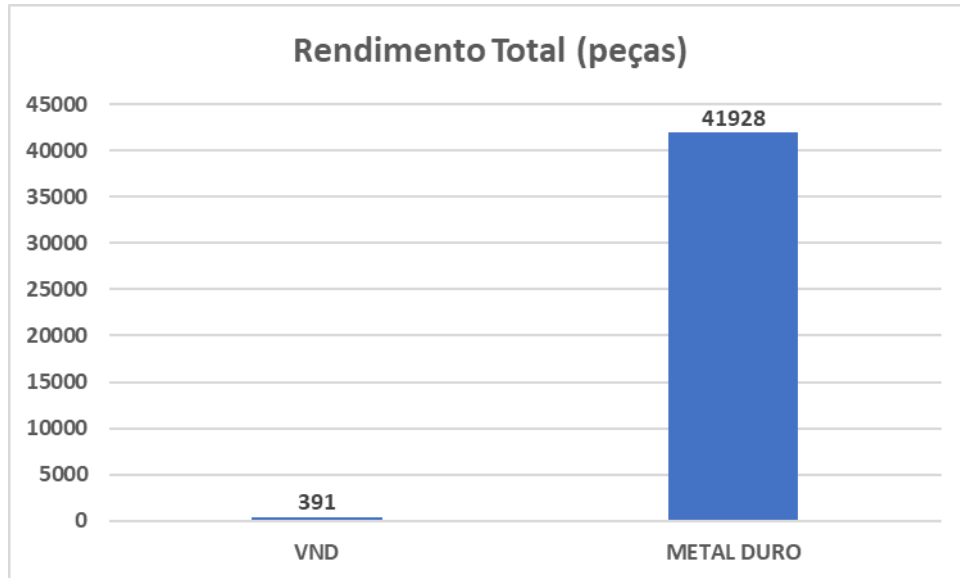
Após certificação deste estudo, vale realizar os testes nas demais máquinas de corte para verificar a possibilidade dessa alteração do material das lâminas, realizando a abrangência para os demais processos fabris da empresa.

## REFERÊNCIAS

- ASM. **Powder Metal Technologies and Applications**. ASM Handbook, ASM, v. 7, USA, 1998.
- BOUZAKIS, K.D.; VIDAKIS, N., MICHAILEDIS, N., LEYEDECKER, T., ERKENS, G., FUSS, G. **Quantification of properties modification and cutting performance of (TiN) N coating at elevated temperatures**. Surface & coating technology, v. 120-12, p.34-43, 1999.
- CASTRO, R. D. M., CAVALER, L. C. D. C., KEJELIN, N. Z., et al, **Revestimento WC depositado por aspersão térmica (HVOF) como alternativa ao cromo duro eletrodepositado aplicados em equipamentos hidráulicos**, Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, v. 19, n. 2, pp. 27–42, 2015.
- DELERYD, M. **Process capability studies in theory and practice**. Licentiate thesis, Lulea University of Technology, Lulea. Sweden. 1996.
- EDWARDS, Elilton Rodrigues. **Estudo da Formação de Interface de Boreto para a Deposição de Diamante CVD sobre Carboneto de Tungstênio**. Tese. INPE, São José dos Campos, 2008.
- GOMES C.M.F., SILVA A.G.P., GOMES U.U., HOLANDA J.N.F., **Carbeto Cementado Dopado com Óxido de Lantânio Sinterizado a Vácuo**, Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 26, n. 3, pp. 127-130, 2007.
- MACHADO, José Fernando. **Método Estatístico: gestão da qualidade para melhoria contínua**. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MILHEIRO, Francisco Aurelio Campos. **Produção e Caracterização de Pós Compósitos Nanoestruturados do Metal Duro WC-10Co por Moagem de Alta Energia**. Dissertação. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006.
- PAULINO, Afonso. **Tungstênio**. Química Nova na Escola, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 141-142, mai.2013. Disponível em: [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35\\_2/11-EQ-15-11.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc35_2/11-EQ-15-11.pdf). Acesso em: 16 mai. 2022.
- RODRIGUES, Márcio Ferreira. **Sinterização Termobárica da Liga de Metal Duro WC-10%pCo**. Dissertação, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006
- STATISTICAL PROCESS CONTROL WORK GROUP. **Statistical Process Control SPC**. 2. ed. Daimler Chrysler, Ford Motor and General Motors Corporations, 2005.
- STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 4. Ed. Florianópolis: Ufsc, 1995.
- ZHANG, F. L., WANG C. Y., ZHUM M., **Nanostructured WC/Co composite Powder Prepared By high energy Ball Milling**. Scripta Materialia, Vol.49, pp. 1123-1128, 2003.

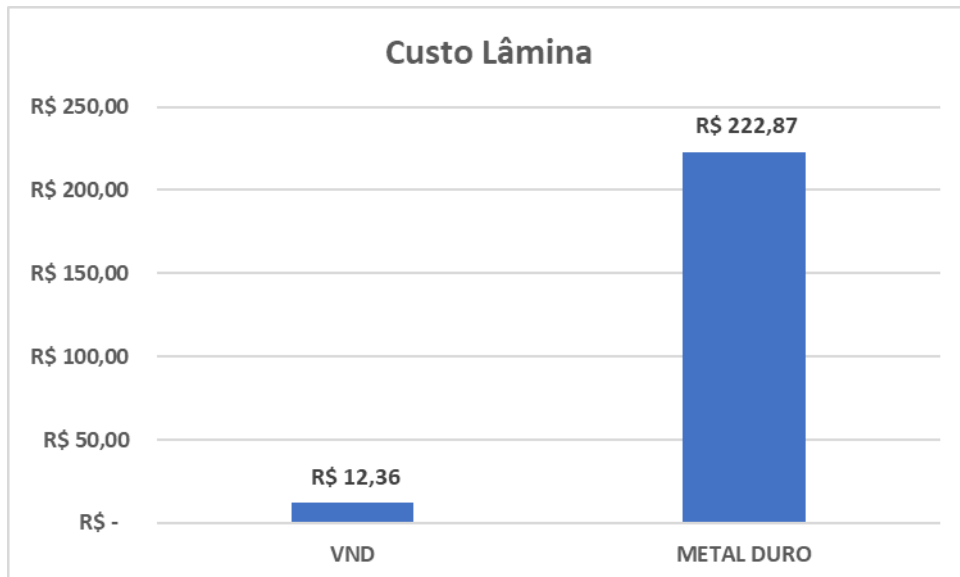
## ANEXOS

Gráfico 1: Comparação de rendimento entre os materiais das lâminas de corte



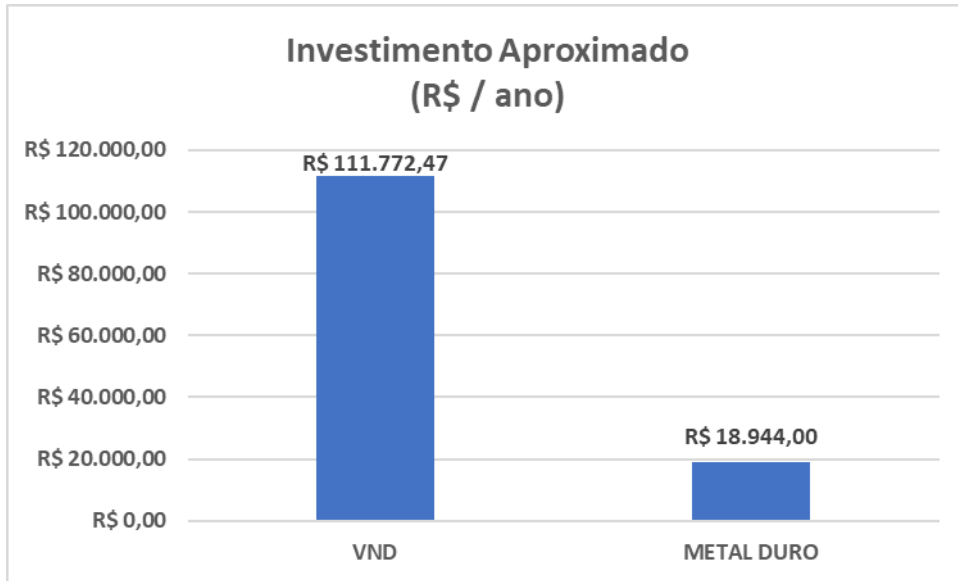
Fonte: O autor

Gráfico 2: Comparação entre os custos unitários das lâminas de corte em VND e metal duro



Fonte: O autor

Gráfico 3: Investimento para compra das lâminas atendimento ao volume de produção em 2023



Fonte: O autor