

ANÁLISE DO PREÇO DA MANUFATURA DE PEÇAS EM LOTE PARA O FRESAMENTO CNC AUXILIADO POR SISTEMAS CAD/CAM

Eric Ramalho Ferreira de Carvalho, eng.ericramalho@gmail.com¹
Marcos Vinicyus de Araujo Oliveira, vinicyus_marcos@ufrn.edu.br¹
Erijanio Nonato da Silva, engenheiro.mecanico.erijanio@outlook.com¹
Gutemberg Ferreira Diniz, gutemberg_ferreira@hotmail.com¹
João Dehon da Rocha Júnior, joaodehonjunior@gmail.com¹
Joseane Azevedo Dantas, joseaneazevedodantas@hotmail.com¹
Rafael Leandro Fernandes Melo, Rafael.melo@ifce.edu.br²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova. CEP 59078-970, Caixa postal 1524. Natal/RN - Brasil,

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145 - Monsenhor Otávio, Limoeiro do Norte - CE, 62930-000.

Resumo: O presente trabalho trata-se da análise do preço de manufatura de duas peças, produzidas em lote, por usinagem em uma máquina CNC com suporte de um sistema integrado CAD/CAM, visando estabelecer os fatores que mais influenciam no preço final do produto e as formas de otimizá-los. Para a realização do trabalho foram selecionadas duas peças aleatórias de materiais diferentes que foram modeladas e tiveram seu processo de manufatura simulada através de um sistema de softwares integrado CAD/CAM. Durante as simulações foi possível identificar as ferramentas mais adequadas ao processo bem como os melhores parâmetros e estratégias de usinagem visando a otimização dos custos atrelados aos tempos de usinagem. As simulações foram baseadas nas características do centro de usinagem ROMI-600, presente no Laboratório de Manufatura da UFRN, enquanto a consulta de ferramentas e parâmetros de usinagem foi realizada no catálogo da SANDVIK para ferramentas rotativas. Para a análise do preço da peça foram fixados alguns custos (infraestrutura, impostos, preço do material, despesa com pessoal, insumos), esses custos tem parcela importante na composição do preço do produto, a outra parcela coube aos custos relacionados aos tempos de usinagem, esses foram otimizados buscando alcançar um menor preço final possível para a peça, considerando as restrições do projeto. Ao final do trabalho foi possível obter um preço final de R\$ 131,01 para a peça 1 e R\$ 50,44 para a peça 2.

Palavras-chave: Manufatura, Fresamento, CNC, CAM, Custo de manufatura.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um projeto auxiliado por computador é proposto a economizar grande parte do tempo de trabalho, de forma a se obter a máxima eficiência. Para peças obtidas por meio da usinagem, o uso sistemas de integração CAE/CAD/CAM tem propiciado essa redução de tempo no projeto, além de permitir um planejamento mais eficiente. Segundo Malaquias (1999) e Wrublack, Pilatti e Pedroso (2008) a otimização em um processo de usinagem visa o melhor custo de produção, através das condições operacionais incluindo a quantidade produzida e tempo de manufatura. Vieira (2013) cita que o estudo prévio CAM é muito importante para o projeto, uma vez que são simuladas condições de fabricação, observando a necessidade de alteração de algum parâmetro.

Por meio da geração de um modelo geométrico em um sistema CAD, é possível utilizá-lo em um software CAM como base para uma simulação de manufatura, estudando o melhor método para ser aplicado em uma máquina CNC por meio da transferência do código NC. Segundo Wrublack, Pilatti e Pedroso (2008), o sistema CAD é capaz de representar com segurança todas as configurações e características do projeto desejado, com as dimensões, tolerâncias e representações desejadas. O sistema CAM funciona de forma disponibilizar ferramentas de programação que automatizem o processo de fabricação pela geração de um código NC, economizando tempo de usinagem e diminuindo a probabilidade de equívocos do manuseio humano nas máquinas-ferramenta. Quanto mais complexa a geometria da peça, mais complexo será o processo de manufatura, sendo o sistema CAD/CAM um grande facilitador de fabricação, por permitir um menor tempo de preparação se comparado ao uso de máquinas convencionais ou até mesmo em programação manual na máquina CNC.

Os softwares CAD/CAM permitem aos usuários modelarem e simularem o processo de usinagem para a posterior manufatura do produto. Todavia, para um melhor entendimento da finalidade dos softwares é importante que o responsável pelo projeto entenda o que está por trás de toda a interface dos comandos utilizados. Esse conhecimento o permitirá explanar a visão para o uso das funções além de dar a capacidade para estabelecer novos comandos, se necessário. O conhecimento do conceito da representação de retas e pontos por meio de equações paramétricas é o que permite a construção de linhas, superfícies e volume em sistemas CAD, na construção de trajetórias em sistemas CAM, como em até nos comandos dos equipamentos CNC nas funções G. Uma grande vantagem na construção de curvas por meio de equações paramétricas é que não depende do sistema de coordenadas, uma vez que um ponto na curva é especificado por um único valor de parâmetro. Sendo essas curvas independentes, podem ser facilmente manipuladas usando as transformações geométricas e representam curvas espaciais com a mesma facilidade que curvas no plano (CONCI e AZEVEDO, 2003). Na figura 1 é possível ver uma curva paralela a outra representando uma trajetória qualquer no espaço, implementada por meio de equações paramétricas no software livre GeoGebra. Essa curva poderia representar a trajetória de uma ferramenta em um equipamento CNC, ou uma trajetória de ferramenta em um software de simulação CAM, ou ainda alguma geometria de superfície em um software CAD.

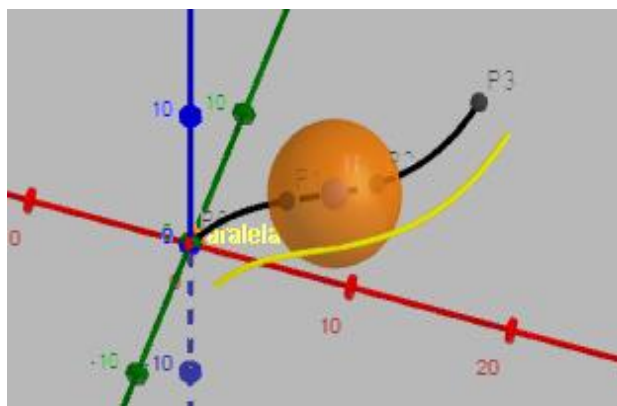


Figura 1. Representação de uma curva com trajetória qualquer no espaço desenvolvida com equações paramétricas no software Geogebra 3.0. Fonte: Autoria própria.

Na produção de peças utilizando o processo usinagem por fresamento, normalmente são obtidas geometrias mais complexas, sendo o desafio encontrar a combinação entre parâmetros de usinagem, estratégias de usinagem, material de ferramentas e sequências de usinagem de forma a se obter o menor tempo de processo. Essa combinação deve ser muito bem planejada, pois todas as variáveis no processo são importantes tanto para a obtenção de uma boa qualidade do produto, como para a otimização do custo final do processo. Segundo Wrublack, Pilatti e Pedroso (2008), o percurso da ferramenta e os parâmetros de usinagem interferem intimamente nos custos e nas características da peça usinada. A seleção de parâmetros e ferramentas é realizada através de catálogos de empresas, artigos científicos e potência disponível na máquina, se obtendo valores aceitáveis mediante o material usinado e o tipo de ferramenta utilizado. A apropriada seleção de ferramentas, parâmetros de corte, tolerâncias recomendadas é uma tarefa complexa, sendo necessário um certo conhecimento específico (AREZOO, RIDGWAY e AL-AHMARI, 2000). Todavia, essa apropriada escolha diminui o custo de produção, o tempo de troca de ferramenta, e o tempo total de produção. Segundo Paiva e Carvalho (2016), a quantidade de trocas deve ser minimizada de forma a aumentar a eficácia pela diminuição das interrupções e o consequente tempo ocioso da máquina de produção.

Para a fabricação de peças por fresamento em âmbito comercial é preciso considerar diversos fatores que vão desde a concepção da geometria da peça até qual o tipo de material de ferramenta que será utilizado, visando o custo do produto final que será repassado ao cliente. É preciso ter uma visão ampla de todas as fases de construção da peça, da máquina-ferramenta que será utilizada, dos materiais disponíveis no ferramental e do tipo de fixação que será utilizado, uma vez que é preciso estar dentro do limite físico disponível para que a peça possa ser usinada como desejado. De acordo com Dihlmann (2005) apud Gama (2009), o empresário ferramenteiro precisa saber aplicar o controle de custos, a fim de garantir uma vida longa e saudável a sua empresa. A figura 2 exemplifica os principais pontos ao qual o engenheiro projetista/manufatura ou empresário ferramenteiro precisa se preocupar ao contabilizar os custos em algum lote utilizando processos de manufatura.

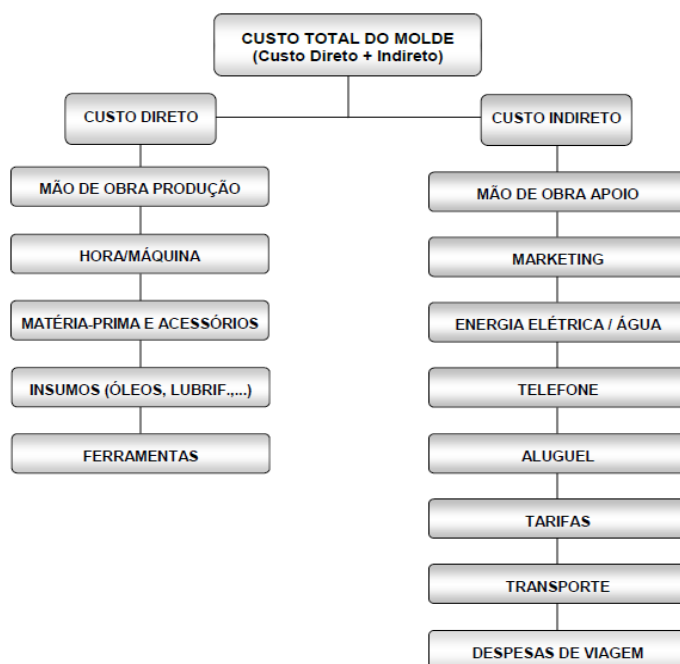


Figura 2. Estrutura de custos de ferramentaria para a usinagem de um molde.

Fonte: Dihmann (2005) apud Gama (2009).

Todavia, apesar do projetista ou empresário saber que existe todo um procedimento de cálculo para custos do preço do produto, esse processo não é feito seguindo todos os passos necessários por não ser dada a importância devida, uma vez que estes cálculos requerem uma maior erudição em áreas específicas. O diferencial para uma empresa ser competitiva e permanecer firme no mercado é o conhecimento da influência dos fatores no preço final do produto.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é a determinação dos custos de manufatura pela otimização dos processos de usinagem obtendo-se um preço competitivo de produto, por meio da escolha adequada dos parâmetros de usinagem, estratégias de usinagem e material de ferramenta, tendo o suporte de um software CAD/CAM.

2. METODOLOGIA

Duas distintas peças foram escolhidas para a realização do estudo: a peça 1, trata-se de um suporte para extremidade de eixo e a peça 2 um mancal de rolamento com geometria prismática. A peça 1 é feita de aço ABNT 1045, um material mais barato e com alto índice de usinabilidade, além de atender as necessidades mecânicas as quais a peça será submetida. A peça 2 é feita do material ABNT FC200 (ferro fundido cinzento), o qual possui bom amortecimento de vibrações, resistência mecânica moderada, além de um bom índice de usinabilidade. A tabela 1 mostra algumas das propriedades para os dois materiais utilizados.

Tabela 1. Propriedades dos materiais utilizados no trabalho.

Propriedades do material	ABNT 1045	ABNT FC200
Dureza (HB)	163	163-229
Resistência à tração (MPa)	560	155-560

Fonte: Catálogo FUCO-TUPY, 2017; <http://www.ggdmetals.com.br/produto/sae-1045>, 2017.

As duas peças foram modeladas em software um Cax chamado Creo Parametric 3.0, disponível no laboratório de manufatura da UFRN. Embora as geometrias das peças tenham sido baseadas em outras peças já existentes, foram realizadas algumas alterações para atender os requisitos de fabricação limitantes aos equipamentos disponíveis no laboratório. As dimensões para ambas foram colocadas de forma genérica, apenas na intenção de representar o produto final, tendo a possibilidade para readequação em visão de projetos futuros. A figura 3 representa as vistas em perspectiva das duas peças modeladas no software.

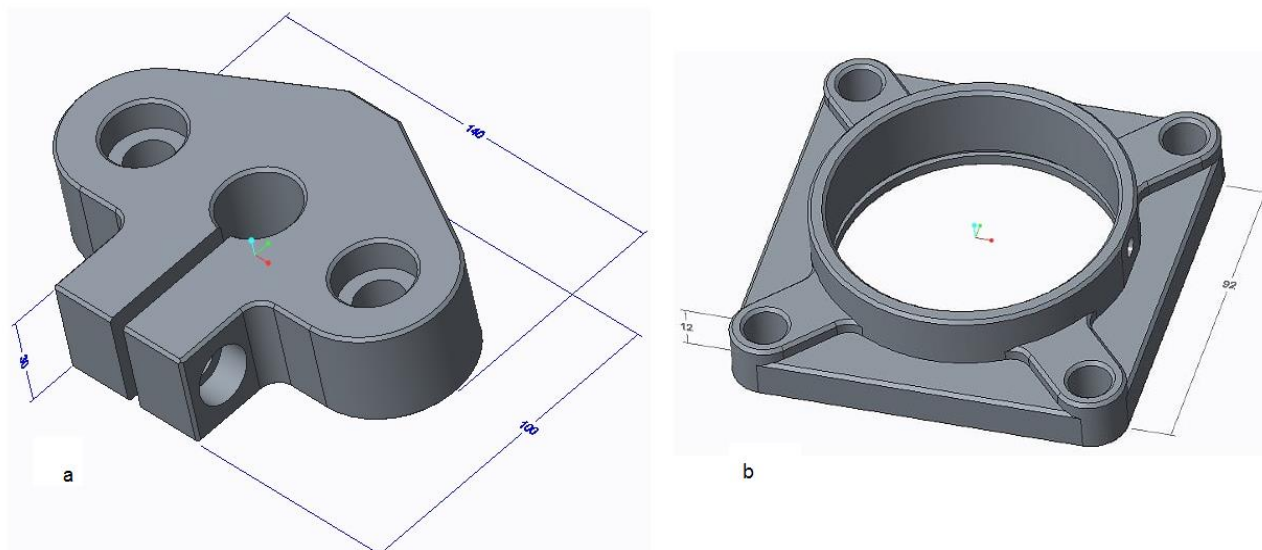


Figura 3. Peças modeladas no software Creo parametric 3.0. a) Peça 1 b) Peça 2. Fonte: Autoria própria.

Com o modelo CAD disponível (modelo da peça em perspectiva), foi possível a obtenção das vistas ortogonais, adotando-se todas as tolerâncias dimensionais e geométricas que se viram necessárias de acordo com a norma NBR 6158, com recomendações do Agostinho (1977). Não obstante o programa gerado pelo sistema CAD/CAM conter todas as orientações de coordenadas necessárias para que o equipamento CNC consiga interpretar as informações de fabricação pré-selecionadas, é importante que se tenha a representação ortogonal com todos os ajustes e dimensões, posto que o operador do equipamento precisará de alguma orientação ao decorrer do processo de manufatura.

Dessa forma a integração do sistema CAD/CAM ocorreu por meio da transferência dos modelos entre os sistemas, utilizando-os como base a se obter as operações necessárias de fabricação. O volume de material bruto considerado em cada peça foi determinado a partir do sobrematerial adicionado as dimensões dos modelos disponíveis. Para as laterais, foram adicionados 2 mm em cada lado; para a parte frontal, foi adicionado 1 mm; já na parte inferior, foram adicionados 10 mm, permitindo que a primeira fixação se desse nesta parte (fixação por morsa). No todo, os volumes para as duas peças foram de 668,79 cm³ para a peça 1 e 403,68 cm³ para a peça 2.

A máquina adotada para o processo de usinagem, foi um centro de usinagem ROMI D600 pertencente ao laboratório de manufatura da UFRN, como também as ferramentas disponíveis em seu armazenador (magazine). Com base nisso, os processos de fresamento foram definidos, adotando os parâmetros de usinagem por meio do catálogo da empresa SANDVIK Coromant para ferramentas rotativas de acordo com o material de cada peça. Já as trajetórias de usinagem foram definidas no próprio software CAM. Ao serem selecionados todos os parâmetros de usinagem, trajetórias e ferramentas, foi possível a obtenção dos tempos de usinagem para cada processo, viabilizando sua otimização por meio da seleção adequada dos fatores citados anteriormente.

Para a realização do cálculo do custo, foi levado em consideração toda a estrutura de uma empresa de manufatura com 3 funcionários (1 funcionário administrativo e 1 operador para cada turno) cada um custando R\$ 4.745,00 (Calculador, 2017; Portal da Indústria, 2017) e um ambiente de 45 m², com valor de aluguel estimado em 10 reais/m², segundo consultas em imobiliárias da região. A empresa é equipada com um centro de usinagem CNC ROMI D600 e uma Serradora (tipo serra fita) FRANHO FM500. Foi considerado no cálculo o aluguel do galpão, depreciação das máquinas (em 10 anos), energia, folha de pagamento dos funcionários, seguro, insumos (pastilhas e ferramentas), valor do material bruto, utilidades e impostos. O valor da energia elétrica foi de R\$ 426,2 MW/h (Portal da indústria). Todos os dados obtidos foram baseados em valores reais, cotados por meio de pesquisas ou estimados baseados em valores existentes utilizados por empresas.

Para contabilizar os custos totais, foi levado em consideração o custo de manufatura por hora, por dia de trabalho (dividido em dois turnos de 8 horas) e por mês de trabalho (considerando 22 dias de trabalho). Primeiramente, foram calculados os custos por hora de cada peça, utilizando os valores dos gastos fixos citados anteriormente (energia, aluguel do galpão, salário de funcionários, depreciação da máquina, seguro e utilidades), os valores das ferramentas compradas, o valor do material da peça e pastilhas (insertos para fresamento), no qual a soma de tudo foi chamado de despesas por hora. Contudo, para se obter o preço total por hora foram adicionados valores de impostos (PIS/COFINS, ICMS, IPI) somado ao lucro de 20% em cima das despesas por hora.

Para o cálculo do tempo de manufatura, foram contabilizados os tempos dos processos, somados ao tempo de troca das ferramentas, o tempo secundário (fixação da peça) e o tempo de troca, aproximação e afastamento. Baseados em conhecimentos prévios e experiência anterior com manufatura, foi viável padronizar os dois últimos tempos citados. Sabe-se que no real funcionamento do sistema esses tempos podem variar, todavia, seus valores ficam dentro de uma faixa bem pequena sendo possível padronizar com confiabilidade. Uma importante observação, é que o tempo de vida de uma aresta da ferramenta foi padronizado em 30 minutos, de forma a facilitar o resultado para o número de trocas para cada aresta da ferramenta. Esse valor foi fundamentado no tempo de vida de ferramentas mais convencionais (Aço

rápido, metal duro), uma vez que ferramentas especiais, como as de aresta com PCBN, podem chegar a tempos maiores que este.

O cálculo do preço total do produto foi realizado por meio da razão entre valor total de custo de manufatura por hora pelo número de peças produzidas por hora. Para chegar ao valor de custo total por hora foi realizado o procedimento de cálculo explicado anteriormente, já para a obtenção do valor da quantidade de peças por hora se deu a partir do tempo de usinagem obtido pela simulação no software CAM. Observa-se que para se obter o tempo de manufatura de cada peça foi preciso somar o tempo resultante dos processos no módulo CAM com o tempo de troca das ferramentas por peça (tempo total calculado dividido pelo valor do lote). Uma vez calculado esse tempo total de manufatura por peça, foi viável encontrar a quantidade de peças por hora através de uma regra de três simples.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o planejamento do processo de manufatura das peças e definido o tamanho de lote de 180 unidades para a peça 1 e 40 unidades para a peça 2, foi possível contabilizar todos os custos de manufatura. As figuras 4 e 5 mostram os resultados dos tempos diretos de usinagem para cada processo, detalhando a posição da respectiva ferramenta no magazine e o código da ferramenta de acordo com o catálogo da Sandvik Coromant.

Figura 4. Tempo direto nas operações realizadas para a peça 1.

TROCAS DE FERRAMENTAS DESGASTADAS NO LOTE								
Produto	Matéria-prima		Sistema de fixação		Máquina ferramenta		Página	
PEÇA 1	ABNT 1045 – (152x110x40 mm)		Morsa		ROMI D600		01 de 01	
operação elementar	Posição da ferramenta	Lado de usinagem	Tempo parcial (min)	Somatório (min)	Vida da ferramenta (min)	Peças usinadas por troca	Tamanho do lote (qtde. de peças)	Número de trocas
Desbaste 1 – Contorno	T01	L1	2,71	8,931	30	3	180	60
Faceamento		L1	1,871					
Desbaste Inferior		L2	1,871					
		L2	2,479					
Desbaste 2 – Contorno	T10	L1	1,46	3,97	30	7		25
Desbaste 3 – Contorno		L1	1,46					
Alargamento		L1	1,05					
Furação D15	T03	L1	0,161	0,161	30	186		0
Furação D24	T04	L1	0,404	0,62	30	48		3
Furação REB -D24		L1	0,216					
Rasgo 1	T02	L1	1,83	3,66	30	8		22
Rasgo 2		L1	1,83					
Chanfro	T05	L1	1,32	2,24	30	13		13
		L2	0,92					
Furação D11	T06	L3	0,097	0,097	30	309		0
Furação D12	T07	L3	0,053	0,053	30	566		0
Furação REB D18	T08	L3	0,027	0,027	30	1111		0
Rosqueamento	T09	L3	0,09	0,09	30	333	0	
						Trocas de ferramenta no lote		123
						Tempo total (min)		246

Figura 5. Tempo direto nas operações realizadas para a peça 2.

PLANO DE PROCESSO - CÁLCULO DE TEMPO													
produto	material		matéria-prima		sistema de fixação				máquina ferramenta			página	
mancal de rolamento	ABNT FC200		116 x 116 x 38 mm		Morsa mecânica				ROMI D600			01 de 01	
OP.	operação elementar	diâmetro da ferramenta (mm)	Posição da ferramenta	especificação da ferramenta	número passes	v_c (m/min)	f_z (mm/dente)	z (dentes)	v_c (mm/min)	n (rpm)	t_c (min)	tempo secundário (min)	tempo troca/aprox. /afast. (min)
10 (LADO 1)	Faceamento	80	T18	390R-11 T3 08 M - CLASSE GC 1020	1	360	0,3	6	2580	1433	0,35	0,25	0,07
	Contorno externo 1	20	T12	390R-11 T3 08 M - CLASSE GC 1020	10	360	0,3	2	3439	5732	1,68		0,07
	Contorno externo 2	50	T01	390R-11 T3 08 M - CLASSE GC 1020	1	360	0,3	4	2752	2293	0,74		0,07
	Desbaste externo	12	T10	R390-11 T3 08E-PL CLASSE GC 1020	2	360	0,3	1	2866	9554	0,93		0,07
	Trepanação	75	T13	R430.26-1114-06-PL CLASSE GC 3040	1	100	0,2	2	170	425	0,08		0,07
	Contorno acabamento interno	50	T01	390R-11 T3 08 M - CLASSE GC 1020	1	375	0,2	4	1911	2389	0,86		0,07
	Furo de centro	2	T14	452.C1-0480-100T-C	1	130			4968	8280	0,1		0,07
	Furação 5 mm	5	T15	R840-0500-30-A0A- CLASSE GC 1220	1	130	0,3	2	4968	8280	0,12		0,07
	Furação 12 mm	12	T07	R840-1200-30-A0A- CLASSE GC 1220	1	130	0,3	2	2070	3450	0,09		0,07
	Rasgo interno	27,7	T16	327R12-28 20002-GMM	1	360	0,3	6	7450	4139	0,12		0,07
20 (LADO 2)	Chanfro cima	12	T05	316-12CM600-12045G	1	190	0,085	6	2572	5042	0,83	0,25	0,07
	Furo de centro rosca	2	T14	452.C1-0480-100T-C	1	130			2292	5732	0,09		0,07
	Furo 5 mm	5	T15	R840-0500-30-A0A- CLASSE GC 1220	1	130	0,3	2	4968	8280	0,09		0,07
	Rosqueamento	6	T17	CoroMill® Plura - H13A	1	100	0,027	3	430	5308	0,13		0,07
30 (LADO 3)	Faceamento	80	T18	390R-11 T3 08 M - CLASSE GC 1020	5	360	0,3	6	2580	1433	1,17	0,25	0,07
	Chanfro baixo	12	T05	316-12CM600-12045G	1	190	0,085	6	2572	5042	0,45		0,07
Somatória parcial (min) - lado 1											5,9	0,25	0,77
Tempo total (min) - lado 1											6,92		
Somatória parcial (min) - lado 2											0,31	0,25	0,21
Tempo total (min) - lado 2											0,77		
Somatória parcial (min) - lado 3											1,62	0,25	0,14
Tempo total (min) - lado 3											2,01		
Soma total (min)											9,7		

Nota-se nas tabelas 2 e 3 que ambas as peças possuem três lados na usinagem, isso é proveniente das 3 fixações necessárias para que a geometria desejada fosse possível. O lado 1 corresponde as partes frontais das peças, onde foi maior o número de operações. O lado 2 se refere a parte lateral da peça e o lado 3 a parte inferior das peças. O tempo direto de usinagem para cada operação está mostrado nas tabelas 2 e 3, assim como os tempos totais.

Os tempos finais de cada processo influenciam diretamente no tempo de vida da ferramenta e no consequente número de trocas. Ou seja, quanto menor o tempo de um processo, menos a ferramenta será utilizada, portanto, mais vezes esta aresta realizará a usinagem em boas condições. As figuras 6 e 7 mostram a relação entre o tempo de usinagem e o número de trocas em cada processo para as peças 1 e 2, respectivamente.

Figura 6. Troca de ferramentas desgastadas no lote para a peça 1.

TROCAS DE FERRAMENTAS DESGASTADAS NO LOTE								
Produto	Matéria-prima		Sistema de fixação		Máquina ferramenta		Página	
PEÇA 1	ABNT 1045 – (152x110x40 mm)		Morsa		ROMI D600		01 de 01	
operação elementar	Posição da ferramenta	Lado de usinagem	Tempo parcial (min)	Somatório (min)	Vida da ferramenta (min)	Peças usinadas por troca	Tamanho do lote (qtde. de peças)	Número de trocas
Desbaste 1 – Contorno	T01	L1	2,71	8,931	30	3	180	60
Faceamento		L1	1,871					
Desbaste Inferior		L2	1,871					
		L2	2,479					
Desbaste 2 – Contorno	T10	L1	1,46	3,97	30	7		25
Desbaste 3 – Contorno		L1	1,46					
Alargamento		L1	1,05					
Furação D15	T03	L1	0,161	0,161	30	186		0
Furação D24	T04	L1	0,404	0,62	30	48		3
Furação REB -D24		L1	0,216					
Rasgo 1	T02	L1	1,83	3,66	30	8		22
Rasgo 2		L1	1,83					
Chanfro	T05	L1	1,32	2,24	30	13		13
		L2	0,92					
Furação D11	T06	L3	0,097	0,097	30	309		0
Furação D12	T07	L3	0,053	0,053	30	566		0
Furação REB D18	T08	L3	0,027	0,027	30	1111		0
Rosqueamento	T09	L3	0,09	0,09	30	333		0
Trocas de ferramenta no lote								123
Tempo total (min)							246	

Tabela 7. Troca de ferramentas desgastadas no lote para a peça 2.

TROCA DE FERRAMENTAS DESGASTADAS NO LOTE									
produto	matéria-prima		sistema de fixação		máquina-ferramenta		página		
mancal de rolamento	ABNT FC200		fixação por morsa		ROMI D600		01 de 01		
Operação elementar	Posição da ferramenta	Lado da Usinagem	tempo parcial (min)	somatório (min)	vida da ferramenta (min)	Peças usinadas por troca	Tamanho do lote (qtde. de peças)	Número de trocas	
Contorno externo 2	T01	L1	0.74	1.6	30	19	40	2	
Contorno acabamento interno		L1	0.86						
Chanfro cima	T05	L1	0.83	1.28	30	23		2	
Chanfro baixo		L3	0.45						
Furação 12 mm	T07	L1	0.09	0.09	30	333		0	
Desbaste externo	T10	L1	0.93	0.93	30	32		1	
Trepanação	T13	L1	0.08	0.08	30	375		0	
Furo de centro	T14	L1	0.1	0.19	30	158		0	
Furo de centro rosca		L2	0.09						
Furação 5 mm	T15	L1	0.12	0.21	30	143		0	
Furação 5 mm		L2	0.09						
Rasgo interno	T16	L1	0.12	0.12	30	250		0	
Rosqueamento	T17	L2	0.13	0.13	30	231		0	
Faceamento cima	T18	L1	0.35	1.52	30	20		2	
Faceamento baixo	T18	L3	1.17						
					Trocas de ferramentas no lote			8	
					Tempo total (min)			16	

Como citado anteriormente, percebe-se a influência do tempo de usinagem na quantidade de trocas de ferramentas utilizadas em um processo. Em teores financeiros, é preferível que seja utilizada uma pastilha não cara que seja capaz de realizar a operação e manter um tempo de vida razoável. No entanto, há ferramentas no mercado que permitem a usinagem em condições mais severas, que por sua vez, possuem um preço mais elevado, sendo este balanço de preço algo muito importante a se considerar no projeto de manufatura. Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2003), alguns materiais de ferramenta, apesar de conseguirem maior vida da ferramenta e maior produção, muitas vezes não apresentam uma razoável relação custo/benefício.

A cotação dos materiais realizadas foi feita de acordo com os preços das empresas Aços express (Aço ABNT 1045) e Santa Fé Indústria e com. LTDA (ABNT FC200). Assim, foi possível se obter os preços dos materiais brutos para cada peça fabricada. A tabela 2 mostra as informações para o material das peças selecionadas.

Tabela 2. Informações e custos dos materiais brutos considerados para as peças.

Propriedades	ABNT 1045 (Peça 1)	ABNT FC 200 (Peça 2)
Densidade (g/cm ³)	7,8	7,19
Massa da peça (kg)	1,81	2,9
Preço por quilo (R\$/kg)	7,62	8,0
Volume do material bruto por peça (cm ³)	668,79	403,38
Custo por peça (R\$)	13,79	23,21

Juntamente com a relação da quantidade de peças fabricadas por hora, foram obtidos os valores do custo para os materiais brutos das peças por cada hora. Reunindo as informações adquiridas para os outros custos, foram contabilizados os custos de processo e o preço para cada peça, de acordo com as tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Cálculo dos custos totais para a peça 1.

Detalhamento das despesas	Total por mês	Total por dia (22 dias)	Total por hora (16h)	Observações
Folha de Pagamento (R\$)	14.235,66	647,08	40,44	3 funcionários: 2 operadores e 1 administrativo.
Energia Elétrica (R\$)	2.365,44	107,52	6,72	Energia consumida pelos equipamentos: 16 kw/h. Valor energia: R\$ 426,2 MW/h.
Aluguel/IPTU (R\$)	450,00	20,45	1,28	R\$ 450/mês (área = 45m ²)
Depreciação máquina (R\$)	3.833,33	174,24	10,89	R\$ 460.000,00/ 10 anos.
Seguro (R\$)	100,00	4,55	0,28	R\$ 1.200,00 /ano
Insumos (R\$)	15.681,90	712,81	44,55	Pastilhas de usinagem Custo de afiação – 10% do preço da ferramenta
Custo material bruto (R\$)	24.354,88	1.107,04	69,19	R\$ 7,62/kg
Utilidade (R\$)	2.000,00	90,91	5,68	Limpeza e produtos de consumo
Despesas por hora (R\$)			179,04	
Lucro (R\$)	12.604,24	572,92	35,81	(20% de lucro)

Tabela 4. Cálculo dos custos totais para a peça 2.

Detalhamento das despesas	Total por mês	Total por dia (22 dias)	Total por hora (16h)	Observações
Folha de Pagamento (R\$)	14.235,66	647,08	40,44	3 funcionários: 2 operadores e 1 administrativo.
Energia Elétrica (R\$)	2.365,44	107,52	6,72	Energia consumida pelos equipamentos: 16 kw/h. Valor energia: R\$ 426,2 MW/h.
Aluguel/IPTU (R\$)	450,00	20,45	1,28	R\$ 450/mês (área = 45m ²)
Depreciação máquina (R\$)	3.833,33	174,24	10,89	R\$ 460.000,00/ 10 anos.
Seguro (R\$)	100,00	4,55	0,28	R\$ 1.200,00 /ano
Insumos (R\$)	11.344,96	515,68	32,23	Pastilhas de usinagem Custo de afiação – 10% do preço da ferramenta
Custo material bruto (R\$)	48.505,60	2.204,80	137,80	R\$ 7,62/kg
Utilidade (R\$)	2.000,00	90,91	5,68	Limpeza e produtos de consumo
Despesas por hora (R\$)			235,32	
Lucro (R\$)	16.567,00	753,05	47,07	(20% de lucro)

Pelas tabelas 3 e 4 observa-se que as despesas por hora para o lote da peça 1 é de R\$ 179,04 e para o lote da peça 2 é de R\$ 235,32. A grande diferença de preço notada na tabela, foi proveniente do valor de material bruto por hora para cada peça, sendo um valor de R\$ 137,8 para a peça 2 (40 peças) e apenas R\$ 69,19 para o lote da peça 1 (180 peças). Todavia, é preciso considerar que a quantidade de peças fabricadas por hora no lote de peças 1 é menor que para o lote de peças 2, tendo-se obtido 1,74 peças por hora e 5,94 pelas por horas, respectivamente. Ainda é importante salientar que o custo apresentado nas tabelas 7 e 8, não são os preços finais, precisando considerar o custo dos impostos e do lucro da empresa. Desse modo, na Tab. 5 são apontados todos os impostos e valores a considerar, como também, o valor da peça final. Um fato interessante é que o preço das ferramentas adquiridas foi depreciado em 6 meses, como uma estratégia de diminuir o custo final do produto para esses lotes. Sabe-se que as ferramentas e os porta-ferramentas podem ser utilizados para a manufatura de lotes futuros, sendo então a escolha da depreciação do custo uma estratégia razoável.

Tabela 5. Valores dos impostos e os valores de preço finais das peças.

Material	AÇO ABNT 1045	ABNT FC200
Despesa por hora (R\$)	179,04	235,32
Lucro por hora (R\$)	35,81	47,07
PIS/COFINS (3,6% - R\$)	1,29	1,69
ICMS (18% -R\$)	6,45	8,47
IPI (15%-R\$)	5,37	7,06
Total /h (R\$)	227,95	299,61
Preço da peça (R\$)	131,01	50,44

De acordo com a Tab. 5, é visto que a unidade da peça 1 tem um maior valor que a unidade da peça 2. Um possível motivo para isso se dá nos maiores tempos de usinagem apresentados pela primeira, aumentando o custo de produção. No entanto, a comparação direta entre os preços para os produtos é inviável, devido estes serem projetos diferentes, com diferentes materiais e diferentes especificações. O valor total repassado ao cliente calculado para cada lote resultou em R\$ 23.581,80 para o lote 1 (180 peças) e R\$ 2.017,60 para o lote 2 (40 peças), sendo os tempos de fabricação de aproximadamente 6 dias e meio (16 horas diárias) e 6,74 horas, respectivamente.

É importante salientar que os tempos de usinagem e de troca de ferramentas são influenciadores diretos no lucro do empresário. Para o caso, o lucro por hora obtido para a peça tipo 2 foi quase 25% maior que o lucro para a peça 1, devido a soma dos tempos citados anteriormente serem menores. Isso mostra que apesar do custo do material para a peça 1 ter sido menor, o tempo de processo teve maior influência no cálculo, visto que além de ter aumentado o valor final do produto, diminuiu o lucro por hora produzida.

Verifica-se a grande diferença de valores entre tempo e lucro em relação ao tamanho do lote. Para um lote maior, é possível ter uma margem maior de negociação, pois além de ser realizado apenas uma configuração de set-up (tempo de preparação) para as várias unidades que irão ser fabricadas, economizando tempo total de processo, permite que se tenha uma maior margem de lucros. Ou seja, uma vez pago o valor do projeto e das ferramentas adquiridas para o lote com uma certa quantidade de peça produzidas, a outra parte terá uma maior margem de lucro (causa uma “folga” no preço final do produto), dando uma certa margem para uma variação do preço do produto de acordo com a negociação entre cliente/negociador. Todavia, na produção de pequenos lotes, a margem de negociação é menor, pois é preciso concentrar todos os gastos com a produção em poucas unidades produzidas.

Em relação a venda, será mais fácil despertar o interesse do cliente para aquele produto que possui um preço menor, prezando pela qualidade e funcionalidade. Não se trata de uma tarefa fácil, mas consiste da realização de um longo estudo de viabilidade entre diversas variáveis que vão desde a estrutura disponível para fabricação, até os parâmetros de ferramentas e trajetórias de usinagem selecionadas. Baseado nisso, o empresário ou engenheiro de manufatura precisa procurar as melhores soluções que otimizem os processos de fabricação com o fim da diminuição do tempo de usinagem, do aumento da produção e da vida das ferramentas.

4. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, O. L. Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L.; Tecnologia da Usinagem dos Materiais. São Paulo: Artliber Editora, 2003, 4ª edição.
- AREZOO, B., RIDGWAY, K. and AL-AHMARI, A. (2000). Selection of cutting tools and conditions of machining operations using an expert system. *Computers in Industry*, 42(1), pp.43-58.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6158: Sistemas de tolerâncias e ajustes. Rio de Janeiro, 1995.
- CATÁLOGO DE FERRAMENTAS ROTATIVAS, 2017: Produzido por SANDVIK COROMANT. Disponível em <http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/POR/ROT_K.pdf#4,{%22name%22:%22Fit%22}>. Acesso em 25 Nov. 2017.
- CALCULADOR, Custo do funcionário para a empresa. Disponível em: <<http://www.calculador.com.br/calculo/custo-funcionario-empresa>>. Acesso em: 22 nov. 2017;
- CONCI, A.; AZEVEDO, E.; Computação gráfica: geração de imagens. Rio de Janeiro: Elsevier Campus, 2003. 353 p + 1 CD-ROM.
- DIHLMANN, C.; Cálculo de Custos e Formação de Preços para Moldes. Apostila Curso. Departamento de Engenharia Mecânica – UDESC, 2007.
- GAMA, C. A. S.; Contribuições ao processo orçamentário de moldes: Estudo de caso em uma ferramentaria com a implantação de uma ferramenta computacional. 2009. 147p. Dissertação (Mestrado). Instituto Superior Tupy, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2009.
- MALAQUIAS, J. C.; Otimização e Gerenciamento em Usinagem para Cenário de Fabricação Flexível. Santa Bárbara d'Oeste: FEMP, UNIMEP, 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 1999;
- PAIVA, G. S.; CARVALHO, M. A. M de. Um Método Para Planejamento da Produção em Sistemas de Manufatura Flexível. XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Setembro 27-30, 2016, Vitória, ES, Brasil. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2016/pdf/156389.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2017;
- CNI. PORTAL DA INDÚSTRIA, Perfil industrial do estado do Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://perfilestados.portaldaindustria.com.br/estado/rn>>. Acesso em: 22 nov. 2017;
- VIEIRA, T.L.P.; Monografia de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, 2013, “CIM - Manufatura Integrada por Computador”, Ouro Preto, MG, Brasil.
- WRUBLAK, O.; PILATTI, L. A.; PEDROSO, B. Parâmetros e métodos de usinagem e sua relação com os custos do processo e o acabamento final do produto. 4º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais. Agosto 25–29 2008, Paraná, Brasil. Disponível em: <http://www.4eetcg.uepg.br/painel/64_1.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2017;

ANALYSIS OF THE PRICE OF THE MANUFACTURE OF BATCH PARTS FOR CNC MILLING AUXILIATED BY CAD / CAM SYSTEMS

Eric Ramalho Ferreira de Carvalho, eng.ericramalho@gmail.com¹
Marcos Vinicyus de Araujo Oliveira, vinicyus_marcos@ufrn.edu.br¹
Erijanio Nonato da Silva, engenheiro.mecanico.erijanio@outlook.com¹
Gutemberg Ferreira Diniz, gutemberg_ferreira@hotmail.com¹
João Dehon da Rocha Júnior, joaodehonjunior@gmail.com¹
Joseane Azevedo Dantas, joseaneazevedodantas@hotmail.com¹
Rafael Leandro Fernandes Melo, Rafael.melo@ifce.edu.br²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Lagoa Nova. CEP 59078-970, Caixa postal 1524. Natal/RN - Brasil,

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145 - Monsenhor Otávio, Limoeiro do Norte - CE, 62930-000.

Abstract. *The present paper deals with the analysis of the manufacturing price of two pieces, produced in batch, by machining in a CNC machine with support of an integrated CAD / CAM system, aiming to establish the factors that most influence the final price of the product and the ways to optimize them. In order to perform the work, two random pieces of different materials that were modeled were selected and had their manufacturing process simulated through an integrated CAD / CAM software system. During the simulations it was possible to identify the most appropriate tools for the process as well as the best parameters and machining strategies aiming at the optimization of the costs related to the machining times. The simulations were based on the characteristics of the ROMI-600 machining center at the UFRN Manufacturing Laboratory, while the tooling and machining parameters were consulted in the SANDVIK catalog for rotary tools. Some costs (infrastructure, taxes, material price, personnel expenses, supplies) were fixed for the analysis of the price of the part, these costs have a significant part in the composition of the price of the product, the other part was related to the costs related to the machining times, these were optimized in order to achieve the lowest possible final price for the part, considering the constraints of the project. At the end of the work it was possible to obtain a final price of R\$ 131.01 for part 1 and R\$ 50.44 for part 2.*

Keywords: *Manufacturing, Milling, CNC, CAM, Manufacturing cost.*