

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**MATEUS DE SOUZA GOULART**

**VIABILIDADE E SUBSTITUIÇÃO DE MÁQUINAS DE USINAGEM**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2018**

**MATEUS DE SOUZA GOULART**

**VIABILIDADE E SUBSTITUIÇÃO DE MÁQUINAS DE USINAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Janaína Fracaro de Souza

**LONDRINA**

**2018**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Londrina



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **VIABILIDADE E SUBSTITUIÇÃO DE MÁQUINAS DE USINAGEM**

**MATEUS DE SOUZA GOULART**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 26 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Janaina Fracaro de Souza  
Prof.(a) Orientador(a)

---

Roger Nabeyama Michels  
Membro titular

---

Amadeu Lombardi Neto  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, que acima de tudo me deram todo apoio e suporte para entender a real importância e valor da educação para a formação pessoal e intelectual. Além disso, os mesmos são exemplos de valor e hombridade, assim pretendo segui-los como espelho em toda a minha vida.

Agradeço a minha orientadora Prof. Dr. Janaina, que sempre me atendeu, guiou e se prontificou a esclarecer e sanar as dúvidas que ocorreram durante o processo.

Agradeço a todos os professores e colegas de curso pelos bons momentos que vivenciamos na trajetória de formação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

GOULART, Mateus de Souza. **Viabilidade e substituição de máquina de usinagem**. 2018. 47. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

No presente trabalho foram realizadas as análises da viabilidade e substituição de máquinas de usinagem. O estudo envolveu a determinação das variáveis significativas para os cálculos de tempo e custos de usinagem. Avaliou-se o tempo total de produção, os custos relativos a mão de obra, máquina ferramenta e custos ferramentais. A partir da criação de um programa que permite a comparação entre máquinas convencionais de usinagem e centros de usinagem CNC, facilita-se a visualização dos dados e a análise da viabilidade de cada equipamento. Um estudo de caso referente a usinagem em uma fábrica de impressão de embalagens foi utilizado como elucidação do programa criado e pode refletir análises de investimento, *payback* e *saving*.

**Palavras-chave:** Torno convencional. Centros de usinagem. Rolos de impressão. Custos industriais. *Payback*.

## ABSTRACT

GOULART, Mateus de Souza. **Viability and replacing of machining tools**. 2018. 47. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Federal Technology University - Paraná. Londrina, 2018.

In the present work, analyzes of the feasibility and replacement of machining machines were carried out. The study involved the determination of the significant variables for calculations of time and costs of machining. The total time of production, labor costs, machine tools and tooling costs were evaluated. From the creation of a program that allows the comparison between conventional machining machines and CNC machining centers, it is easy to visualize the data and analyze the feasibility of each equipment. A case study concerning machining in a packaging printing plant was used as an elucidation of the program created and may reflect investment, payback and saving analyzes.

**Keywords:** Conventional lathe. Machining centers. Printing rolls. Industrial costs. Payback.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma do programa CNC .....	20
Figura 2 – Intervalo de máxima eficiência .....	21
Figura 3 – Tempos de usinagem no Software Microsoft Excel .....	25
Figura 4 – Tela inicial dos custos de usinagem no Software Microsoft Excel .....	25
Figura 5 – Porte da empresa.....	27
Figura 6 – Profissões dos operadores de máquinas de usinagem .....	27
Figura 7 – Carga horária semanal de trabalho dos operadores.....	29
Figura 8 – Valores de aquisição de máquinas de usinagem.....	30
Figura 9 – Carga de trabalho das máquinas de usinagem .....	30
Figura 10 – Idade das máquinas de usinagem.....	31
Figura 11 – Vida prevista das máquinas de usinagem .....	32
Figura 12 – Espaço ocupado pelas máquinas de usinagem.....	33
Figura 13 – Localização da indústria nos estados brasileiros.....	34
Figura 14 – Processo de gravação no cobre .....	36
Figura 15 – Exemplo de rolos sleeve .....	37
Figura 16 – Sleeve em máquina.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma TCC .....	13
Tabela 2 – Custo médio da mão de obra de máquina de usinagem.....	26
Tabela 3 – Caracterização do porte da empresa.....	26
Tabela 4 – Custo médio inicial das máquinas de usinagem.....	29
Tabela 5 – Espaço ocupado pelas máquinas de usinagem.....	32
Tabela 6 – Custo do m <sup>2</sup> de Galpão Industrial (GI) por estado brasileiro.....	33
Tabela 7 – Quantidade de rolos sleeve por impressora Roto.....	39
Tabela 8 – Controle de operações de rolos sleeve.....	39
Tabela 9 – Tempo extrapolado anualmente para operações de usinagem.....	40
Tabela 10 – Custos de mão de obra.....	40
Tabela 11 – Custo do equipamento e manutenção atual.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS

CNC	Comando numérico computadorizado
TCC	Trabalho de conclusão de curso
$T_u$	Tempo total de usinagem
$T_i$	Tempo de setup por peça
$T_m$	Tempo de usinagem por peça
$T_i$	Tempo entre troca de ferramentas
$V_m$	Velocidade de corte
$D_m$	Diâmetro da peça
$n$	Rotação do eixo principal da máquina
$f$	Avanço da máquina
$l$	Comprimento da peça
$L_m$	Comprimento total da peça
$T_m$	Tempo de usinagem por peça
$C_t$	Custo total de produção
$C_m$	Custo de mão de obra
$C_{maq}$	Custo da máquina ferramenta
$C_f$	Custo ferramental
$S_h$	Salários dos operadores mais encargos
$T_t$	Tempo total de confecção da peça
$H$	Horas previstas de trabalho por ano
$V_{mi}$	Valor de aquisição da máquina ferramenta
$I_m$	Idade da máquina ferramenta
$M$	Vida prevista da máquina ferramenta
$J$	Taxa anual de juros
$K_m$	Custo de manutenção
$E_m$	Espaço ocupado pela máquina ferramenta
$K_e$	Custo do espaço industrial
$j$	Taxa anual de juros
$K_{ft}$	Custo de cada aresta de corte no inserto
$Z_t$	Número de peças usinadas pela vida da ferramenta
$V_{si}$	Custo de aquisição do porta ferramentas
$N_{fp}$	Vida média do porta ferramentas pelo número de trocas
$K_{pi}$	Custo de aquisição do inserto
$N_s$	Número de arestas de corte por inserto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
1.3 CRONOGRAMA .....	13
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO .....	14
2.2 ANÁLISE DE INVESTIMENTO .....	14
2.3 TEMPO DE RETORNO OU <i>PAYBACK</i> .....	14
2.4 ANÁLISE DE RISCO .....	14
2.5 RETORNO DE INVESTIMENTO .....	14
2.6 PROCESSOS DE MANUFATURA .....	14
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>23</b>
3.1 TEMPOS DE USINAGEM .....	24
3.2 CUSTOS TOTAIS DE USINAGEM .....	25
3.3 CUSTOS DE MÃO DE OBRA .....	24
3.4 CUSTOS DA MÁQUINA FERRAMENTA .....	24
3.5 CUSTOS FERRAMENTAIS .....	35
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>36</b>
4.1 CONTEXTO INDUSTRIAL .....	36
4.2 ANÁLISE DOS DADOS .....	38
4.3 ANÁLISE DE RETORNO E INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS .....	42
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescente desenvolvimento da sociedade e a busca pela manipulação dos materiais, a usinagem como processo de fabricação mecânica evidencia esse controle do ser humano sobre os bens naturais. A operação de usinagem é presenciada desde simples processos totalmente manuais e sem o refino de precisão até acabamentos altamente controlados como em máquinas de comando numérico computadorizado.

O torneamento, operação que possibilita a execução de peças cilíndricas em torno de um eixo fixo sob um movimento circular, como nos processos de usinagem com máquinas ferramentas, dá-se com a retirada gradual do cavaco da peça a ser desbastada. Nas peças onde faz necessário um acabamento elevado ou que apresentem geometria complexa, usualmente utiliza-se as máquinas de comando numérico computadorizado (CNC).

A utilização das máquinas CNC em processos de fabricação permitiu a elevação da produtividade e qualidade dos produtos, reduzindo a interferência dos operadores no controle da peça acabada. No entanto, deve-se avaliar a necessidade do investimento de uma máquina CNC para o processo a ser desenvolvido, pois no meio industrial, o retorno financeiro deve ser compensado; assim, precisam-se analisar os parâmetros de operação a fim de identificar o melhor equipamento para determinada operação de usinagem.

## 1.1 OBJETIVOS

O presente estudo visa o planejamento do processo de usinagem e a análise da viabilidade de máquinas tanto convencionais quanto as máquinas de comando numérico computadorizado, considerando materiais de diversas propriedades. O trabalho envolve análises de tempos de produção, *layout* adequado, custos industriais, visando identificar o melhor custo-benefício para o processo de usinagem relacionando à quantidade de etapas realizadas e os materiais utilizados.

Como complemento realiza-se um estudo de caso comumente empregado nas indústrias de impressão, onde constantemente faz-se necessário retificar e rebaixar rolos de borracha. Procura-se identificar o limiar entre as possibilidades de máquinas do mercado, e dessa maneira propor um (*payback*) relacionando parâmetros de máquinas, características dos materiais e a demanda necessária de peças.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

No ramo industrial nos deparamos com inúmeros equipamentos que possibilitam as operações de usinagem. Entretanto, devido as inúmeras variáveis de tamanho das companhias, produtos fabricados, quantidade de peças, suas necessidades modificam-se e o equipamento disponível usualmente não é o mais adequado. Na ideologia de indústria 4.0, as grandes companhias necessitam adaptar-se ao novo cenário fabril, onde surgem novas possibilidades de otimização e redução de desperdícios em todas as etapas da produção.

Na indústria 4.0, a viabilidade de aquisição dos equipamentos deve ser analisada e o trabalho desenvolvido tem como objetivo elucidar a comparação entre equipamentos, tanto tornos convencionais quanto máquinas de comando numérico computadorizado (CNC) e facilitar a visão global e escolha dos empreendedores que buscarem a escolha ideal para determinado ramo de negócio específico.

Para a análise completa avalia-se as variáveis do processo, parâmetros de máquina, custos totais, logística, capacidade da operação e nível de absorção das novas tecnologias, pois os processos convencionais dependem fortemente da habilidade do operador, criando uma forte dependência empresa-funcionário que certamente leva-se em conta na tomada de decisão para aquisição de novos equipamentos. Com os dados e as análises elaboradas, pode-se criar situações comparativas dos parâmetros com a máquina adequada para a situação, visando elucidar o melhor cenário para a indústria mantendo o nível de qualidade de fabricação, atendendo as necessidades, visando menores custos e consequente aumento dos lucros.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

Os sistemas de automação contribuem na rotina industrial e nas funções de negócio da empresa visando à limitação do controle manual das operações e das burocracias empregadas nas etapas do processo. As companhias utilizam projetos de automação da produção com auxílio de computadores, com o objetivo de elevar a produtividade, uma taxa de produção por hora efetivamente trabalhada alavancada; também buscam, como prioridade em qualquer sistema que visa o lucro, a redução do custo do produto produzido com a substituição da mão de obra humana pelo maquinário. Os sistemas de usinagem automatizados contribuem para as grandes empresas pois possibilitam a redução significativa de desperdícios, uma otimização da produção, interligados a uma possibilidade ampliada de tomada de decisão rápida (KOCH, 2014).

Entre diversas razões, justifica-se a automação pela redução do tempo de produção, ou seja, aumentam-se as vantagens competitivas das empresas, diminuindo os tempos de entrega dos produtos finais e estoque de materiais em processo. Consequentemente melhora a qualidade do produto com taxas mais altas de produção e uniformidade durante o processo. A ideologia do surgimento de novas possibilidades de otimização e redução de desperdícios em todas as etapas da produção enquadram-se nos ideais de indústria 4.0, onde todas as etapas da cadeia de produção estão conectadas e comunicam-se entre si.

### 2.2 ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Todo investimento realizado por uma determinada empresa visando benefícios futuros, requer uma análise profunda, pois no sistema capitalista toda e qualquer decisão necessita visar o lucro. Conforme SOUZA e CLEMENTE (2008), é de extrema importância a estimativa do retorno esperado e dos riscos associados a esse retorno antes da realização do próprio investimento. Para a análise de investimento em

tecnologia e automação, necessita-se considerar certos critérios, segundo CASAROTTO e KOPITTKKE (2008):

- Critérios financeiros: relacionado a disponibilidade de recursos da companhia;
- Critérios econômicos: análise dos riscos do investimento e da relação entre rentabilidade e retorno;
- Critérios imponderáveis: não relacionados diretamente ao capital, como segurança, logística, localização, qualidade, ergonomia e desenvolvimento.

As companhias necessitam avaliar através dos 3 critérios descritos anteriormente, se a substituição de equipamentos obsoletos de usinagem por máquinas atuais e tecnológicas, como comandos numéricos de usinagem, atenderá a disponibilidade de recursos da empresa, se os riscos serão mensuráveis e se fatores como segurança, logística e qualidade mantêm se em níveis consideráveis adequados pela empresa.

### 2.3 TEMPO DE RETORNO OU *PAYBACK*

O *payback* ou tempo de retorno corresponde ao intervalo necessário para que determina empresa consiga obter o retorno do valor investido, ou seja, o período necessário para que se tenha o lucro do investimento (SOUZA; CLEMENTE, 2001). Nessa lógica, a partir do instante que é realizado o investimento, até o momento no qual tenha-se o retorno de todo montante aplicado, esse intervalo denomina-se *payback* (KASSAI, 2000). Para equipamentos de usinagem, o investimento necessário é relativamente alto; assim, faz-se necessário um tempo maior de retorno do investimento, no entanto, como condição empregada pelas grandes companhias o *payback* não pode ser superior a 5 anos, caso contrário o investimento não retornará em tempo esperado e inicialmente na análise de decisão do projeto o mesmo será rejeitado.

No início de análise de qualquer projeto, segundo LEITE (1985) o primeiro cálculo a ser realizado é o *payback*, a partir desse as análises mais profundas são iniciadas. GROPELLI e NIKBAKHT (2010, p. 134), caracterizam *payback* como o número de anos necessários para recuperar um investimento inicial; assim, para o projeto ser selecionado o período de tempo de *payback* deve ser aceitável para a empresa. De acordo com GROPELLI e NIKBAKHT (1998), a empresa apenas

realizará o investimento caso o tempo de retorno seja propício, caso contrário o projeto não seguirá as próximas etapas.

Neste contexto, de acordo com LEITE (1985), caso existam alguns possíveis projetos, o escolhido deve ser o que apresentar um tempo de retorno menor comparado com os demais. Pelo lado do investidor quanto menor o *payback*, maiores são os riscos e conseqüentemente menores as possibilidades da realização do investimento (CALÔBA, 2002). Sobre o tema KASSAI ET AL (2000, p. 85) destaca que na comparação de projetos, aquele com menor *payback* representa um grau de risco menor. Para empresas onde o fluxo de caixa, entrada e saída, não forem constantes, saberá apenas o tempo exato do *payback* quando o valor investido se igualar ao lucro acumulado (SANTOS, 2001). As empresas necessitam de tempos de retornos pequenos para alcançarem a viabilidade do negócio, no mundo atual com mudanças e inovações frequentes não basta apenas não perder dinheiro, as companhias se importam com a possibilidade de não investir em negócios mais vantajosos e com retornos rápidos, com conseqüente possibilidade maior de lucro (SOUZA; CLEMENTE, 2001). GROPELLI e NIKBAKHT (2010, p. 135), continuam: O método do período de recuperação do investimento, não obstante sua simplicidade pode ser de valia mesmo para as maiores corporações multinacionais. Para tais empresas, eventos políticos – tais como a nacionalização de setores num país estrangeiro – são as principais fontes de risco. Em termos de possíveis eventos políticos, então, quanto menor o período de recuperação do investimento menor o risco do projeto.

Segundo GROPELLI e NIKBAKHT (1998), o *payback* é um método simplista, sem parte numérica complicada, podendo ser utilizado em qualquer projeto de empresas. Entretanto, existe desvantagens como a não distinção do valor da moeda no ato do investimento e no início da obtenção do lucro, além de após recuperado o valor investido, o mesmo não considera as futuras entradas de caixa (LEITE, 1985). Ainda LEITE (1985, p.335), afirma: “A grande vantagem do método *payback* é a sua simplicidade. Com efeito, é bem fácil compreender a lógica deste método e isto garante a ele uma considerável popularidade entre os administradores de vários níveis de organização.”

## 2.4 ANÁLISE DE RISCO

De acordo com GROPELLI e NIKBAKHT (1998), no momento no qual decide-se pelo investimento, as variáveis risco e retorno devem ser considerados na balança juntas; assim quanto maior a rentabilidade do investimento em contrapartida maiores serão os riscos nos quais a empresa está sujeita. Também sobre o tema SOUZA e CLEMENTE (2001, p.20), afirmam: “Então temos dois fatores atuando em sentidos opostos: os retornos esperados do investimento que atraem o investidor e o risco que o afasta. Não serão somente interessantes para os investidores, tipos de aplicação que apresentam altos índices de retorno, mas também aqueles que mostram uma taxa de retorno satisfatória, que valha a pena o investimento, e que por consequência apresentam um grau de risco baixo comparado ao que será obtido com ele. (SOUZA; CLEMENTE, 2001).

Segundo SOUZA e CLEMENTE (2001, p.20), quanto maiores as informações sobre o investimento, menores níveis de risco estarão sujeitos. Em situação hipotética ideal, caso fosse possível adiantar-se ao futuro e observar fatores internos e externos, a decisão do investimento seria basicamente sem riscos.

De acordo com LEITE (1985), quanto maior a busca pelo alto lucro via investidores, maiores serão os riscos pois caso alguma variável surja ou fuja do controle poderá comprometer o investimento realizado. Determinada pessoa física ou jurídica apenas correrá um alto risco caso o retorno esperado for altamente superior ao retorno esperado se o mesmo tivesse um risco baixo (ROSS; JAFFE; WESTERFIELD, 2002). Na escolha de investimentos, o projeto que apresentar a melhor relação risco e retorno deverá ser privilegiado (SOUZA; CLEMENTE, 2001) No caso de projetos com payback similares, a escolha deverá ocorrer para aquele que apresentar risco inferior, considerando-o como mais confiável (GROPELLI; NIKBAKHT, 1998).

A noção de risco é relativa, ou seja, depende do tipo de observação de risco para cada investidor, um alto risco para uma pessoa física ou jurídica pode não ser tão alto para outro investidor; assim, aplicações ditas como perigosas, podem não ser tão suscetíveis ao risco para outro grupo investidor (SOUZA; CLEMENTE, 2001).

Análises e estudos são realizados para a tomada de decisão e posterior investimento, entretanto apesar do estudo teórico riscos são inevitáveis. Os responsáveis pela tomada de decisão analisam as variáveis possíveis e os potenciais

riscos, apesar disso não há total garantia que o investimento e o projeto analisado renderá os frutos esperados (SOUZA; CLEMENTE, 2001). Segundo LAZARE (2014), os riscos que envolvem a escolha de um novo equipamento para a indústria, como fluxo de caixa e alto investimento, devem ser relacionados na balança favorável com os benefícios previstos de ganhos, como aumento de produtividade e redução da mão de obra fabril.

## 2.5 RETORNO DO INVESTIMENTO

No momento em que realiza-se um investimento espera-se que possa haver o retorno necessário para suprir as necessidades futuras e que ocorra a valorização da companhia (KESSAI et al, 2000). O investidor deposita capital para determinado investimento e conseqüentemente espera que o retorno ocorra inevitavelmente, esse retorno de investimento poderá ser maior ou menor dependendo do montante aplicado inicialmente no projeto (BROM, BALIAN; 2007).

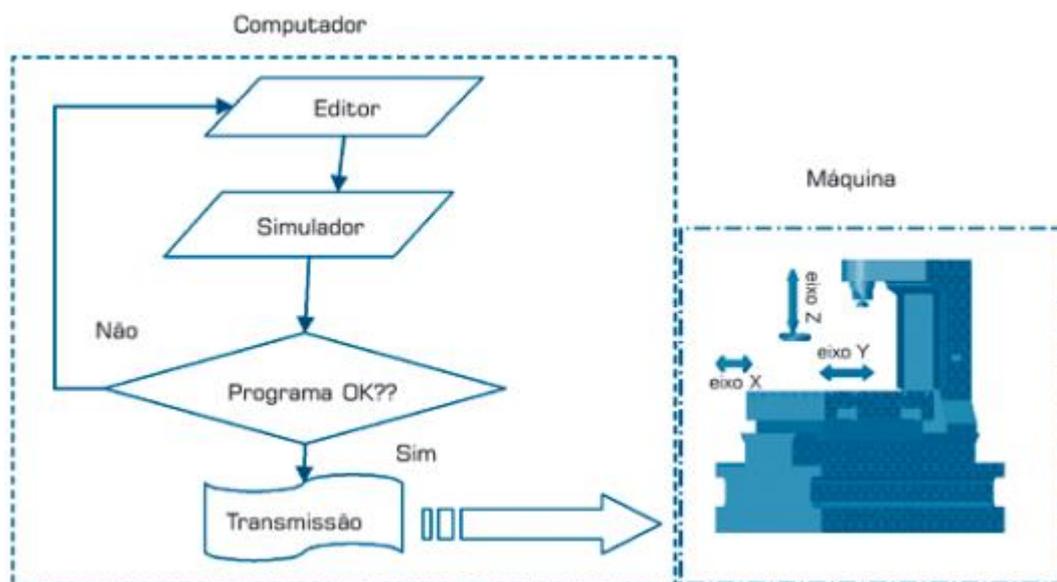
Kassai et al (2000), afirma que o retorno do investimento não necessariamente deve ser obtido nos primeiros momentos após a realização, o lucro poderá ser obtido após meses de estabilidade ou até mesmo momentos de prejuízo. O investimento não necessariamente é visualizado materialmente, há situações que empresas investem para obterem como retorno produtos com maior qualidade, atendimento preferencial e assim observa-se o lucro indiretamente. Ainda segundo Kassai et al (2000) a maneira mais fácil de se observar o retorno apresentado é pegar os lucros obtidos e subtrair o valor inicial aplicado na data zero.

## 2.6 PROCESSOS DE MANUFATURA

A fabricação de peças pode ser realizada pelos processos de fundição, conformação e soldagem, entretanto visando um acabamento superficial de qualidade e o alcance do dimensionamento desejável para determinada aplicação faz-se necessário a operação de usinagem. Segundo a norma DIN 8580, usinagem é a operação que confere à peça: forma, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através da remoção de material sob a forma de cavaco. Segundo STEMMER (1992) os processos de usinagem podem ser subdivididos em três categorias:

- Usinagem por abrasão: Processo de retificação, lapidação, brunimento, polimento, tamboreamento;
- Usinagem por corte: Processo de torneamento, fresamento, furação, rosqueamento, brochamento, alargamento, mandrilamento;
- Usinagem não convencional: Processo elétrico, térmico, químico, laser e hidrodinâmico.

A ferramenta de Comando Numérico Computadorizado está presente nos processos de fabricação secundários, aqueles considerados como responsáveis por remoção de material e dar formato as peças. Conforme MARCICANO (2002) o sistema CNC interpreta os dados de *input* gerando uma saída que controla os mecanismos da máquina, fazendo-a que realize a operação pré-estabelecida. Assim, o Comando Numérico recebe as informações de entrada, compila esses dados e transmite aos componentes que realmente executam a operação de usinagem, dessa forma, o CNC executa as operações na sequência pré-programada sem a necessidade de intervenção da operação durante a execução do processo, conforme a Figura 1.



**Figura 1 – Fluxograma do programa CNC**

**Fonte: COSTA e PEREIRA (2006)**

Diversas operações podem ser realizadas utilizando-se o torneamento, como: propriamente torneamento interno e externo, sangramento, faceamento e rosqueamento. De acordo com ROSA (2004), o torno realiza a operação de penetração além dos movimentos primordiais de corte e avanço da ferramenta, e esse movimento de penetração define a profundidade de corte, regulando a profundidade do passe e a espessura do cavaco.

Segundo STOETERAU (2007), visando definir a máquina de torneamento apropriada, avalia-se a geometria da peça a ser desbastada, a quantidade de peças, tempo de execução, grau de dificuldade das peças, qualidade superficial requerida, número total de operações envolvidas, ferramentas necessárias, mão de obra desprendida para a operação, custos diretos e indiretos e o retorno financeiro para a aquisição do equipamento.

Conforme elucidado no mercado existem inúmeros equipamentos disponíveis para aquisição capazes de realizar a operação de torneamento, tanto convencionais quanto de comando numérico computadorizado. Assim, para a análise da máquina apropriada para sua atividade, levam-se em conta diversas variáveis.

O custo de produção de um lote de peças necessariamente depende do tempo necessário para a fabricação do aglomerado de peças, e esse tempo depende da

capacidade de usinabilidade do material, dos tempos de preparação (*setup*), quantidade de peças, tempo efetivo de corte e tempos secundários, os quais se relacionam a ferramentas, mão-de-obra e equipamento para ajustes.

Avaliando-se os custos totais do processo, há a necessidade de identificar a velocidade econômica de corte, a qual é justificada especialmente para a fabricação de lotes médios e grandes. O objetivo é obter-se o rendimento máximo da usinagem, assegurando vida útil elevada para as ferramentas de corte e garantindo que a potência disponível em máquina seja utilizada efetivamente. Com esse controle consegue-se alcançar as maiores margens de lucro para a companhia em relação ao lote pré-determinado de peças.

Pode-se relacionar os custos de fabricação com a velocidade ótima para usinagem, conforme COPPINI (1999) “Define-se intervalo de máxima eficiência o intervalo compreendido entre as velocidades de mínimo custo e máxima produção”. A Figura 2 descreve o intervalo de máxima eficiência de operação.

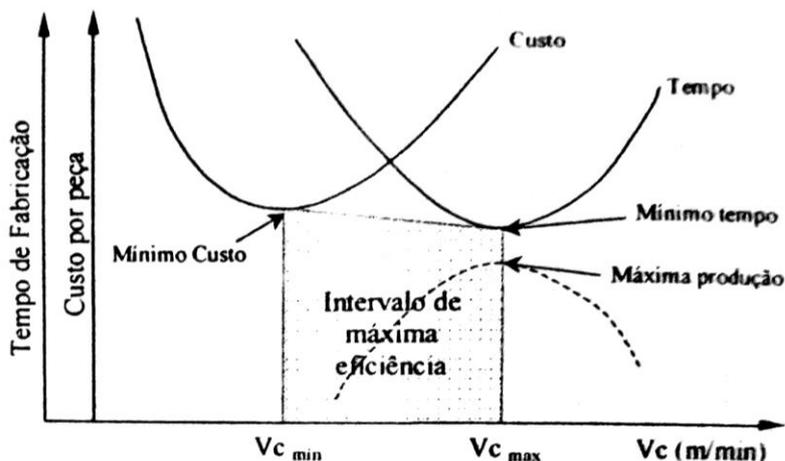


Figura 2 – Intervalo de máxima eficiência

Fonte: DINIZ (2003)

Para a avaliação do equipamento adequado para determinada empresa e suas necessidades específicas, deve-se avaliar os custos totais de fabricação, que englobam custos de mão de obra, máquina ferramenta e ferramentais, o tempo total de produção, da gama dos tornos convencionais ou das máquinas CNC. A metodologia empresarial da companhia é fundamental para a escolha do equipamento, pois a empresa pode priorizar produção ou qualidade das peças

fabricadas, visto que a qualidade torna-se um fator imensurável, pois relaciona-se aos produtos diretos e indiretos nos quais realiza-se a usinagem propriamente dita. Assim, as empresas devem relacionar todos os parâmetros envolvidos na operação de usinagem, e junto com a capacidade financeira da tal, analisar e decidir pelo melhor projeto, o qual apresentará um maior retorno para o investimento em menor tempo.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo será de natureza exploratória e descritiva, ou seja, inicialmente faz-se uma análise das diversas variáveis presentes no processo de usinagem tanto convencionais quanto por máquinas de comando numérico computadorizado, seguindo da comparação entre os fatores buscando um limiar da eficácia entre os equipamentos, relacionando-os com as variáveis do processo.

Retiram-se as equações que descrevem o comportamento da usinagem na literatura, já os dados operacionais e custos por meio de consulta em indústrias e fabricantes de equipamentos. Os resultados, por facilidade de visualização ao setor industrial, devem ser apresentados relacionando as variáveis propostas para cada tipo de equipamento, podendo ser elucidado os custos do processo e a alternativa viável para as necessidades das empresas, utilizando-se de situações industriais para representação da análise.

Como item adicional será desenvolvido um estudo de caso relacionando a usinagem de rolos de borracha para a indústria de impressão de embalagens flexíveis, onde constantemente esses rolos necessitam de processos de retífica e rebaixo. No caso específico, dados serão coletados referentes a média da quantidades de peça, *layout* disponível, tamanho dos lotes, quantidade de operações, variáveis do processo, custos diretos e indiretos, visando estimar a viabilidade do investimento em modernizar a fábrica com a automatização, e a possível rentabilidade que a empresa poderia usufruir.

Na construção do programa no *software* comercial Microsoft Excel analisam-se as variáveis para construção de um sistema que englobe os tempos e custos de fabricação de usinagem. Fundamentalmente há a divisão em 4 blocos de análise:

- Tempo total de produção;
- Custo de mão de obra;
- Custo da máquina ferramental; e
- Custo ferramental.

As expressões e análise de cada bloco serão apresentadas posteriormente, discriminando as particulares e as variáveis presentes nas equações apresentadas.

### 3.1 TEMPOS DE USINAGEM

Com o objetivo primordial do estudo de identificar a melhor opção para máquina de usinagem para determina necessidade industrial, faz-se necessário primeiramente calcular todos os custos abrangentes na operação de usinagem e o tempo total de usinagem para cada peça ou lote de materiais.

O tempo total de usinagem é apesentando na equação 1, onde  $T_u$  representa o tempo total de usinagem,  $T_l$  o tempo de setup por peça,  $T_m$  o tempo de usinagem por peça,  $T_t$  o tempo entre troca de ferramentas,  $T_o$  a vida útil das ferramentas, dado em minutos por cada afiação realizada:

$$T_u = T_l + T_m + \frac{T_t}{\frac{T_o}{T_m}} \quad (1)$$

Na Equação 2 pode-se encontrar a velocidade de corte  $V_m$  relacionando com o diâmetro da peça  $D_m$  para operações de torneamento e a rotação do eixo principal da máquina de usinagem  $n$ .

$$V_m = \frac{\pi * D_m * n}{1000} \quad (2)$$

Calcula-se o avanço da máquina  $f$  por meio da Equação 3, relacionando o comprimento da peça  $L_m$  e a rotação do eixo principal  $n$ .

$$f = \frac{L_m}{n} \quad (3)$$

Já o tempo de usinagem por peça pode ser obtido relacionando o comprimento total da peça  $L_m$  e o comprimento usinado por minuto  $l$ , por meio da Equação 4.

$$T_m = \frac{L_m}{l} \quad (4)$$

Apresenta-se o *layout* do programa criado no *software Microsoft Excel* na Figura 3.

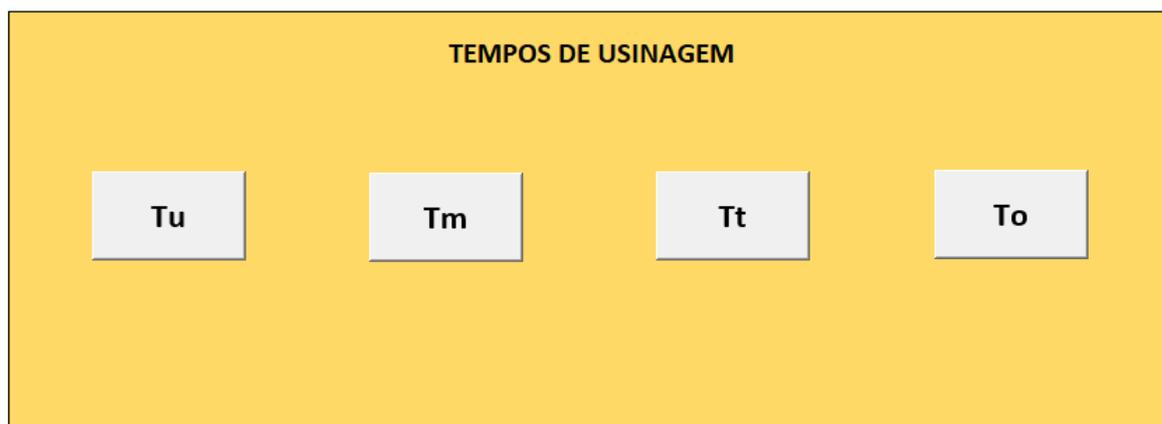


Figura 3 – Tempos de usinagem no *software Microsoft Excel*

### 3.2 CUSTOS TOTAIS DE USINAGEM

O custo total por produção  $C_t$  é a adição do custo de mão de obra (estão inclusos todos os honorários previsto na legislação trabalhista)  $C_m$  com o custo da máquina ferramenta  $C_{maq}$ , adicionado ao custo ferramental  $C_f$  (só a parte cortante, não estão inclusos acessórios como cones, madril, suportes ou cabeçotes, os custos desses itens estão diluídos no custo hora/máquina), conforme a equação 2:

$$C_t = C_m + C_{maq} + C_f \quad (2)$$

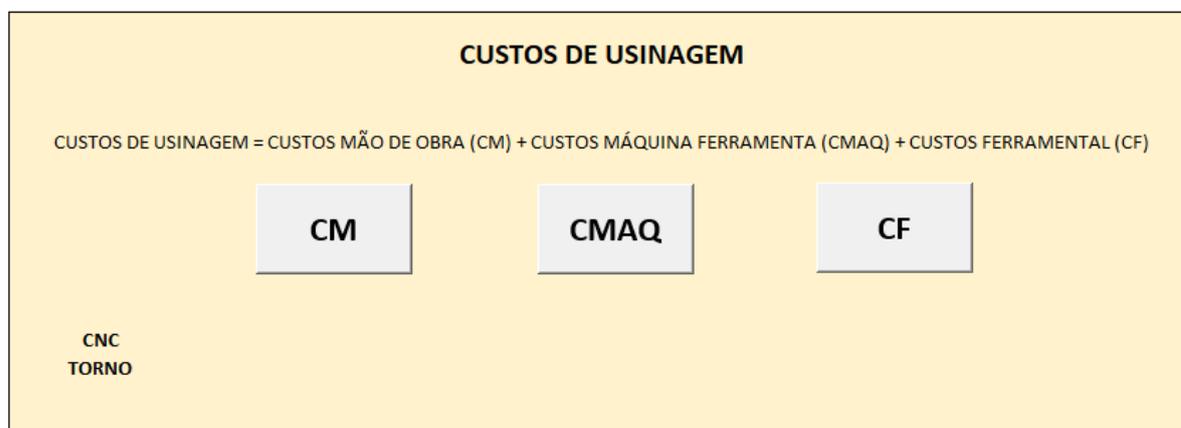


Figura 4 – Tela inicial dos custos de usinagem no *software Microsoft Excel*

### 3.3 CUSTOS DE MÃO DE OBRA

O custo de mão de obra relaciona o salário mais encargos destinados ao pagamento dos operadores ( $S_h$ ) e o tempo total de confecção da peça usinada conforme equação 3:

$$C_m = \frac{S_h}{\text{Horas Mensais}} \quad (3)$$

O salário dos operadores baseiam-se na média salário brasileira conforme o site nacional de empregos (SINE), onde relacionam-se para fins de custos para a empresa, o porte da companhia para média salarial e o tipo de trabalho executado pelo operador, para torno convencional ou máquinas CNC, conforme Tabela 2:

**Tabela 2 – Custo médio da mão de obra de máquinas de usinagem**

Máquinas de usinagem	TORNO CONVENCIONAL		CNC		
	Porte da Empresa	Salário operador (R\$)	Salário + encargos (R\$)	Salário operador (R\$)	Salário + encargos (R\$)
Pequena		1945	4084	2022	4246
Média		2334	4901	2426	5094
Grande		2801	5882	2911	6113

Conforme Tabela 2 percebe-se que os custos relativos ao salário do operador para a empresa representam entre 35% e 50% dos custos totais da empresa no quesito mão de obra, pois os encargos como INSS, PIS, seguros, férias, 13º salário acrescidos ao salário mensal representam um montante muito superior a companhia.

A caracterização do porte da empresa segue a Tabela 3, segunda os dados do SINE:

**Tabela 3 – Caracterização do porte de empresa**

Porte da Empresa	Pequena	Média	Grande
Receita Bruta Anual (R\$)	Até 10,5 mi	10,5 – 300 mi	+300 mi
Nº de funcionários	Até 499	500 - 999	+1000

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados a sequência para escolha do porte da empresa e o tipo de profissão do colaborador conforme sua aptidão, respectivamente.

Figura 5 – Porte da empresa

**PORTE DA EMPRESA**

Pequena                       Média                       Grande

<b>## Até MR\$ 10,5</b>	<b>## MR\$ 10,5 - MR\$ 300</b>	<b>## + MR\$ 300</b>
<b>## Até 499 funcionários</b>	<b>## 500 - 999 funcionários</b>	<b>## + 1000 funcionários</b>

PRÓXIMO

Figura 6 – Profissões dos operadores de máquinas de usinagem

**PROFISSÃO DO COLABORADOR**

OPERADOR TORNO                       OPERADOR CNC

PRÓXIMO

### 3.4 CUSTOS DA MÁQUINA FERRAMENTA

O custo da máquina ferramenta, tanto máquina de usinagem convencional quanto centro de usinagem CNC, é obtido por meio da Equação 4, onde  $S_m$  refere-se ao salário máquina e  $T_t$  ao tempo total de confecção da peça usinada.

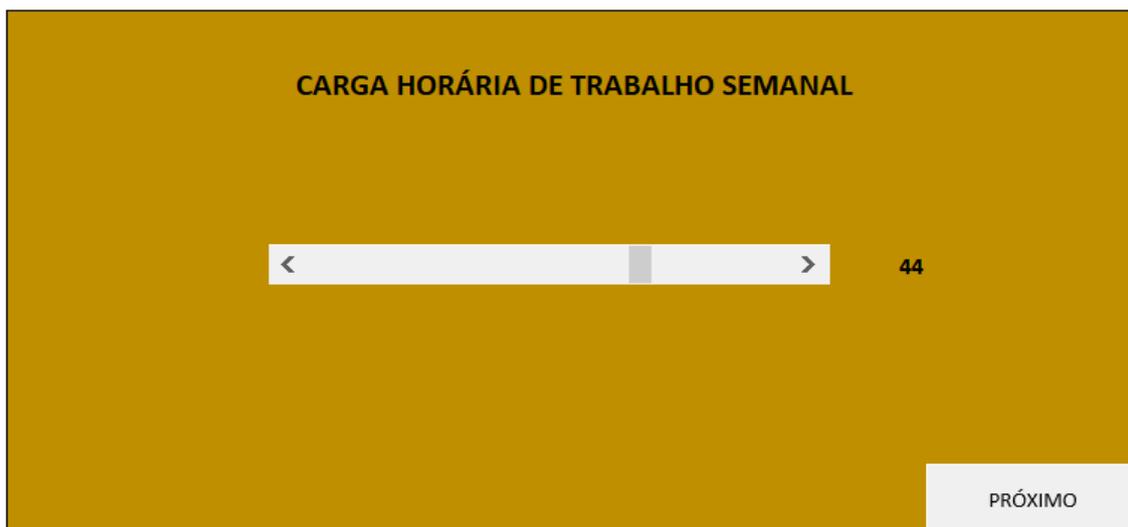
$$C_{maq} = S_m * \frac{T_t}{60} \quad (4)$$

Para o cálculo do salário máquina relacionam-se o número de horas previstas de trabalho por ano  $H$ , o valor inicial de aquisição da máquina ferramenta  $V_{mi}$ , a idade da máquina ferramenta  $I_m$ , a vida prevista da máquina ferramenta  $M$ , a taxa anual de juros  $J$ , o custo de manutenção  $K_m$ , o espaço ocupado pela máquina ferramenta  $E_m$ , o custo do m<sup>2</sup> ocupado pela máquina ferramenta, conforme Equação 5:

$$S_m = \frac{1}{H} * \left[ \left( V_{mi} - V_{mi} * \left( \frac{I_m}{M} \right) \right) * J + \frac{V_{mi}}{M} + K_m + E_m * K * J \right] \quad (5)$$

O número de horas trabalhadas por ano  $H$  depende da rotina empregada pela companhia, em algumas empresas são empregados regimes de 3 turnos na condição 6x1 ou seja, trabalha-se 24 horas diárias durante 6 dias por semana. Em outras ocasiões, empresas trabalham no turno comercial e meio período no sábado, totalizando 44 horas semanais de regime de trabalho. Assim, para cálculo de  $H$  médio calcula-se o regime médio semanal, multiplicado por 52 semanas, conforme Equação 6:

$$H = h_{semanal} * 52 \quad (6)$$



**Figura 7 – Carga horária semanal de trabalho dos operadores**

O valor inicial de aquisição da máquina ferramenta  $V_{mi}$  será correspondente ao porte da empresa e a quantia na qual a mesma está disposta a investir, ou seja, no banco de dados do programa inicial apresentará 3 opções para tornos convencionais e 3 opções para centros de usinagem CNC. As diversas máquinas apresentam valor de mercado diferente, com dimensões divergentes, capacidades produtivas e precisões distintas, incluídas no banco de dados do programa, conforme Tabela 4:

<b>Tabela 4 – Custo médio inicial de máquinas de usinagem</b>		
<b>Máquinas de Usinagem</b>	<b>TORNO (R\$)</b>	<b>CNC (R\$)</b>
Romi - Opção 1	R\$ 50.0000,00	R\$ 180.000.00
Romi - Opção 2	R\$ 80.000,00	R\$ 250.000,00
Romi - Opção 3	R\$ 150.000,00	R\$ 400.000,00

Em situações exclusivamente para validação do programa criado, recomenda-se que as opções de máquinas de usinagem sigam o porte da empresa, ou seja, para empresa de pequeno porte opte pela opção 1 e assim sucessivamente.

MÁQUINAS DE USINAGEM		
<input type="radio"/> TORNO 1	<input type="radio"/> TORNO 2	<input type="radio"/> TORNO 3
## R\$ 50.000,00	## R\$ 100.000,00	## R\$ 150.000,00
<input type="radio"/> CNC 1	<input type="radio"/> CNC 2	<input checked="" type="radio"/> CNC 3
## R\$ 180.000,00	## R\$ 250.000,00	## R\$ 400.000,00

PRÓXIMO

Figura 8 – Valores de aquisição de máquinas de usinagem

Para o trabalho da máquina de usinagem deve mensurar a quantidade de horas trabalhadas anualmente; dessa forma, a estimativa anual baseia-se na quantidade média de horas efetivamente na qual a máquina mantém-se trabalhando com a quantidade de dias na semana de trabalho. Assim, o regime de trabalho da máquina de usinagem depende fortemente do regime de trabalho dos operadores e a análise da viabilidade está ligada diretamente a tempo efetivo de trabalho da máquina correspondente para uma análise correta da substituição dos equipamentos.

CARGA HORÁRIA/MÁQUINA

HORAS MÁQUINA EFETIVAMENTE TRABALHANDO/DIA

< 8 >

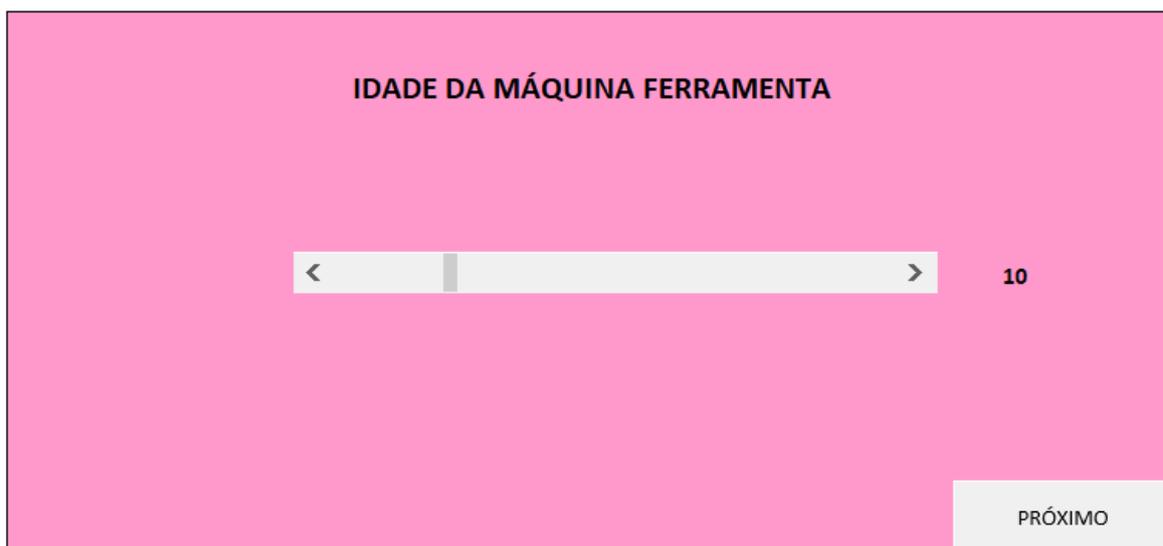
DIAS MÁQUINA EFETIVAMENTE TRABALHANDO/SEMANA

< 6 >

PRÓXIMO

Figura 9 – Carga de trabalho das máquinas de usinagem

Para a análise da máquina de usinagem mais adequada para o processo e a demanda requerida, precisa-se avaliar a idade da máquina ferramenta analisada  $I_m$  e o tempo de fabricação de uma máquina para substituição; dessa maneira, uma máquina recém-fabricada apresentará custos maior para aquisição, no entanto, apresentará uma vida útil teórica maior e possíveis custos de manutenção menores que uma máquina de usinagem com anos de utilização, conforme Figura 10.



IDADE DA MÁQUINA FERRAMENTA

< | > 10

PRÓXIMO

**Figura 10 – Idade das máquinas de usinagem**

A vida prevista da máquina ferramenta  $M$  interfere diretamente no valor inicial de aquisição do equipamento, e a mesma relaciona-se diretamente com o tipo de tornos convencionais ou centros de usinagem CNC. Assim, no banco de dados iniciais encontram-se 3 opções para cada tipo de equipamento, conforme os dados de catálogos de fabricantes, segundo Figura 11.

### VIDA PREVISTA

TORNO 1  
## 20 ANOS

TORNO 2  
## 30 ANOS

TORNO 3  
## 50 ANOS

CNC 1  
## 20 ANOS

CNC 2  
## 30 ANOS

CNC 3  
## 50 ANOS

**Figura 11 – Vida prevista das máquinas de usinagem**

A questão da produtividade e valor de mercado foram levados em conta para a análise dos custos referentes a máquina ferramenta; no entanto, existem mais fatores que precisam ser avaliados, como o espaço ocupado pela máquina ferramenta dado em m<sup>2</sup>, o custo desse espaço industrial  $K_e$ , e a taxa anual de juros  $j$ , a fim de verificar a viabilidade do negócio.

Nos catálogos de máquinas de usinagem nos fabricantes ROMI e BENER, estipulou-se valores médios para as dimensões de tornos convencionais e centros de usinagem, conforme características divergentes de máquinas.

Assim, segundo a Tabela 5, seguem 3 dados incluídos na biblioteca do programa criado para dimensões médias das máquinas ferramenta.

<b>Tabela 5 – Espaço ocupado pelas máquinas de usinagem</b>		
<b>Máquinas de Usinagem</b>	<b>TORNO AxB (m<sup>2</sup>)</b>	<b>CNC (m<sup>2</sup>)</b>
Opção 1	3,25x1,0 (3,25m <sup>2</sup> )	2,0x1,25 (2,5m <sup>2</sup> )
Opção 2	4,0x1,5 (6,0m <sup>2</sup> )	3,5x1,5 (5,25m <sup>2</sup> )
Opção 3	5,0x1,7 (8,5m <sup>2</sup> )	12,0x3,0 (36,0m <sup>2</sup> )



**Figura 12 – Espaço ocupado pelas máquinas de usinagem (m<sup>2</sup>)**

O custo do m<sup>2</sup> em área industrial depende fortemente da região do Brasil, na qual essa indústria possui sede. Portanto, de acordo com a Câmara Brasileira de Indústria de Construção (CBIC), no último levantamento realizado em Janeiro de 2018, apresenta-se o custo médio do m<sup>2</sup> por estado brasileiro em construções delimitadas por Galpão Industrial (GI) segundo a Tabela 6.

**Tabela 6 – Custo do m<sup>2</sup> de Galpão Industrial (GI) por estado brasileiro**

<b>Estado Brasileiro</b>	<b>Custo m<sup>2</sup> (R\$)</b>
Paraná (PR)	R\$ 781,38
Santa Catarina (SC)	R\$ 890,08
Rio de Janeiro (RJ)	R\$ 801,06
Minas Gerais (MG)	R\$ 642,50
Mato Grosso (MT)	R\$ 724,18
Bahia (BA)	R\$ 738,96
Pernambuco (PE)	R\$ 723,16
Distrito Federal (DF)	R\$ 674,77
Pará (PA)	R\$ 709,29
Amazonas (AM)	R\$ 706,52

The image shows a web interface with a dark brown background. At the top center, the text "ESTADO BRASILEIRO SEDE DA INDÚSTRIA" is displayed in white. Below this, there is a white input field containing the text "Paraná (PR)" and a small grey dropdown arrow on the right side. In the bottom right corner of the interface, there is a white button with the text "PRÓXIMO" in black.

**Figura 13 – Localização da indústria nos estados brasileiros**

O custo da manutenção  $K_m$  é uma variável que depende fortemente de diversos outros fatores, como atividade executada, programa de manutenção empregado pela empresa. Em média estipula-se que o  $K_m$  representa 4% do valor da máquina ferramenta, ou seja, o custo de manutenção representa 4% do valor de aquisição  $V_{mi}$ , conforme a idade do equipamento. A Equação 7 representa de forma comum para tornos convencionais e centros de usinagem CNC o valor do custo de manutenção por ano.

$$K_m = 0,05 * V_{mi} \quad (7)$$

A taxa anual de juros  $j$ , segundo o BANCO CENTRAL DO BRASIL, encontra-se no último levantamento realizado em 21 de Março de 2018 com valor de 6,65% ao ano. Esse valor será inserido no banco de dados, e conforme surgirem novos levantamentos, a taxa será atualizada no programa criado.

### 3.5 CUSTOS FERRAMENTAIS

Para o custo ferramental considera-se o custo de cada aresta de corte no inserto  $K_{ft}$  e o número de peças usinadas pela vida da ferramenta  $Z_t$ , conforme Equação 8.

$$C_f = \frac{K_{ft}}{Z_t} \quad (7)$$

Relaciona-se  $K_{ft}$ , conforme Equação 8, com o custo de aquisição do porta ferramenta  $V_{si}$ , a vida média do porta ferramentas por número de trocas  $N_{fp}$ , o custo de aquisição do inserto  $K_{pi}$  e o número de arestas de corte por inserto  $N_s$ .

$$K_{ft} = \left( \frac{V_{si}}{N_{fp}} \right) + \left( \frac{K_{pi}}{N_s} \right) \quad (8)$$

Como as ferramentas utilizadas, podem ser empregadas tanto em torno convencionais ou máquinas CNC, para a análise de viabilidade e retorno de investimento (ROI) essa variável será desconsiderada dos custos, pois impactaria em qualquer escolha de equipamento. Assim, considera-se que o custo  $C_f$  é equivalente para qualquer tipo de máquina de usinagem; sabe-se que existem diversos custos de ferramentas, mas a aquisição das mesmas não está intrinsecamente relacionada a escolha da máquina ferramenta.

## 4 ESTUDO DE CASO

### 4.1 CONTEXTO INDUSTRIAL

A indústria de embalagens desempenha papel fundamental nos dias atuais, além de proporcionar proteção ao ramos alimentícios, higiene pessoal, entre outros, apresenta um valor estético para o produto, o marketing agregado a embalagem, torna-se o diferencial frente aos concorrentes.

Os dois tipos mais comuns de impressão são: Rotogravura e Flexografia. Rotogravura é um processo de impressão que utiliza cilindros de cobre gravados em baixo relevo, o qual irá transferir diretamente a arte para o substrato. Este processo proporciona uma ótima definição da impressão, até por isso é um processo mais caro que a Flexografia.

A gravação em baixo relevo quer dizer que a arte é gravada primeiramente no cilindro por meio de micro pontos, furos feitos na camisa de cobre que irão armazenar a tinta a ser passada para o substrato, conforme a Figura 14.

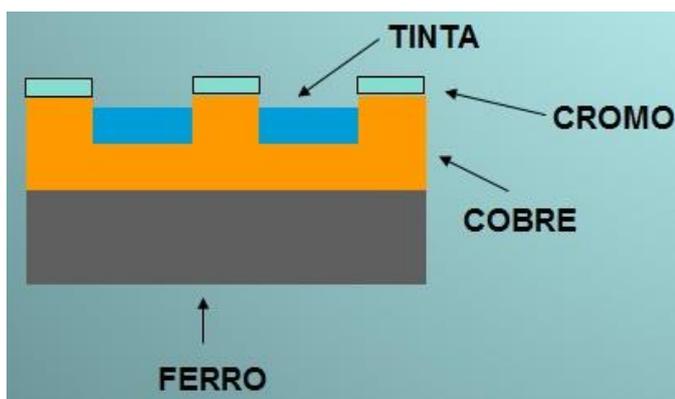


Figura 14 – Processo de gravação no cobre

Na impressão flexográfica, diferentemente da Rotogravura, a arte é gravada em um clichê intermediário, e esse em contato com as tintas, possui a função de transmitir a arte para o filme de produção.

Os filmes produzidos na coextrusão possuem diferentes funções agregadas, alguns produzem a função de proteção quanto a umidade, empregados em embalagens de biscoitos; outros apresentam 3 camadas de filmes, o filme para impressão, uma camada para barreira luz e outra para barreira oxidação, como exemplo destaca-se as embalagens para cafés. Assim, em filmes com mais de 1

camada, necessitam da etapa de laminação, onde a junção dos filmes é realizada por adesivo a base solvente.

Em comum as fases de impressão por Rotogravura ou Flexografia e laminação, temos os rolos de apoio de borracha, conhecidos na indústria de embalagens como rolos sleeve ou camisas, que possuem a função de apoio, contato com o cilindro ou clichê, e esse apoio proporciona o contato adequado da área de transferência com o filme, garantido a passagem de tinta ou adesivo. Conforme altera-se a pressão nos rolos sleeve, a aplicação de tinta ou adesivo é proporcional a essa pressão aplicada. Nas Figuras 14 e 15 são apresentados exemplos de sleeve e montagem do rolo em máquina respectivamente.



**Figura 15 – Exemplo de rolos sleeve**



**Figura 16 – Sleeve em máquina**

## 4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Considera-se uma empresa do ramo que apresenta 5 máquinas de impressão por rotogravura, 4 impressora de flexografia e 4 laminadoras. Sabe-se que cada coluna de impressão ou laminação necessita da utilização de um rolo sleeve; assim, um máquina roto com 10 colunas, cada qual representa um cor possível na arte, necessita de 10 sleeves.

Destaca-se também que conforme a largura de impressão, um sleeve deve ser utilizado, ou seja, em um produto com 1000mm de largura de impressão deve-se utilizar camisas entre 1000 e 1020mm e conseqüentemente para outras larguras de arte. Com a utilização desses rolos há um desgaste material devido ao contato com tintas, adesivo e a pressão de contato que acaba desgastando a borracha desse rolo. Dessa maneira, operações de usinagem são necessárias com frequência. Os rolos sleeves precisam ser rebaixados e retificados, para redução da largura e espessura da borracha.

As camisas são adquiridas do fornecedor com largura de 1320mm, espessura da borracha de 15mm e dureza entre 70 e 90 Shore. A largura é rebaixada conforme a necessidade da arte em máquina, a espessura da borracha passa por retíficas conforme o desgaste, até o limite especificado pelo fornecedor de 5mm, já a dureza do rolo é adquirida conforme a necessidade de máquina; no entanto destaca-se que com a utilização da camisa, a mesa tende a elevar sua dureza conforme o desgaste. Na Tabela 7 é demonstrado um exemplo da quantidade de sleeves por largura para uma determinada máquina impressora.

**Tabela 7 – Quantidade de rolos sleeve em uma impressora Roto**

Largura (mm)	Quantidade
620	8
780	5
860	8
890	1
920	9
960	8
1000	8
1040	8
1080	7
1120	9

Foram levantados os dados do setor de usinagem nos 6 primeiros meses de 2017, no período de tempo foram estratificados as operações de retífica e rebaixo de rolos sleeve das 5 Impressoras Rotogravura, 4 Impressoras Flexografia e 4 Laminadoras. A quantidade de operações realizadas e o tempo total são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Controle de operações de rolos sleeve**

Máquinas de usinagem	TORNO		RETÍFICA	
	Nº Operações (Rebaixo)	Tempo total (horas)	Nº Operações (Rebaixo)	Tempo total (horas)
	155	195,6	192	449,1

Tanto o torno quanto a retífica operam em regime 6x1, ou seja, de segunda à sábado em horário comercial, com rotina de trabalho de 8 horas diárias. Acrescenta-se na mão de obra um operador de usinagem que trabalha no período noturno, ou seja, com rotina de trabalho das 22 horas até 5:20 horas. Dessa forma, 3 operadores realizam operações de usinagem em rolos sleeve de borracha e em todas as outras necessidades da empresa de embalagem. Destaca-se que o operador que trabalha em horário noturno possui um acréscimo de salário de 22% em relação ao salário

base. Com os dados semestrais pode-se extrapolar para um média anual, para facilidade dos cálculos de viabilidade econômica conforme Tabela 9.

**Tabela 9 – Tempo extrapolado anualmente para operações de usinagem**

Máquinas de usinagem	TORNO			RETÍFICA		
	Nº Operações (Rebaixo)	Tempo total (horas)	Tempo total em dias de trabalho	Nº Operações (Rebaixo)	Tempo total (horas)	Tempo total em dias de trabalho
	310	390,4	49	384	898,2	113

Percebe-se que o tempo médio por operação de rebaixo, no torno convencional, gira em torno de 1 hora e 15 minutos, somados os tempos de *setup* e operação; enquanto que, na operação de retífica da borracha, a operação total possui um tempo médio de 2 horas e 20 minutos por rolo de borracha.

A metodologia do estudo de caso engloba a possibilidade de substituição das duas máquinas: torno convencional e retífica pelo torno CNC, além da redução da quantidade de operadores destinados a essas operações.

A empresa de embalagens possui um quadro de colaboradores superior a 1000 funcionários, como 2 máquinas operam simultaneamente. Portanto, consideram-se 3 operadores para atender a demanda atual de usinagem. Apresenta-se custo da mão de obra por hora trabalhada e o custo mensal na Tabela 10.

**Tabela 10 – Custos de mão de obra**

CM	Máquinas Convencionais				Máquina CNC			
	2 Operadores Horário comercial		1 Operador Horário Noturno		1 operador Horário Comercial		1 operador Horário Noturno	
	Custo hora	Custo mensal	Custo hora	Custo mensal	Custo hora	Custo mensal	Custo hora	Custo mensal
	R\$ 60,25	R\$ 11.724	R\$ 38,10	R\$ 7.319	R\$ 31,83	R\$ 6.113	R\$ 38,84	R\$ 7.457

Para os custos da máquina ferramenta, constata-se que a empresa já possui a retífica e o torno; assim, não há valor desprendido. No entanto, considera-se que um CNC novo que atenderia as necessidades da mesma, com pesquisa de mercado teria valor em torno de R\$ 400.000,00.

Em relação ao número de horas de máquina efetivamente trabalhando H, considera-se o máximo possível de tempo, ou seja, 275 dias de trabalho anuais com 8 horas diárias para a máquina 1 e 15:20 para a máquina 2. Assim, as 2 máquinas

convencionais somadas representam 6380 horas de trabalho e a máquina CNC 2200 horas anuais.

A máquina 1 possui 19 anos de uso, enquanto que a máquina 2 apresenta 13 anos de operação. Para ambos os equipamentos, estima-se a vida útil prevista de 30 anos. Comparando os custos de manutenção para os equipamentos, pode-se estimar via hábitos empíricos que os valores do equipamento e da manutenção anual para o torno, retífica e centro de usinagem seguem a Tabela 11.

**Tabela 11 – Custo do equipamento e manutenção anual**

<b>Máquinas de usinagem</b>	<b>TORNO CONVENCIONAL</b>	<b>RETÍFICA CONVENCIONAL</b>	<b>CNC</b>
Valor equipamento	R\$ 20.000	R\$ 30.000	R\$ 400.000
Custo manutenção anual	R\$ 800,00	R\$ 1200,00	R\$ 8.000

Ressalta-se que o custo de R\$ 8.000,00 de manutenção anual para o centro de usinagem CNC não segue o padrão habitual de 4% do valor do equipamento, pois considera-se para centro de usinagens novos um valor de 2% do equipamento, pois o montante devido ao alto custo do equipamento torna-se suficiente para todas as trocas e manutenções anuais da máquina de usinagem.

Os fabricantes de máquinas de usinagem e devido a dados empíricos, há a estimativa que esses equipamentos apresentem vida útil média de ao menos 30 anos; assim, para a análise considera-se a vida útil coincidente para todos os equipamentos. Também há a análise do espaço ocupado, atualmente a empresa com a retífica e o torno adicionados possui uma área destinada aos equipamentos de 26 m<sup>2</sup>, fazendo a substituição gradual, em primeiro momento de 1 dos equipamentos para uma máquina CNC, a área se tornaria 35 m<sup>2</sup>. Assim, como o espaço alocado suporta essa diferença mínima, a questão de local físico para implementação da substituição não tornar-se-ia um problema para a companhia.

Como destacado a empresa situa-se em Londrina, assim tanto para cálculos trabalhistas, espaço físico ou rentabilidade, faz-se a análise baseados no banco de dados incluso no programa Excel referente ao estado do Paraná.

### 4.3 ANÁLISE DE RETORNO E INVESTIMENTO NECESSÁRIOS

Na análise abordada para substituição das máquinas convencionais para centros de usinagem CNC, inclui-se na análise que a empresa do ramo de embalagens já apresenta duas máquinas convencionais; assim, não trata-se de uma análise do equipamento adequado para as operações, mas sim a viabilidade da substituição desses equipamentos.

Na comparação sabe-se que atualmente a empresa destina 49 dias de trabalho exclusivo para rolos sleeve na retífica num total médio de 275 dias, considerando as férias dos operadores e paradas para manutenção, representando 17,8% de carga máquina para essa operação; enquanto que destina-se 113 dias de trabalho no torno, sabe-se que para o torno há um operador noturno também, correspondendo a 21,7% de carga máquina.

Segundo CORAZZA (2016) pode-se considerar uma média de tempo de *setup* para máquinas CNC com operações pré-programadas de 0,11 hora, ou seja, um *setup* médio de 6 minutos e 30 segundos aproximadamente. Nas condições atuais da companhia de embalagens foi observado que para esse tipo de operação na retífica o tempo médio é de 0,33 horas ou 20 minutos enquanto que no torno de 0,42 horas ou 25 minutos. Ressalta-se que o tempo elevado da diferença entre equipamentos, pois em máquinas convencionais o posicionamento do rebole e o paralelismo do rolo demandam uma grande quantidade de tempo.

Conforme apresentado na Equação 1 o tempo total de usinagem ( $T_u$ ) é a soma do tempo efetivo de usinagem ( $T_m$ ), o tempo de *setup* por peça ( $T_i$ ) e a correlação do tempo de troca de ferramentas ( $T_t$ ) por sua vida útil ( $T_o$ ) com o tempo de usinagem ( $T_m$ ).

Como foi abordado na análise considera-se que a relação das trocas ferramentais com a vida útil torna-se similarmente equivalente em efeitos de tempo e custos de usinagem. Assim, a abordagem dará apenas com  $T_i$  e  $T_m$ . O tempo efetivo de usinagem conforme equações 2, 3 e 4 está totalmente relacionado a rotação do eixo principal da máquina. A rotação empregada para o torno e retífica foi verificada e encontra-se entre 200 e 300 rotações por minuto (rpm), enquanto que a média dos centros de usinagem operam entre 600 e 4000 rpm. Portanto para a análise considera-se um média para equipamentos convencionais de 300 rpm e CNC de 2000 rpm.

A análise da redução de tempo será abordada para rolos sleeve considerando a redução de  $T_I$  e  $T_m$ ; enquanto que, para outras peças avalia-se apenas a redução do tempo de *setup*. Conforme histórico dos 6 meses de 2017 a empresa do setor de embalagens realizou 2442 operações dentre elas 694 relacionam-se a rolos sleeve.

Na análise considera-se apenas a substituição de um equipamento de usinagem convencional por uma máquina CNC. A soma da disposição para operações envolvendo sleeves torna-se 1228,6 horas de um total disponível de 6380 horas. A redução média do tempo de *setup* é de 13,5 minutos por operação, como há 694 operações, tem-se 156,2 horas. Acrescenta-se uma redução média de 80% do tempo efetivo de usinagem, de 997,3 horas para 199,5 horas. Dessa forma, as operações de usinagem de sleeves efetuadas em torno CNC representariam 365,7 horas.

A redução em tempo total foi de 1228,6 horas para 365,7 horas, em um total disponível de 4180 horas, 275 dias, para um centro de usinagem CNC operando em horário comercial e horário noturno.

Segue-se com a análise do tempo de redução do tempo de *setup*, como as 1748 operações que não estão relacionadas a rolos sleeve, pode-se avaliar que a média do tempo de operação está avaliada em 2,94 horas. Nesse tempo total está incluso o tempo para *setup*, conforme os dados da companhia, o *setup* médio para essas operações corresponde a um tempo de 40 minutos. Assim, mantendo-se a proporção empírica de redução de *setup* empregada em rolos sleeve de 67% tem-se que atualmente as 1748 operações representam 1165,3 horas e as mesmas tornar-se-iam 384,55 horas.

Pode-se perceber que somados 365,7 horas de operações envolvendo sleeves acrescidos de 364,55 horas de *setup* para outras peças; e mantendo-se 3973 horas para as operações ter-se-ia um total de 4703,25 horas de carga máquina necessárias, enquanto que um substituindo-se por 2 operadores em horário comercial não atenderiam a demanda necessária, pois junto possuem uma possibilidade de 4400 horas. Assim, para a viabilidade da substituição far-se-ia necessário um análise conjunto de redução de tempo para outras peças utilizando equipamento CNC.

Quanto a viabilidade financeira, atualmente a empresa possui um custo fixo anual quanto a salário de operadores de R\$ 229.000,00 acrescidos de impostos para 3 funcionários, enquanto que com a possível substituição tornar-se-ia R\$ 163.000,00. Anualmente o retorno via custos de mão de obra seria de R\$ 66.000,00. No entanto, deve-se quantificar a divergência dos custos de manutenção, há uma redução de R\$

6.000,00 anuais. Assim, tem-se que um *saving* anual de R\$ 60.000,00. Com essa redução o investimento no equipamento CNC pagar-se-ia em 6,67 anos, destaca-se que habitualmente em projetos de alto investimento, espera-se que o retorno ocorra em um tempo máximo de 5 anos.

No entanto, existe a parte imensurável que deve ser analisada, a qualidade superficial que o equipamento CNC pode trazer para as peças usinadas e os impactos que podem ser amenizados com possíveis imperfeições em rolos sleeves ou outras peças, que podem resultar em possíveis paradas de máquina ou imperfeições no produto final gerado.

## 5 CONCLUSÃO

O estudo permitiu a elaboração de um programa no software Excel que valida a melhor opção para equipamentos de usinagem entre máquinas convencionais e centros de usinagem CNC. O programa criado inicialmente apresenta um campo de dados limitado, conforme a sua utilização e validação faz-se necessário um aperfeiçoamento e ampliação a fim de atingir uma gama maior de operações de usinagem.

O estudo de caso envolvendo a empresa do ramo de embalagens não se apresentou viável financeiramente, abordando um retorno esperado para grandes projetos de até 5 anos; entretanto, os possíveis ganhos com qualidade dos rolos que poderiam reduzir tempos de paradas de máquinas e perdas no processo não são mensuráveis nessa análise, mas agregariam de muito valor e inovação tecnológica, quando se trabalha com peças de fluxo de produção. No caso do estudo de caso tratam-se de peças de reposição

Assim, a abordagem faz-se de grande valia para o setor industrial, principalmente quando se trata altos volumes de produção, pois programas diretos de viabilidade não são comercialmente conhecidos; no entanto, é necessária uma ampliação da gama do banco de dados e implementação de novos comandos visando a minuciosa exatidão da análise.

## REFERÊNCIAS

DINIZ, Anselmo Eduardo et al. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 3.ed. São Paulo: Artilber, 2003.

MARCICANO, João Paulo P. **Introdução ao comando numérico**. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.dsc.inf.furb.br>>. Acesso em: 20 out. 2017.

ROSA, L. C. **Torno e o processo de torneamento**. Material didático do curso de Engenharia de Controle e Automação. Universidade Estadual Paulista. Sorocaba. 2004.

STEMMER, G. Erich. **Ferramentas de Corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscas, fresas, brochas, rebolos e abrasivos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992.

STOETERAU, R. **Processos de usinagem**. Trabalho de Graduação. Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

TANAKA, Marcelo Costa. **Avaliação de um Dispositivo utilizado em Máquina de Medir por Coordenadas**. Monografia, UFRN, Departamento de Engenharia Mecânica, Programa de Recursos Humanos – PRH 14/ANP. Áreas de Concentração: Engenharia de Petróleo, Natal/RN, Brasil, 2009.

CASAROTTO Filho, Nelson; KOPITCKE Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 10 ed. São Paulo; Atlas,2008.

ALCEU, Souza, Ademir Clemente. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos**. 6 ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

KASSAI, Roberto et. al. **Retorno de Investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SOUZA, Alceu e CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SANTOS, Edno Oliveira dos. **Administração financeira da pequena e média empresa**. São Paulo: Atlas, 2001.

ROSS, Stephen; WESTERFIELS, Raandolph W. e JAFFE, Jeffrey F. **Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

CORAZZA, Emerson José. **Otimização do tempo de setup no setor de usinagem, em uma empresa de processamento de alumínio de Joinville/ SC - Brasil**. XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção. João Pessoa, 2006.

LAZARE, Everton. **Análise de viabilidade econômica de um novo equipamento: um estudo de caso para indústria moveleira**. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Especialização em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

KOCH, V. et al. **Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industry internet**. PWC. 2014.

COSTA, Dalberto Dias e Pereira, Athos Gleber. **Desenvolvimento e avaliação de uma tecnologia de baixo custo para programação CNC em pequenas empresas**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

<<https://www.sine.com.br/saláriooperadores>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

<[https:// http://www.bener.com.br/img/produtos/cat-geral-veker.pdf](https://http://www.bener.com.br/img/produtos/cat-geral-veker.pdf)>. Acesso em: 08 jan. 2018.

<<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp>>. Acesso em: 08 jan. 2018.

<<http://www.cub.org.br/cub-m2-estadual/>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

<[http://www.romi.com/wpcontent/uploads/2016/05/jornal\\_mf\\_po\\_8ed\\_042016\\_baixa.pdf](http://www.romi.com/wpcontent/uploads/2016/05/jornal_mf_po_8ed_042016_baixa.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2018.

<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_226\\_316\\_29631.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_226_316_29631.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2018.