

**CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINASUNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**HIGOR ALESSI SANTOS GUIMARÃES**

N. CLASS.....
GUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE USINAGEM CONVENCIONAL PARA  
USINAGEM CNC (CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO)**

**Varginha**

**2013**

**HIGOR ALESSI SANTOS GUIMARÃES**

**EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE USINAGEM CONVENCIONAL PARA  
USINAGEM CNC (CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO)**

Monografia apresentada ao curso Engenharia Mecânica  
do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG  
como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel  
sob orientação do Prof. Esp. Erik Vitor da Silva.

**Varginha**

**2013**

**HIGOR ALESSI SANTOS GUIMARÃES**

**EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE USINAGEM CONVENCIONAL PARA  
USINAGEM CNC (COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO)**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca examinadora compostas pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Prof. Esp. Erik Vitor da Silva

---

Prof. Me. João Mário Mendes de Freitas

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e competência para fazê-lo. Depois, dedico à minha família, e a todos que de alguma forma contribuiu para a conclusão desse período.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família e amigos, por todo o apoio durante este período. Agradeço ao meu orientador e aos professores, que se empenharam ao máximo para transmitir todo o conhecimento possível para a minha formação. E agradeço aos amigos de trabalho que contribuíram de forma significativa para aquisição de conhecimentos e conclusão desse trabalho.

“Acredite, corra atrás, a única coisa que existe entre você e seu sonho, é seu medo”

Autor desconhecido

## RESUMO

Esse estudo visa destacar a importância e a viabilidade de modernização do setor de usinagem dentro da indústria Metalúrgica, bem como mostrar as melhorias de desempenho dos processos produtivos e na qualidade dos produtos obtidos. O objetivo principal do trabalho é ressaltar a importância de equipar e modernizar o setor com tecnologia de ponta, tanto com máquinas como com softwares. Para que haja a total satisfação da empresa no que se diz respeito a atividades de maior complexidade e qualidades de acabamento do produto final, aliado a isso seria notado uma melhoria significativa no processo produtivo e uma diminuição de custos com manutenção e paradas não programadas. Para tanto se adotou uma pesquisa através do estudo de caso, e abordou o problema de forma quantitativa e qualitativa, por meio de um modelo proposto, percebeu a necessidade de aquisição de maquinário com novas matrizes tecnológicas, as quais se da um resultado muito mais satisfatório no processo produtivo.

**Palavras-chave:** Viabilidade. Usinagem. Processos Produtivos. Tecnologias de ponta.

## **ABSTRACT**

*This study aims to highlight the importance and feasibility of modernizing the machining industry Metallurgical industry insiders as well as show the performance improvements of production processes and the quality of the products obtained . The main objective of this paper is to emphasize the importance of equipping and modernizing the industry with cutting edge technology , both as machines with software so there is the complete satisfaction of the company as it relates to activities of greater complexity and quality finishing product final allied to it would be noticed a significant improvement in the production process and a reduction in maintenance costs and unscheduled downtime . For that we took a look through the case study , and approached the problem quantitatively and qualitatively, through a proposed model , realized the need for acquisition of machinery with new technology matrices , which are the result of much more satisfactory in the production process.*

**Keyword:***Viability. Machining. Production Processes. Technologies.*

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -Plaina Neolítica .....	19
Figura 2 -Torno de Maudslay .....	20
Figura 3 -Torno CNC .....	22
Figura 4-Centro de usinagem .....	24
Figura 5-Foto da planta industrial de Três Corações – MG .....	32
Figura 6 -Centro de usinagem - FIDIA D 165 S .....	34
Figura 7 -Projeto de Produto Bruto e Molde.....	35
Figura 8 -Projeto 3D do Molde (Macho) .....	35
Figura 9 - Imagem Simulação de Solidificação – Procast .....	36
Figura 10 -Imagem de troca de Calor – Procast.....	36
Figura 11 -Imagem de análise de porosidades – ShrinkagePorosity - Procast .....	37
Figura 12 -Simulação de Usinagem – NX 7.5 .....	37
Figura 13 -Análise de Simulação de Usinagem – Verificação de Colisão – NX 7.5.....	38
Figura 14 -Verificação Tridimensional da peça Usinada.....	38
Figura 15 - Torno CNC CTX 620 linear - DMG .....	39

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA .....</b>	<b>15</b>
<b>3 USINAGEM.....</b>	<b>17</b>
<b>4 EVOLUÇÃO DAS MÁQUINAS OPERATRIZES.....</b>	<b>19</b>
4.1 Histórico.....	19
4.2 Máquinas CNC.....	21
4.2.1 Torno CNC.....	22
4.2.2 Centros de Usinagem .....	23
<b>5 AS FERRAMENTAS DE USINAGEM .....</b>	<b>26</b>
5.1 Substrato da Ferramenta.....	27
5.1.1 Revestimento ou Cobertura das Ferramentas.....	28
5.1.2 Processo de Deposição dos Revestimentos das Ferramentas.....	28
<b>6 METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
<b>7 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>31</b>
7.1 Histórico.....	31
7.2 Setor de ferramentaria e projetos de moldes .....	32
7.2.1 Estudos e Projetos de moldes.....	34
7.2.2 Análise de Solidificação.....	35
7.2.3 Geração de Programas de Usinagem.....	37
7.2.4 Sistema de Qualidade na Fabricação de Molde .....	38
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Quando se fala em tecnologia, estamos falando do cotidiano em geral das pessoas atualmente. E nas indústrias não é diferente, ela está presente em todos os setores, fazendo com que as empresas e seus colaboradores se habituem a realidade tecnológica através da aquisição de novas máquinas, aquisições de novos softwares compatíveis com as atividades a serem exercidas, aprimoramento técnico. Vale ressaltar que a empresa não deve unicamente pensar em economia e redução de custos, acreditando que só assim se manterá viva no mercado.

Nota-se que o investimento em novas tecnologias pode proporcionar a empresa um aumento considerável em seu nível de competitividade perante a concorrência, além de abrir novos mercados fazendo que aumente sua participação no mercado, dando assim uma maior visibilidade e uma condição mais confortável para seus acionistas. Mas para isso as empresas precisam ter uma visão mais inteligente e empreendedora de seus negócios, sem focar apenas no lucro da operação, devendo direcionar também para novos investimentos e novas tecnologias, modernizando suas áreas fabris, tornando-as maior competitivas no mercado de atuação.

Todavia, para alcançar bons resultados no processo de usinagem, é necessário se embasar em pesquisas e conhecimentos, planejar a estratégia a ser seguida e selecionar as variáveis escolhendo o foco da melhoria.

Pode-se notar que nas últimas décadas houve uma grande e constante evolução tecnológica na área metal mecânica, mais precisamente, na usinagem. Grandes transformações ocorreram desde as antigas máquinas operatrizes, comandadas tão somente pelo operador, até a introdução de máquinas modernas com comando eletrônico, capazes de executar trabalhos complexos, os quais, manualmente, seriam impossíveis de se realizar.

A maior parte dos produtos industrializados, em alguma etapa da produção, sofre algum processo de usinagem. Dentre os mais conhecidos se destacam o de torneamento, fresamento, erosão por penetração e erosão por fio dentre outros. Como as máquinas, as ferramentas de corte também evoluíram muito. A procura por uma ferramenta ideal para cada tipo de material a ser usinado dentro das novas condições de trabalho fez com que as empresas fabricantes começassem a investir em laboratórios de pesquisas para criar ferramentas capazes de resistir a qualquer tipo de usinagem em qualquer material.

Ainda se tratando de ferramentas de corte outro ponto que devemos levar em consideração em relação ao seu melhor desempenho, é o sistema de refrigeração, que pode ser por fluido de corte, ar ou MQL.

A evolução tecnológica na usinagem se dá de tal forma, que as empresas precisam obrigatoriamente acompanhar tal evolução, a fim de que possam manter-se competitivas no mercado de atuação. Portanto, através da aquisição de máquinas e ferramentas modernas, a empresa ganha visibilidade no mercado, garantindo uma posição de competitividade perante a concorrência.

Diante deste contexto de competitividade, grandes mudanças e uma disponibilidade cada vez maior de tecnologia, surge o seguinte questionamento: Quais os benefícios que os investimentos em tecnologia trazem para as empresas?

Com o intuito de resolver esta situação-problema, o objetivo principal desse trabalho é demonstrar a importância de modernizar o setor de usinagem de uma empresa do ramo Metal Mecânico.

Para alcançar o objetivo proposto, foram delineados também alguns objetivos específicos:

- descrever os principais processos de usinagem da empresa;
- apresentar os principais equipamentos e sua matriz tecnológica;
- caracterizar a performance da área com os equipamentos atuais;
- propor um estudo de viabilidade de substituição de equipamentos;
- demonstrar os ganhos de performance com a aquisição de equipamentos mais modernos.

## 2 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

A evolução da tecnologia está acontecendo a todo o momento. Todos os anos são lançados novos produtos, máquinas com tecnologia avançada inserida, buscando sempre uma diferenciação no mercado de atuação.

Segundo Arruda (1988), a revolução industrial consistiu em um conjunto de mudanças tecnológicas as quais impactaram profundamente nos processos produtivos em nível econômico e social. As novas tecnologias surgiram na década de 70, numa época marcada por uma crise econômica, que fez com que as empresas fossem obrigadas a deixar de produzir grandes lotes de produtos padronizados, produzindo lotes menores de produtos diversificados para atender demandas específicas. A partir de então, surgiram novos conceitos de produção, novas necessidades de integração, que permitiram saltos de produtividade de forma que as indústrias pudessem atender ao mercado pouco previsível e com alta instabilidade.

Conforme Sábado e Makenzie (1981), a tecnologia não é uma máquina, ou um diagrama, ou uma receita, ou um programa de computador, ou uma fórmula, ou uma patente, ou um desenho. É muito mais do que isso. Incorporada como uma fábrica completa, desmembrada como um grupo de projetos (ou em uma combinação conveniente dos dois tipos), a tecnologia é um pacote de conhecimentos organizados de diferentes tipos (científico, empírico, etc.) provenientes de várias fontes (descobertas científicas, outras tecnologias, patentes, livros, manuais, etc.) através de diferentes métodos (pesquisa, desenvolvimento, adaptação, reprodução, espionagem, especialistas, etc.).

Para introduzir um novo produto ou processo, a empresa precisa, frequentemente, obter conhecimento de fontes variadas e diferentes: dos clientes, dos fornecedores, das universidades, laboratórios públicos, competidores, licenciadores e assim por diante. Todo esse conhecimento deve ser utilizado, modificado ou sintetizado de tal forma que preencha os requerimentos específicos desta firma. A tecnologia é adquirida através de constantes estudos de pesquisas em diversos tipos de fontes, buscando atender novas exigências do mercado. A obtenção de conhecimento do todo é de suma importância para uma evolução tecnológica.

Segundo Longo (1984), a tecnologia é criada em fábricas. A sua criação e plena utilização são conseguidos, normalmente, através de um sistemático encadeamento de atividades de pesquisa, desenvolvimento experimental e engenharia.

As novas tecnologias saem de dentro das empresas através das pesquisas, experimentos teóricos e práticos. À medida que surge necessidade de obtenção de novos

recursos para uma melhor eficiência produtiva, as pessoas dentro da própria empresa iniciam uma busca profunda de novos recursos tecnológicos para se garantirem no mercado.

Para Fialho (2007), a tecnologia nas empresas é bastante ligada ao lado empreendedor dos responsáveis desta. O termo empreendedorismo não está relacionado somente à criação de nova empresa, mas, também, inserido dentro de uma organização, recebendo o nome de intra-empendedor. Os empreendedores têm a capacidade de perceber as necessidades de seus clientes em curtíssimo prazo, para ampliar suas oportunidades de negócio.

Os intra-empendedores são aqueles que assumem a responsabilidade pela criação de inovações de qualquer espécie dentro de uma organização. O intra-empendedor é o sonhador que concebe como transformar uma idéia em uma realidade lucrativa (FIALHO, 2007, p.28).

O desenvolvimento tecnológico traz muitas vantagens para nossa civilização, tais como descobertas de novos medicamentos, meios de transporte, comunicação, entre outros. A área metal mecânica foi uma das que mais evoluiu tecnologicamente, devido ao fato da grande necessidade de redução nos tempos de produção, a fim de manter a empresa competitiva no mercado de atuação.

Na área da manufatura, também obtivemos grandes avanços. Operações que demandavam horas no passado, foram reduzidas a minutos, graças às inovações introduzidas no mercado, advindas de grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento (CAMACHO, 2003, p.7).

Para Camacho (2003), a introdução de novas tecnologias se deu à medida que as empresas começaram a depender de mais agilidade nos seus processos produtivos. Então, com a pesquisa e desenvolvimento tecnológico, abriram-se novas oportunidades de crescimento produtivo nas organizações.

Em se tratando de inovação e evolução tecnológica nas indústrias metal mecânica, as grandes transformações surgiram no setor de usinagem, no qual a introdução da tecnologia proporcionou um grande avanço no desenvolvimento das máquinas operatrizes e nas diversas ferramentas utilizadas durante o processo de usinagem. A seguir, serão abordados alguns aspectos relacionados com a usinagem.

### 3 USINAGEM

A grande parte dos produtos que são industrializados, em alguma etapa de sua produção, sofre algum processo de usinagem. A usinagem está presente na confecção de diversos produtos de diferentes ramos setoriais.

Para Schutzer e Schulz (2003), a usinagem representa uma avançada tecnologia de produção, sendo considerada como o processo de fabricação mais popular do mundo, transformando em cavacos uma média de 10% de toda produção de metais, e empregando milhões de pessoas em todo mundo. É considerada atualmente a base da metalurgia e, outrora, foi considerada um dos principais alicerces da Revolução Industrial.

A usinagem é um processo de fabricação por remoção de cavacos. Sendo assim, todo processo em que há uma peça bruta que, após ser removido material em forma de cavaco de seu interior e exterior, formando uma peça com superfícies desejadas, detalhadas e acabadas de forma que satisfaça plenamente ao cliente, é considerado um processo de usinagem.

Os processos mais tradicionais são os convencionais como torneamento, fresamento, entre outros. Entre os não convencionais ou automáticos, pode-se citar a eletro erosão, laser e usinagem CNC (Comando Numérico Computadorizado).

Conforme Oliveira (2003), a cada dia surge uma nova tecnologia de usinagem, sendo a de altíssimas velocidades de corte (HSC -HighSpeedCutting) a mais aplicada nas indústrias desde seu surgimento na década de 70.

O estudo dos processos de usinagem com altíssimas velocidades de corte torna-se estratégico para o desenvolvimento tecnológico do País e das indústrias aqui instaladas, possibilitando a conquista ou manutenção da competitividade em nível internacional. Para isso, no entanto, é necessário um programa de médio\longo prazo para que a tecnologia possa ser plenamente desenvolvida e incorporada aos sistemas produtivos. (SCHUTZER ; SCHULZ, 2003, p. 26)

Ainda conforme Schutzer e Schulz (2003), a busca do conhecimento do processo de usinagem em altas velocidades é de suma importância para as empresas e as pessoas interessadas. Esse processo iniciou-se em 1931, através de trabalhos desenvolvidos por C. Salomon na Alemanha. Desde aquela época, até nos dias atuais, essa tecnologia é desenvolvida em todo mundo com grande potencial para um futuro próximo.

Entretanto, como tem sido o caso de outras realizações tecnológicas, a transformação de conhecimentos resultantes de pesquisas em produtos industriais ocupa tempo relativamente longo. Nesse caso em particular, o período foi de aproximadamente 60 anos até o surgimento

de novas máquinas/ferramentas, em meados dos anos 80, com concepção e componentes voltados à aplicação do processo de usinagem em altas velocidades. Os setores automotivos e aeroespaciais foram os primeiros a introduzirem essa tecnologia em suas cadeias produtivas.

Machado e Silva (2004) definem que a usinagem tem ainda a peculiaridade de ser um processo essencialmente prático, envolvendo um número de variáveis bastante grandes. É praticamente impossível prever o desempenho no corte dos metais. Entretanto, isto não quer dizer que estudos detalhados dos processos de usinagem não têm valor. Cada ponto fundamental que é detalhadamente estudado e propriamente interpretado contribui para o entendimento do processo, e, vale dizer, entendimento é o passo mais próximo da capacidade de prever.

As máquinas com CNC surgiram para aprimorar, otimizar, agilizar e garantir qualidade ao serviço aplicado. Atualmente, os Centros de Usinagens e as eletro erosões por penetração ou à fio garantem um trabalho de grande qualidade dentro das indústrias. Juntamente com as máquinas, existem as ferramentas de corte utilizadas, que possuem papel decisivo para a garantia do serviço com qualidade.

Na sequência, será destacada a evolução das máquinas operatrizes desde o seu surgimento até a introdução da tecnologia, visando atingir grandes rendimentos operacionais.

## 4 EVOLUÇÃO DAS MÁQUINAS OPERATRIZES

Considerando que a evolução tecnológica, esta cada vez mais presente nos equipamentos, para se manterem competitivas as empresas precisam estar acompanhando o que o mercado esta oferecendo em termos de novas opções. Este capítulo tem como objetivo apresentar um pouco mais sobre máquinas operatrizes.

### 4.1 Histórico

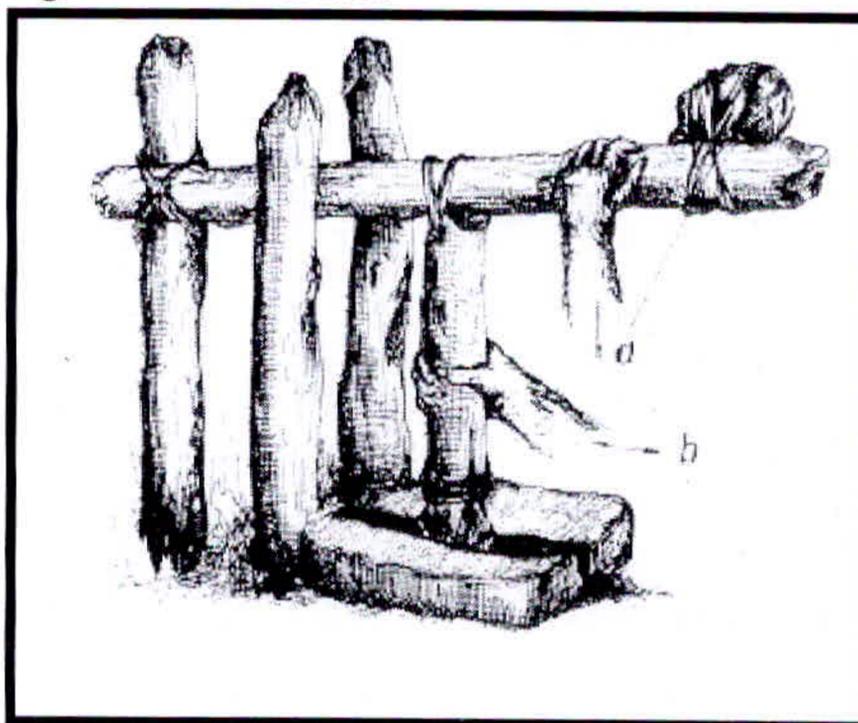
As máquinas operatrizes são as responsáveis pela realização da usinagem. Podem também ser chamadas de máquinas ferramentas. É o elemento que proporcionará os movimentos, velocidades, avanços e forças necessárias ao processo de usinagem.

O princípio usado em toda máquina ferramenta para se obter a superfície desejada é providenciar um movimento relativo apropriado entre a peça e a ferramenta, escolhida adequadamente. Assim, para o estudo da usinagem é necessário a definição das grandezas físicas no processo de corte. (MACHADO; SILVA, 2004, p.6).

A evolução nas máquinas operatrizes se dá desde o início da civilização, quando surgiram as primeiras plainas primitivas, furadeiras e tornos.

A figura 1 mostra uma plaina neolítica desenvolvida através da utilização de pedaços de madeira para prover uma estrutura e pedra lascada como ferramenta.

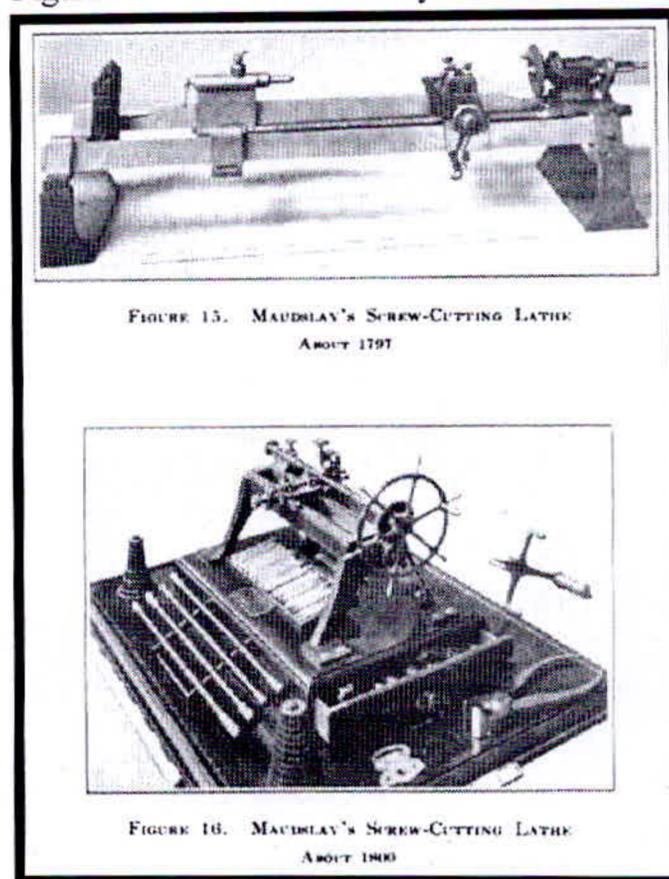
Figura 1 - Plaina Neolítica



Fonte: Spur, 1979

A figura 2 mostra o modelo do primeiro torno projetado segundo princípios modernos, em 1765 (MOORE, 1978):

Figura 2 - Torno de Maudslay



Fonte: Moore, 1978

A evolução da eletrônica aliada ao desenvolvimento do computador levou à criação das primeiras máquinas-ferramentas controladas numericamente, chamadas de máquinas CNC.

Por volta do ano de 1950, com a dificuldade encontrada na construção de aviões nos EE.UU., foi constatada a necessidade do desenvolvimento de uma máquina operatriz que propiciasse uma maior velocidade e uma maior confiabilidade neste tipo de fabricação. Com isso, surge a idéia de adaptação de um comando numérico (CN) em uma fresadora por parte de um Instituto associado à Força Aérea daquele país, para minimizar o trabalho (ESPANHOL, 1989, p.13).

O desenvolvimento de máquinas operatrizes mais velozes se deu com a necessidade de fabricação de produtos de forma mais rápida. Porém, foi somente em meados da década de 80 que a tecnologia das máquinas operatrizes comandadas numericamente por computador começou a ser introduzida em empresas do setor aeroespacial e automobilístico, conforme se verificará no próximo tópico.

## 4.2 Máquinas CNC

Vale ressaltar, que antes de analisar no que consiste uma máquina CNC, que o desenvolvimento dessas máquinas surgiu devido às necessidades das empresas de fabricarem seus produtos mais rapidamente, substituindo, então, os equipamentos convencionais por outros mais modernos e agis.

Pelas conclusões de Slack *et al.* (1996), a máquina CNC é composta basicamente da unidade de comando (onde está armazenado todo o *software* usado e onde são processados todos os cálculos do sistema), máquina propriamente dita e os acionamentos (servomecanismo) responsáveis pelos movimentos dos eixos. Para que se possa colocar uma máquina CNC em funcionamento é necessário que se estabeleça um diálogo com o equipamento. Todo comando acoplado em uma máquina CNC, necessita de um meio de comunicação entre o programador e a máquina. Essa comunicação é feita por meio de códigos ou símbolos padronizados, e recebe o nome de linguagem de programação.

O Comando Numérico Computadorizado é um comando eletrônico dotado de um painel alfanumérico que, através de letras e números e de sua extensa memória, permite o armazenamento de dados para posteriormente, com estes, comandar uma máquina operatriz (ESPANHOL, 1989, p.14).

O comando numérico comanda e controla a operação, dando a ordem de execução de percurso, fazendo com que os eixos da máquina se desloquem automaticamente, seguindo uma linha de comando previamente programada.

As máquinas operatrizes modernas, antes movimentadas manualmente pelo operador, trabalham apenas assistidas pelo mesmo, intervindo este, só nos casos de um eventual problema na seqüência operacional automática. Tempos passivos (onde não há formação de cavacos) foram enormemente diminuídos (ESPANHOL, 1989, p.15).

Atualmente o mercado dispõe de vários tipos de máquinas CNC, como Tornos e Centros de Usinagem. Esse último é o mais procurado pelas empresas interessadas devido a sua alta eficiência e eficácia operacional. O tópico a seguir analisará o funcionamento desses dois equipamentos.

#### 4.2.1 Torno CNC

O torno mecânico é um exemplo de máquina que teve constantes evoluções desde seu surgimento. É uma das máquinas mais conhecidas no mercado metal mecânico.

O desenvolvimento tecnológico se deu devido às mudanças de conceitos visando aumentar a produtividade, simplificar as tarefas e melhorar a qualidade dos serviços e produtos. Desde o surgimento do primeiro torno, projetado conforme a figura 2 passou-se pelo torno universal, revólver, copiador e automático até a chegada do torno CNC. Em cada um desses passos foram adicionadas simplificações de tarefas e/ou aumento da produtividade. No entanto nenhuma dessas soluções oferecia a flexibilidade necessária à fabricação dentro dos conceitos mais modernos, onde os lotes de peças são cada vez menores e mais diversificados.

Observando a evolução tecnológica, nota-se que há uma preocupação em desenvolver máquinas capazes de produzir rapidamente peças complexas e de diferentes geometrias.

A figura 3 mostra um moderno Torno CNC:

Figura 3 - Torno CNC



Fonte: Revista o mundo da Usinagem

#### 4.2.2 Centros de Usinagem

Essas máquinas foram desenvolvidos com intuito de substituir as fresadoras e até mesmo os tornos convencionais, os centros de usinagem foram entrando lentamente nas indústrias para modernizar e agilizar a produção obtendo produtos e serviços com qualidades superiores aos oferecidos pelas máquinas convencionais.

Trata-se de um fenômeno recorrente no mercado de máquinas, pois nem todas as indústrias que compram máquinas novas o fazem apenas para reforçar a produção. Muitas aproveitam os momentos afluentes para substituir algumas máquinas antigas e assim melhorar a qualidade do produto, ou para aumentar a produtividade. (MAWAKDIYE. 2008, p. 12).

Segundo Mawakdiye (2008), o mercado de vendas de máquinas está em pleno crescimento, porque as indústrias, além de fazerem um grande investimento, estão garantindo a qualidade dos seus produtos e aumentando sua produtividade, sendo conseqüentemente mais competitivas perante as concorrências. Atualmente, essas máquinas são as mais vendidas em todo mundo, possuindo fabricantes espalhados em todos os continentes. Este mercado está em crescimento contínuo, obtendo aumento de quase 10% ao ano em vendas de máquinas novas.

A viabilidade econômica das máquinas CNC já está comprovada atualmente de modo satisfatório. Os desenvolvimentos futuros serão concentrados principalmente na área das máquinas HSC (Altas Velocidades de Corte) e nas tecnologias de usinagem. A máquina-ferramenta HSC diferencia-se de uma convencional basicamente pelos módulos construtivos: eixo-árvore de alta rotação, acionamentos de alta performance dinâmica, comandos numéricos extremamente rápidos, projetos de construção leve e sistemas de segurança. As inovações futuras são esperadas principalmente nesses componentes.

Velocidade é o fator crucial para o sucesso de empresas que atuam em um ambiente de concorrência acirrada, capaz de alavancar vendas – em especial por possibilitar o rápido atendimento às demandas do mercado, num momento em que parece existir uma aceleração dos lançamentos em alguns setores da indústria. Isto, claro, vinculado à melhor qualidade superficial das peças acabadas (SANTOS, 2003, p.38).

Santos (2003), explica que a agilidade nas confecções dos produtos é determinante para que as empresas possam se manter competitivas no mercado. Destacam, também, que a tecnologia HSC está cada vez mais difundida devido às vantagens que proporciona, tais como a redução no tempo de produção e a precisão. Alertam, porém, que os fabricantes de

equipamentos ainda não chegaram ao consenso sobre os parâmetros que definem o que é uma máquina de usinagem de alta velocidade.

Como cada fabricante conceitua a máquina de forma particular, as máquinas têm peculiaridades que as tornam mais ou menos adequadas para determinada aplicação. De outra forma, é forçoso supor que não existe uma máquina ideal para todas as situações, cabendo ao consumidor exigir que o fornecedor do equipamento ofereça condições que possibilitem realização de testes, para verificar o desempenho do equipamento em aplicação determinada.

A figura 4 ilustra um moderno Centro de Usinagem.

Figura 4 - Centro de usinagem



Fonte: O autor

Portanto, como o investimento para obter e manter uma máquina destas é altíssimo e a espera do retorno financeiro é em curto ou no máximo em médio prazo, cabe ao consumidor ou à empresa interessada em adquirir tal equipamento, fazer antes um minucioso estudo e pesquisa dos diferentes e vários fornecedores deste tipo de máquina que existem ao redor do mundo, bem como ver a que melhor atenda as necessidades da empresa ou do consumidor.

Ressalte-se que a busca do conhecimento do produto é muito importante, bem como dos componentes da máquina e da assistência técnica ágil, pois tudo isto influencia no bom desenvolvimento funcional da máquina, para que haja o retorno financeiro esperado pelo comprador.

As empresas que investem em máquinas, ao invés de simplesmente comprar equipamentos sem um planejamento concreto, têm mais chances de obter sucesso mesmo em mercados altamente competitivos (TUCHUMANTEL, 2009, p.6).

Leciona Tuchumantel (2009), conclui que é importante que as empresas façam planejamento antes de fazer um investimento em máquinas e ferramentas. Há diferenças significativas entre comprar e investir. Como é considerado um investimento com custo alto, é importante a empresa priorizar a qualidade dos produtos e não o valor destes. Quando ela busca somente o equipamento mais barato, pode correr o risco de gastar mais no futuro com custos adicionais de manutenção, compra de equipamentos novos, entre outros.

O universo da usinagem não está diretamente ligado somente às máquinas, tanto convencionais ou automáticas, mas também com as ferramentas de corte utilizadas para executar a usinagem. A seguir serão abordadas as características e aplicações das ferramentas de corte.

## 5 AS FERRAMENTAS DE USINAGEM

As ferramentas de corte têm papel decisivo no mundo da usinagem. Os fabricantes estão evoluindo constantemente a tecnologia destas. Como as máquinas modernas estão aumentando a capacidade produtiva, tendo velocidades de corte altíssimas, as ferramentas de corte têm a obrigação de garantir o bom andamento do processo. Atualmente, os fabricantes de ferramentas estão em constante estudo para aumentarem as resistências e durabilidade destas, suprindo as necessidades dos clientes.

Segundo Machado e Silva (2004), o grande número de fabricantes de ferramentas de corte existentes no mercado gera uma forte concorrência, o que, de certa forma, garante produtos de alta qualidade e preços satisfatórios.

Tal situação aumenta a cada dia. A forte concorrência no mercado de ferramentas traz diversas opções ao consumidor que pode escolher o produto que lhe dará um custo x benefício satisfatório para sua empresa.

Por isso, quanto mais abrangente for o planejamento do investimento, incluindo os acessórios, menores serão as chances de surgirem falhas na usinagem do produto e menor será o desperdício de ferramentas resultado de compras mal planejadas (TUCHUMANTEL, 2010, p.12).

Refere, ainda, Tuchumantel (2010), que as empresas têm que fazer o planejamento correto para não obterem prejuízos por comprarem produtos de má qualidade.

De fato, o planejamento possui extrema relevância. Muitas vezes, as empresas optam por adquirir ferramentas de corte baratas, com qualidade muito inferior, que acabam trazendo muito mais gastos do que se tivessem adquirido, de início, produtos de boa qualidade, embora com custo mais elevado.

A qualidade das ferramentas de corte está basicamente atribuída a sua composição: substrato e cobertura. Cada fornecedor tem sua particularidade em se tratando de composição das ferramentas, o que pode ser percebido facilmente pelo consumidor destas.

A finalidade da operação de usinagem é conferir a peça, formas, dimensão e acabamento utilizando uma ferramenta de corte que possua o material mais duro que a peça. A usinagem é o processo de fabricação mais comum de todos outros existentes.

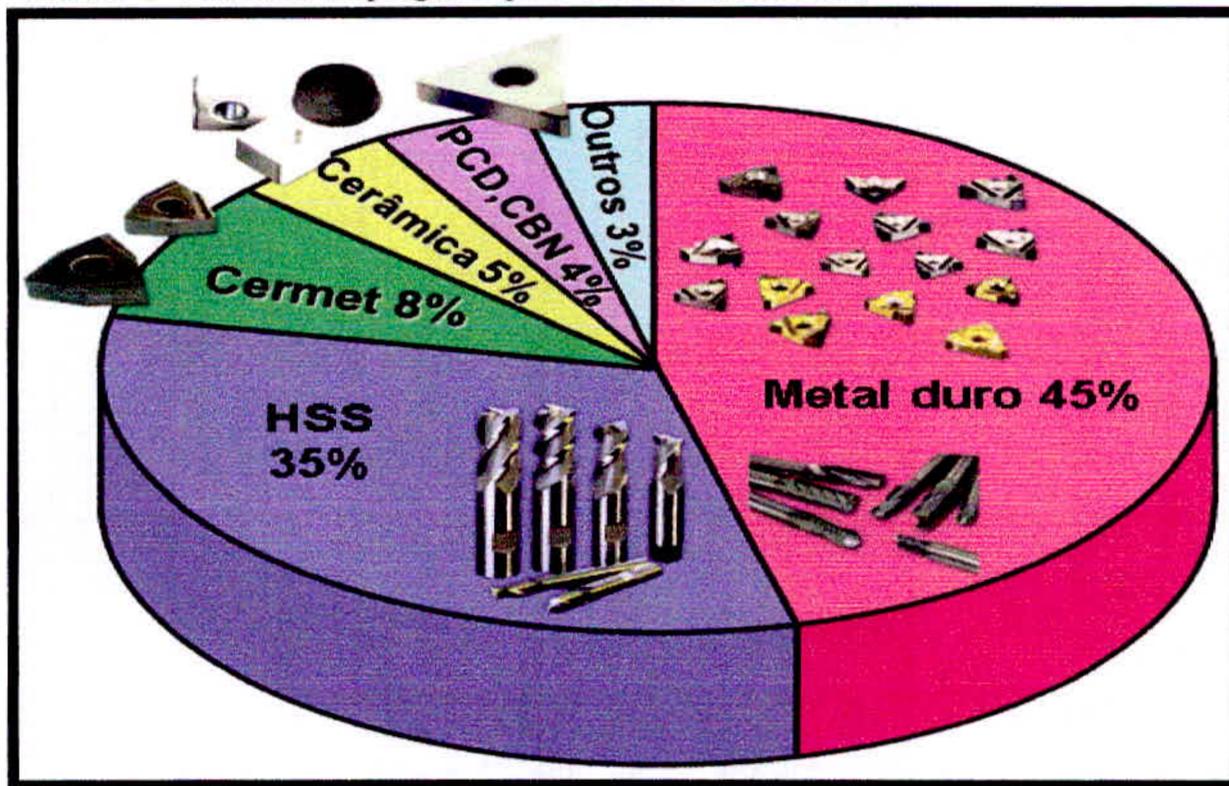
Com a evolução industrial, ocorreu um grande desenvolvimento de materiais e ligas estruturais com propriedades de resistência mecânica e durezas mais elevadas.

Esse ganho contribuiu para o surgimento de materiais de ferramentas mais resistentes suportando operações de usinagens com maiores velocidades de corte.

### 5.1 Substrato da Ferramenta

As propriedades adquiridas foram à dureza e a tenacidade, sendo elas opostas, todavia encontra-se hoje no mercado, alguns materiais para ferramentas como o diamante, cerâmica, CBN, Cermet, metal duro e aço rápido com elevadas características de dureza e tenacidade. Sendo a utilização de cada um conforme o gráfico 1. Esse limite foi atingido com a produção de ferramentas com diferentes composições químicas, tamanho dos grãos, controle dos processos na fabricação e tratamento térmico gerando um grau de dureza e qualidade altíssimas. Vale lembrar que, a pesquisa por novos materiais de ferramentas com propriedades mecânicas é contínua e cada vez maior.

Gráfico 1- Materiais empregados para ferramentas de corte



Fonte: Iscar, 2010

Para a seleção do tipo de material de uma ferramenta, implica em uma criteriosa análise de vários fatores interagindo com as variáveis que promovem o surgimento de agentes indesejáveis que aceleram o mecanismo de desgaste, promovendo a redução da vida útil, variações dimensionais e ainda reduzindo a qualidade do acabamento superficial na peça.

### 5.1.1 Revestimento ou Cobertura das Ferramentas

O revestimento nas ferramentas é dado conforme necessidade de cada substrato. Geralmente as ferramentas de metal duro possuem revestimentos, que tem a finalidade de garantir uma resistência maior às ferramentas. Resistência ao desgaste, choque térmico e ao cisalhamento são as principais.

Nas conclusões de Diniz (2001), as coberturas mais utilizadas atualmente são as de Carboneto de Titânio(TiC), Carbonitreto de Titânio(TiCN), Nitreto de Titânio(TiN) e Nitreto de Titânio Alumínio(TiAlN). Mas a tecnologia de cobertura que alavancou esse desenvolvimento em ferramentas foi o Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ), que proporciona à aresta de corte um aumento na resistência ao desgaste e a altas temperaturas. Esses revestimentos são depositos nas ferramentas através de basicamente dois processos: PVD (Physical Vapor Deposition) e CVD (Chemical Vapor Deposition).

### 5.1.2 Processo de Deposição dos Revestimentos das Ferramentas

O primeiro processo é deposição física por vapor (PVD) que é feita sobre o substrato com aquecimento na ordem de  $600^\circ C$ , utilizando os revestimentos de TiN, TiCN ou TiAlN sobre o substrato em temperaturas baixas, onde há menor reação entre as camadas do revestimento e o substrato e menor stress térmico, melhorando a resistência ao desgaste, choques térmicos e a soldagem e, também, prolongando a vida útil da ferramenta.

No segundo processo que é por deposição química por vapor (CVD), é feita metalurgicamente e ocorre reação entre o vapor depositado e o substrato na ordem entre  $800^\circ C$  e  $1200^\circ C$ , resultando em uma ferramenta com estrutura fibrosa e tenaz, resistentes ao desgaste e a quebra.

Portanto a escolha por uma ferramenta ideal se dá através das características da usinagem em todo seu universo, considerando máquina e material a ser usinado.

## 6 METODOLOGIA

Segundo entendimento de Demo (1995), a metodologia consiste em buscar conhecimento, aprofundar-se no entendimento de certo tema. A pesquisa é uma forma de investigação, de buscar uma informação a mais, sobre determinado tema/assunto. Com base na informação do texto, no sentido de que a pesquisa parte de um problema, pode-se dizer, então, que pesquisar seria uma forma de encontrar respostas para os problemas que serão formulados.

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram selecionados dois tipos de metodologias de pesquisa: a Pesquisa Bibliográfica e o Estudo de Caso.

Segundo o entendimento de Prodanov e Freitas (2009), a pesquisa bibliográfica é utilizada para explicar o problema da pesquisa buscando subsídios em teorias já existentes encontradas em livros, revistas, teses, artigos científicos, entre outros, e, a partir disso, identifica as teorias produzidas, analisando-as e avaliando as possíveis contribuições na compreensão do referido problema, objeto da investigação.

De acordo com Demo (1995), a finalidade da pesquisa bibliográfica pode ser citada como ampliação do conhecimento em determinada área e o domínio deste conhecimento como instrumento auxiliar para a construção e a fundamentação de hipóteses que visam a resolver um determinado problema.

Ainda conforme Demo (1995), o pesquisador se aprofunda no problema escolhido através de leituras em diversos recursos bibliográficos existentes em diferentes tipos.

Nesse trabalho em especial, o uso dos recursos bibliográficos serão de vital importância para fazer relações analíticas com os objetos pesquisados dentro da empresa e que serão relacionados no estudo de caso.

O Estudo de Caso é indicado para explorar, descrever e explicar situações nas quais perguntas de “como” e “por que” são à base da investigação.

O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros delineamentos considerados (GIL; 1991 p. 58).

Para Gil (1991) o Estudo de Caso é um tipo de pesquisa o qual haverá um estudo minucioso e profundo dos objetos de pesquisa. Pode permitir novas descobertas de aspectos que não foram inicialmente previstos.

Ainda sobre o estudo de caso, Yin (2001, p. 21) comenta:

Em resumo, o estudo de caso permite uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos eventos da vida real – tais como ciclos de vida individuais; processos organizacionais e administrativos, mudanças ocorridas em regiões urbanas, relações internacionais e a maturação de alguns setores.

Segundo Yin (2001), o Estudo de Caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre fenômeno e contexto não estão claramente definidos.

De acordo com Marconi e Lakatos (2006), o Estudo de Caso não pode ser generalizado, por ser restringido apenas para o caso estudado. Nas palavras dos autores, “(...) reúne o maior número de informações detalhadas valendo-se de diferentes técnicas de pesquisa, visando apreender uma determinada situação e descrever a complexidade de um fato” (MARCONI e LAKATOS, 2006, p. 274).

O Estudo de Caso procura representar os diferentes pontos de vistas presentes em uma situação, quando ocorre discórdia sobre o objeto ou a situação estudada, o pesquisador vai tentar trazer, nesse caso, o estudo, revelando seu próprio ponto de vista sobre a questão.

Para o presente trabalho será feito um estudo de caso no setor de Ferramentaria e fabricação de Moldes na empresa Mangels Industrial S/A, no qual fiz parte de todo o processo de implantação e adequação do setor para que fosse iniciado o processo de Usinagem CNC, e a confecção dos moldes, o qual retratará a atual situação tecnológica e processual em que esse setor produtivo se encontra.

## 7 ESTUDO DE CASO

No estudo de caso será primeiramente apresentado o histórico da empresa, suas unidades estratégicas de negócios e o setor de Ferramentaria e Fabricação de Moldes.

### 7.1 Histórico

Segundo site da Mangels, [www.mangels.com.br](http://www.mangels.com.br) a empresa iniciou sua história quando, em 1928, Max Mangels Junior e Heinrich Kreutzberg fundaram a Mangels & Kreutzberg Ltda, em São Paulo, com a produção de baldes de aço galvanizados. Naquela época, os baldes eram muito importantes para o transporte de água. Em 1938, inicia a produção de botijões para gás liquefeito de petróleo (GLP), sendo a primeira empresa a produzi-lo.

Após a entrada de Max E. Mangels e Peter Mangels, nos anos 50, inicia-se a produção de rodas de aço para veículos e autopeças, fazendo com que a Mangels se comprometesse a rigorosos padrões internacionais de fabricação.

Em 1975 é instalada a fábrica de cilindros para GLP, em Três Corações (MG), com o nome de Mangels Minas Industrial S.A. Em 1979, falece o fundador Max Mangels Jr. aos 81 anos. Em 1989 tem início a produção de rodas de alumínio, nessa mesma unidade, seguindo a tendência mundial de substituição das rodas de aço.

- a) Divisão Rodas: localizada em Três Corações (MG), fabrica rodas de liga leve de alumínio, fornecendo modelos originais para montadoras. Com a produção superior a mais de 2.300.000 rodas por ano, a Mangels atende todo mercado mundial automobilístico, com altos investimentos em tecnologia que garantem padrões de qualidade e logística.
- b) Unidade Cilindros: também localizada em Três Corações (MG), produz cilindros para GLP, tanques de combustível, reservatórios de ar para sistemas de freios de caminhões e ônibus, além de serviços de requalificação. Os cilindros fabricados pela Mangels são submetidos a rigorosos testes para proporcionar segurança e aumentar a vida útil dos produtos. Conta também com unidades de serviços voltadas para o total apoio aos seus clientes, desde a assistência técnica e manutenção de cilindros, até a sua requalificação, processo de troca de componentes gastos e de tratamento industrial. Estão localizadas em Três Corações (MG), Cabo de Santo Agostinho (PE), Aparecida de Goiânia (GO), Paulínia (SP), Araucária (PR) e Canoas (RS).

Figura 5 - Foto da planta industrial de Três Corações – MG



Fonte: Mangels Ind. SA 2011

## 7.2 Setor de ferramentaria e projetos de moldes

Inicialmente gostaria de deixar claro que esse é um setor novo dentro da empresa, surgiu há uns quatro anos, em virtude da necessidade apresentada pela empresa por um produto que apresentava um grau de complexidade muito grande, e praticamente impossível de se obter com as máquinas convencionais que até então tínhamos no setor.

Esse produto se trata de um conjunto de macho e matriz, esse conjunto seria a parte principal do molde de injeção de rodas de liga leve, sendo esse produto (roda de liga leve), vindo a representar um percentual de 80% faturamento atual da empresa.

Antes de haver a criação desse setor, a empresa importava esse conjunto, pois nem aqui no país tínhamos fornecedor que oferecesse uma qualidade satisfatória do produto. Depois de algum tempo passamos a ter um fornecedor nacional, mas com um custo altíssimo devido ao material, a qualidade do serviço prestado e a qualidade do produto acabado.

Só pra se ter uma idéia, um conjunto desse adquirido junto ao nosso fornecedor aqui no Brasil custava na faixa de R\$ 80.000,00 (oitenta mil reais), e era adquirido na faixa de dois a três conjuntos semanais, de acordo com a demanda. Tendo em vista que tínhamos um custo mensal médio com a aquisição desses produtos de:

$$80.000,00 \times 3(\text{por semana}) = 240.000,00 \text{ (duzentos e quarenta mil reais) /semana}$$

$240.000,00 \times 4 \text{ semanas} = 960.000,00$  (novecentos e sessenta mil reais) /mensais

A partir daí foi feito um estudo minucioso sobre a real necessidade de se implantar um setor de usinagem de moldes dentro da própria empresa. Foi feito um levantamento de dos custos x benefícios, uma pesquisa de mercado junto aos principais fabricantes das máquinas que atendia nossas necessidades, e depois de muito se estudar a viabilidade, a diretoria da empresa chegou num concenso que seria viável a empresa investir em um novo setor dentro da empresa, chamado de Ferramentaria e Fabricação de moldes.

A partir daí se deu inicio a montagem e estruturação de uma célula de usinagem CNC de primeira linha com equipamentos inovadores, e com treinamento profissional para os colaboradores que integrariam esse novo setor, com aquisição de softwares de última geração para que fosse obtido uma melhor qualidade e eficiência no trabalho que seria executado.

O primeiro equipamento e um dos mais importantes adquiridos pela a empresa, foi um centro de usinagem da marca FIDIA, com tecnologia italiana, de ultra precisão, com um spindle de cerâmica o que proporciona uma exatidão em termos de dimensões e acabamentos dos produtos sensacional, próximo da perfeição. Esse spindle tinha uma capacidade de rotação por minuto de 24.000 RPM, o que gera um acabamento praticamente perfeito da superfície da peça usinada. Também era equipada com sistema de refrigeração com ar e MQL, o que ajudava muito no desempenho das ferramentas de cortes utilizadas, aumentando a vida útil das mesmas.

Esse equipamento teve um custo estimado em torno de (350.000 euros) trezentos e cinqüenta mil euros. Vamos considerar que o euro estava por volta de R\$ 3,40, o que se pode observar:

$350.000 \times 3,40 = 1.190.000,00$  ( um milhão, cento e noventa mil reais)

Mesmo com todo esses investimento, mais as taxas inclusas tipo, de importação, instalação, etc... a empresa acabou “pagando” a máquina em apenas 3 meses de utilização.

Figura 6 - Centro de usinagem - FIDIA D 165 S



Fonte: O autor

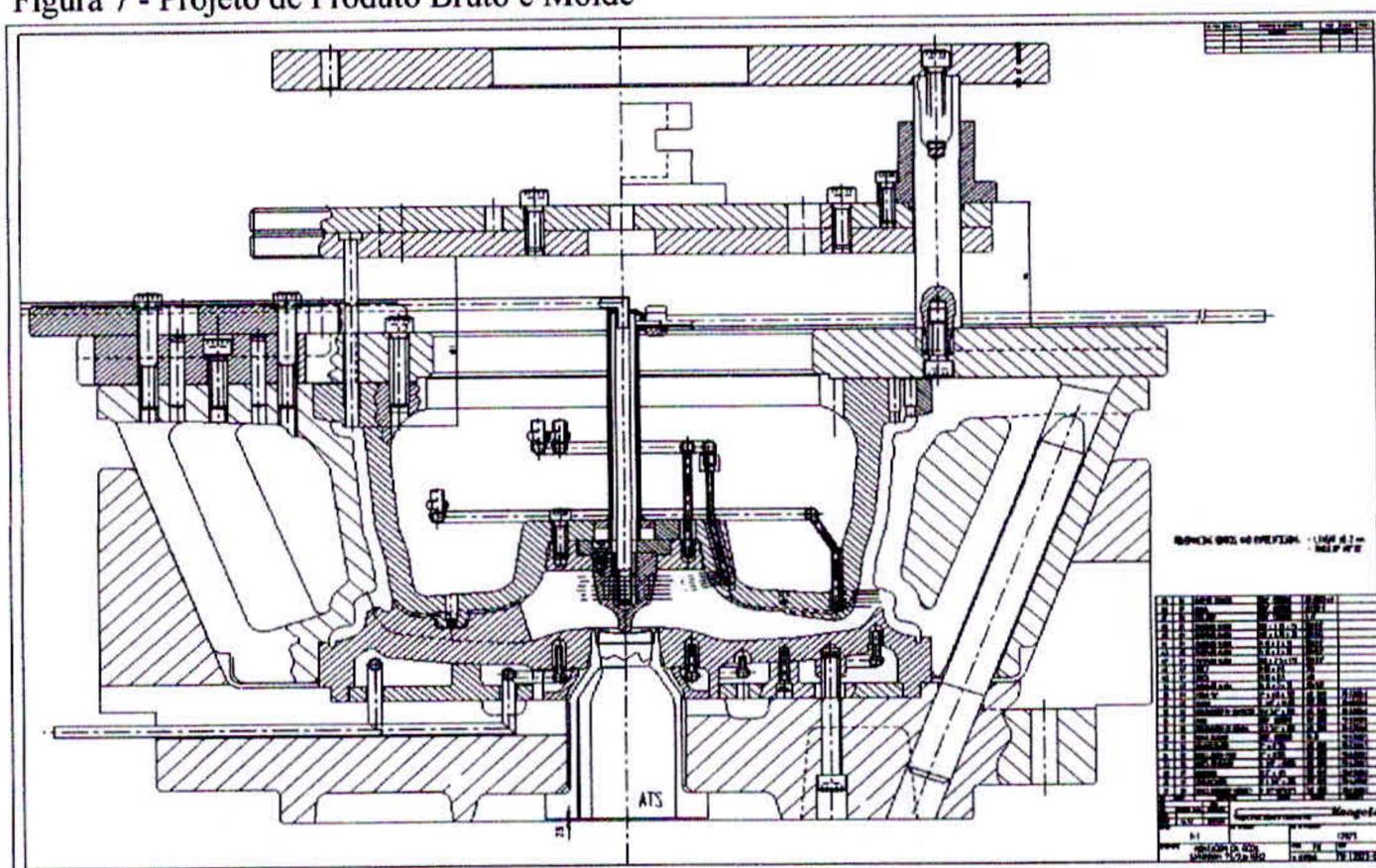
A partir daí a empresa passou a executar grande parte do processo de usinagem dos moldes de forma interna, deixando assim de ter tais custos exorbitantes.

Aliado a isso a empresa adquiriu softwares específicos para que fosse dado todo o suporte, no planejamento e preparação para a usinagem dos produtos, softwares esses próprios para modelagem das peças, verificação e simulação das usinagens, verificando o risco de colisão da ferramenta com a peça, softwares também para verificar o preenchimento dos moldes, no momento da injeção das peças na produção, também uma tridimensional de braço 3D foi adquirido, para verificar as dimensões das peças após serem usinadas. Todo esse processo obedece as seguintes etapas de fabricação:

#### 7.2.1 Estudos e projetos de moldes

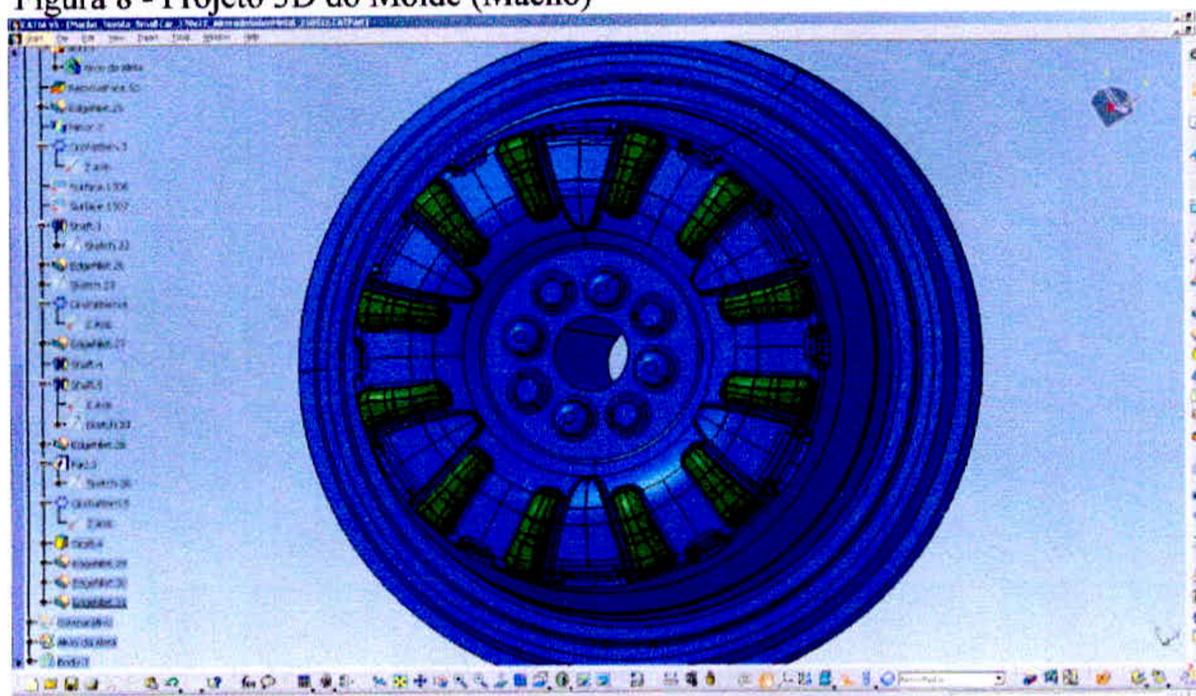
O produto acabado é disponibilizado em desenho 3D e 2D pela Engenharia de Produto. Com isso, são criados os desenhos do produto bruto e molde utilizando as ferramentas CAD.

Figura 7 - Projeto de Produto Bruto e Molde



Fonte: O autor

Figura 8 - Projeto 3D do Molde (Macho)

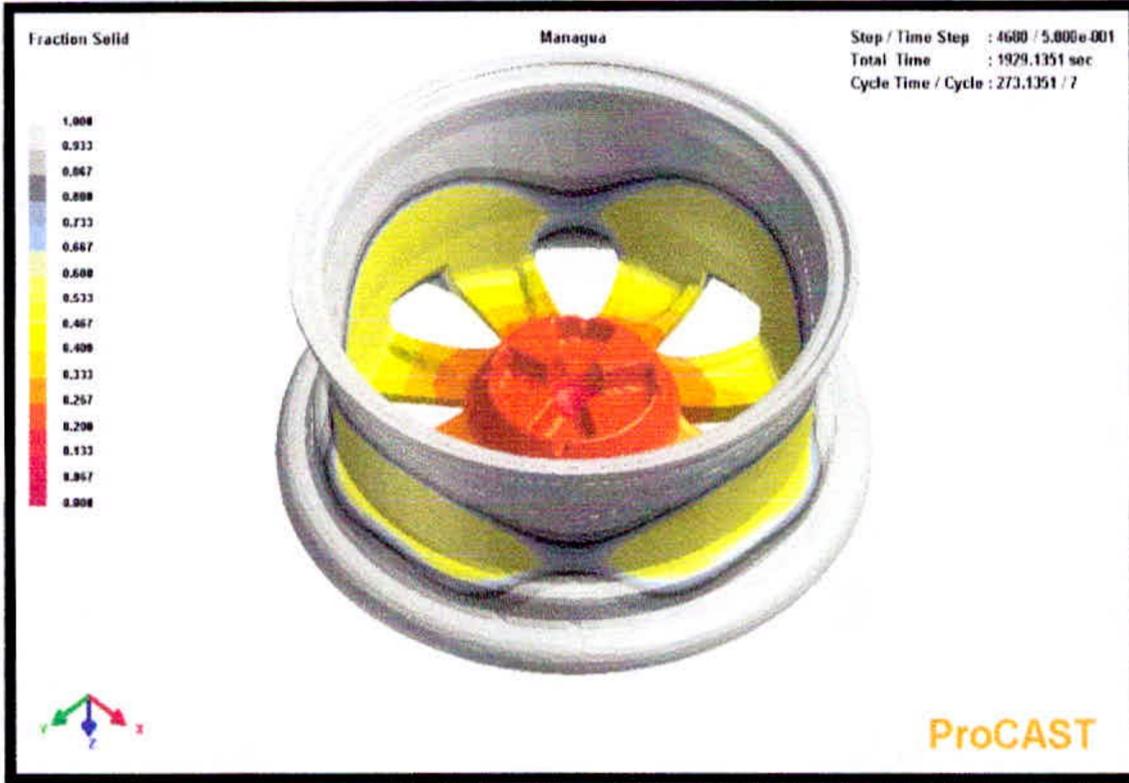


Fonte: O autor

### 7.2.2 Análise de Solidificação

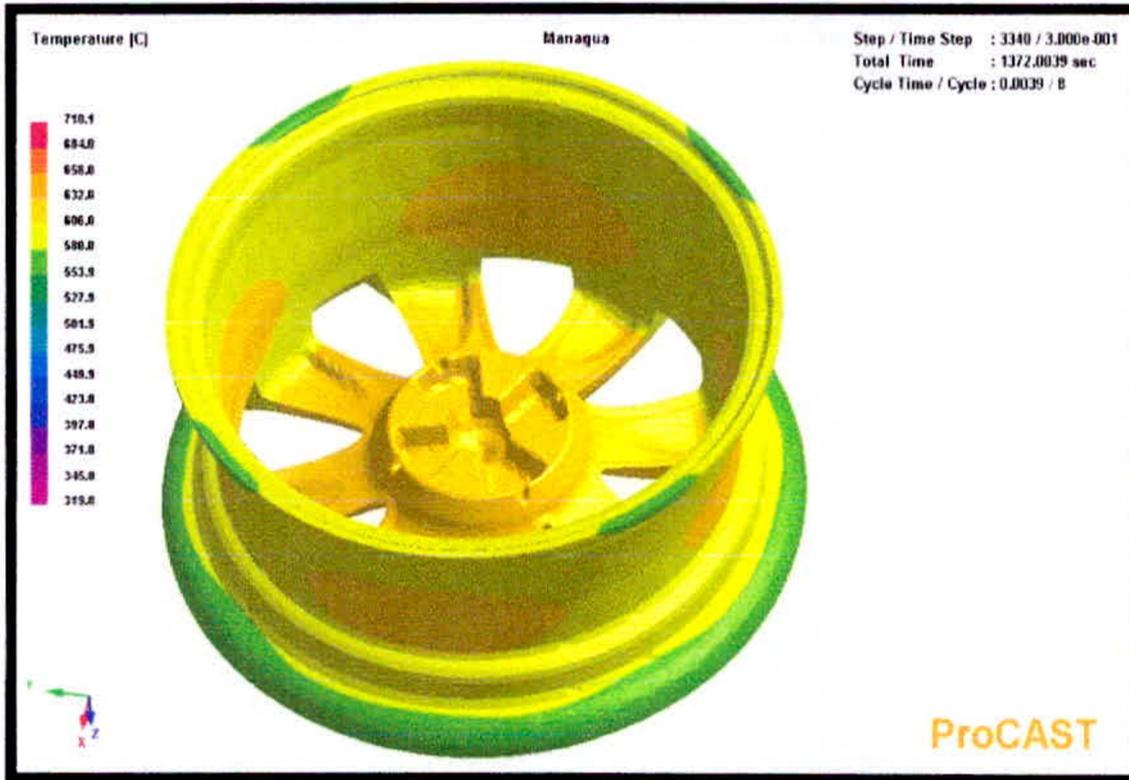
Com a conclusão do projeto em 3D, é preparado o input no software PROCAST onde o mesmo irá iniciar os cálculos para a simulação de injeção e solidificação. O principal objetivo é verificar possíveis problemas de porosidades ainda na fase de projeto podendo ser alterados dados e minimizar o impacto que causaria no processo de fundição.

Figura 9 - Imagem Simulação de Solidificação – Procast



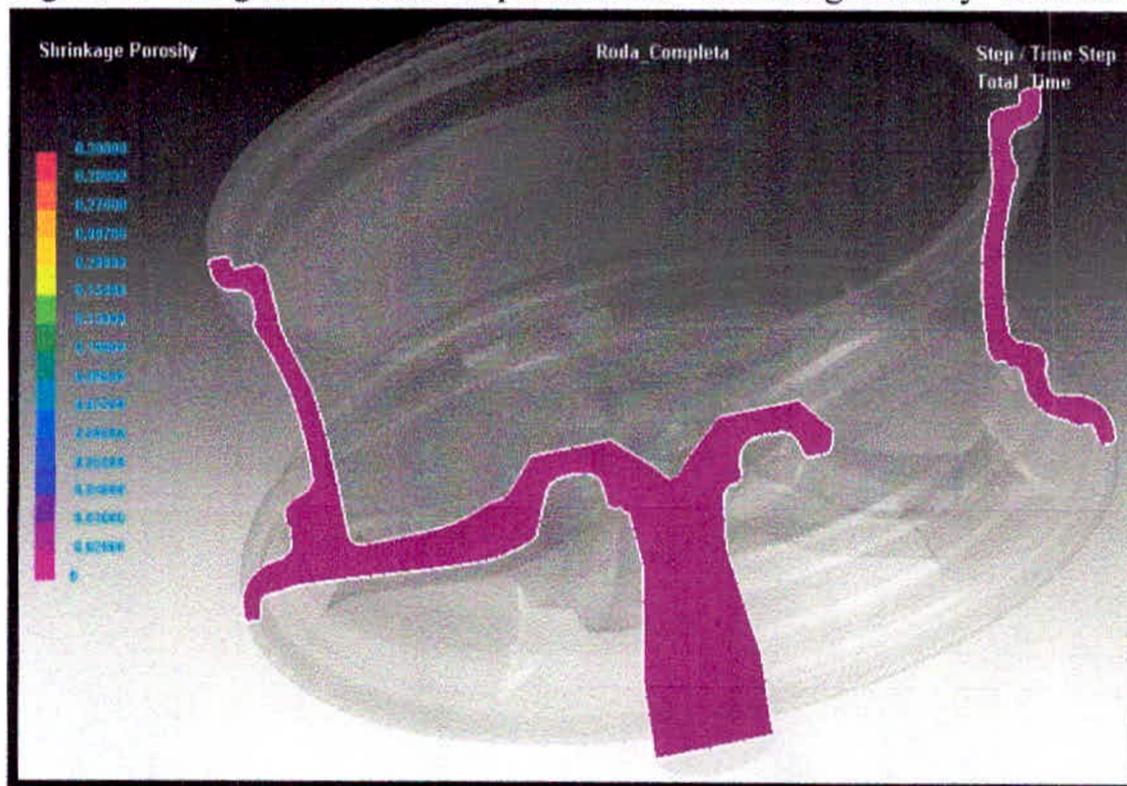
Fonte: O autor

Figura 10 - Imagem de troca de Calor – Procast



Fonte: o autor

Figura 11 - Imagem de análise de porosidades – ShrinkagePorosity - Procast

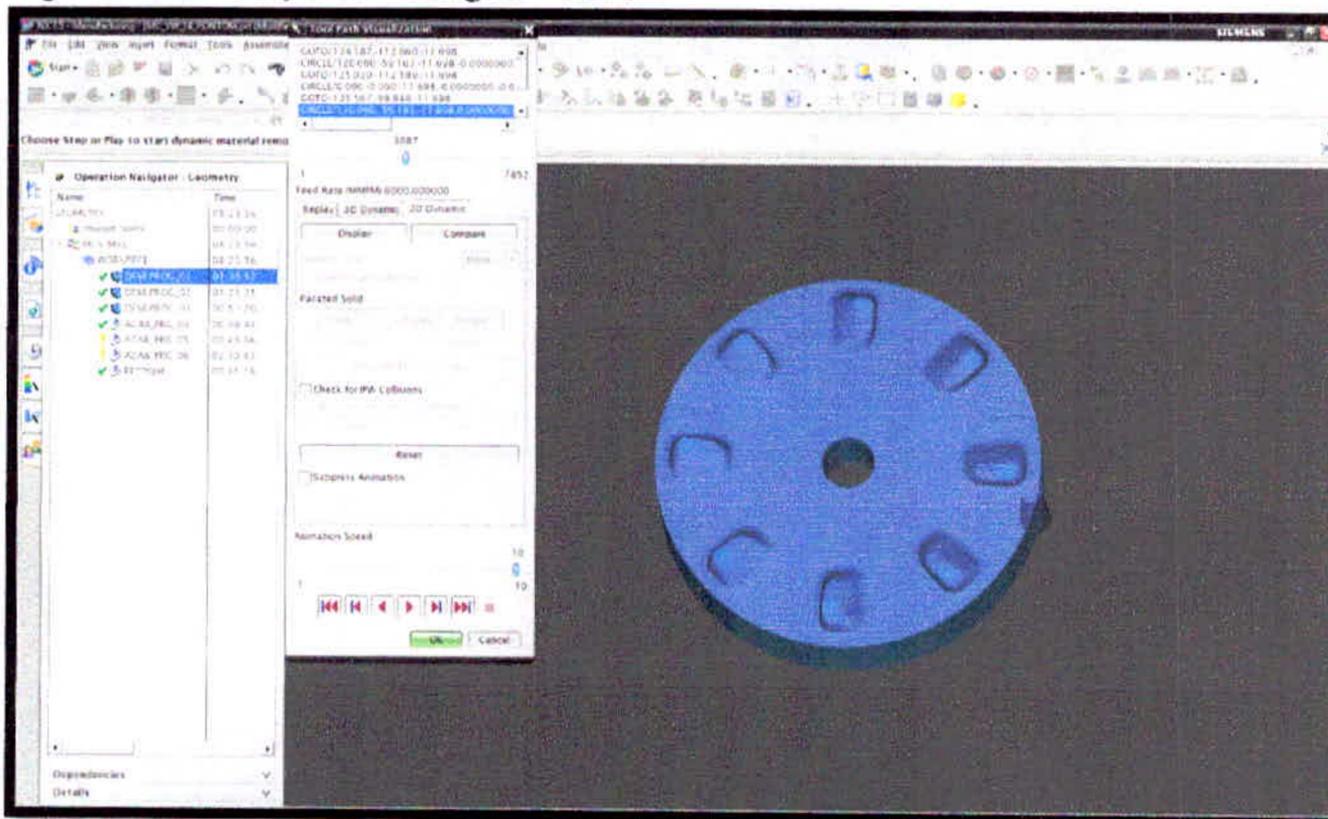


Fonte: o autor

### 7.2.3 Geração de Programas de Usinagem

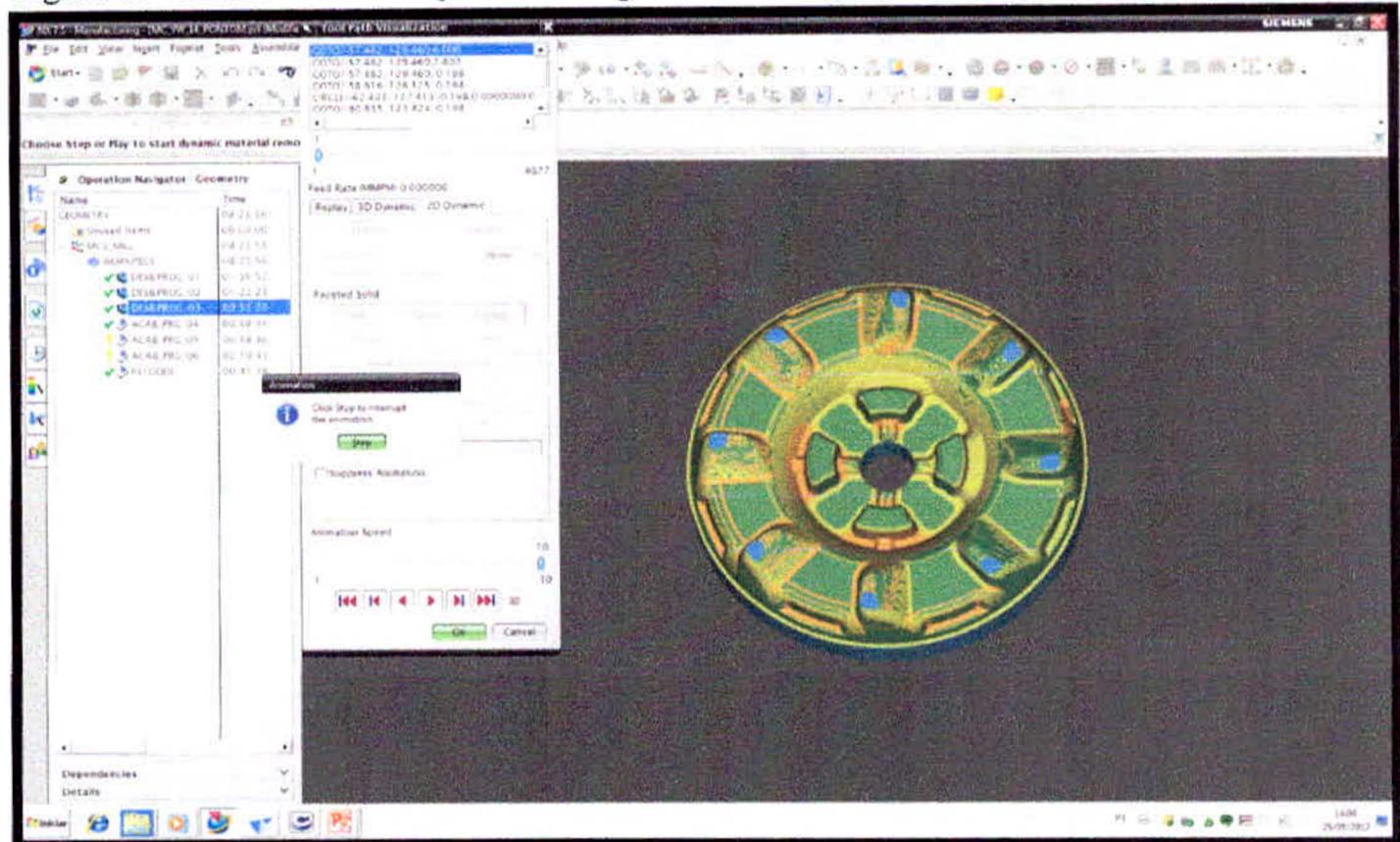
Com os projetos finalizados e aprovação da simulação de solidificação, inicia a simulação de usinagem CNC através do software NX 7.5 visando otimizar a usinagem e verificar possíveis problemas de colisão de ferramentas e estratégia perigosa.

Figura 12 - Simulação de Usinagem – NX 7.5



Fonte: o autor

Figura 13 - Análise de Simulação de Usinagem – Verificação de Colisão – NX 7.5

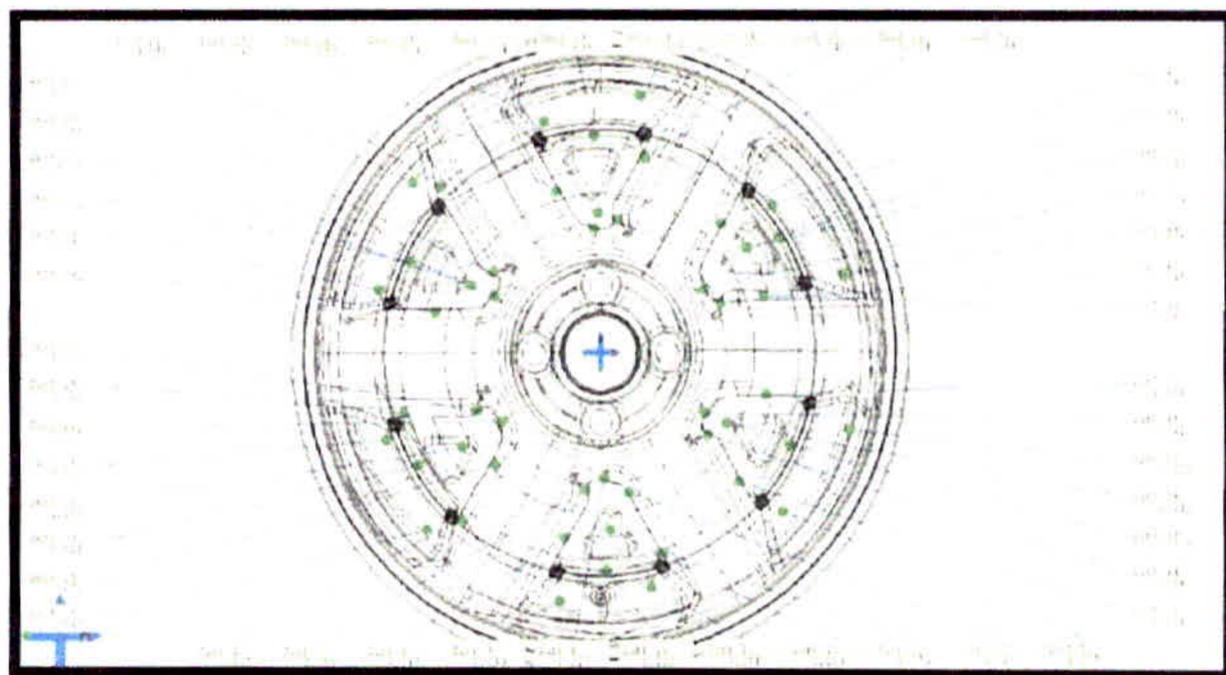


Fonte: o autor

#### 7.2.4 Sistema de Qualidade na Fabricação de Molde

E para finalizar o processo de fabricação dos moldes, após a usinagem do macho e matriz e verificado as dimensões através do tridimensional de braço, onde se confronta a peça usinada com o 3d e dimensões do projeto.

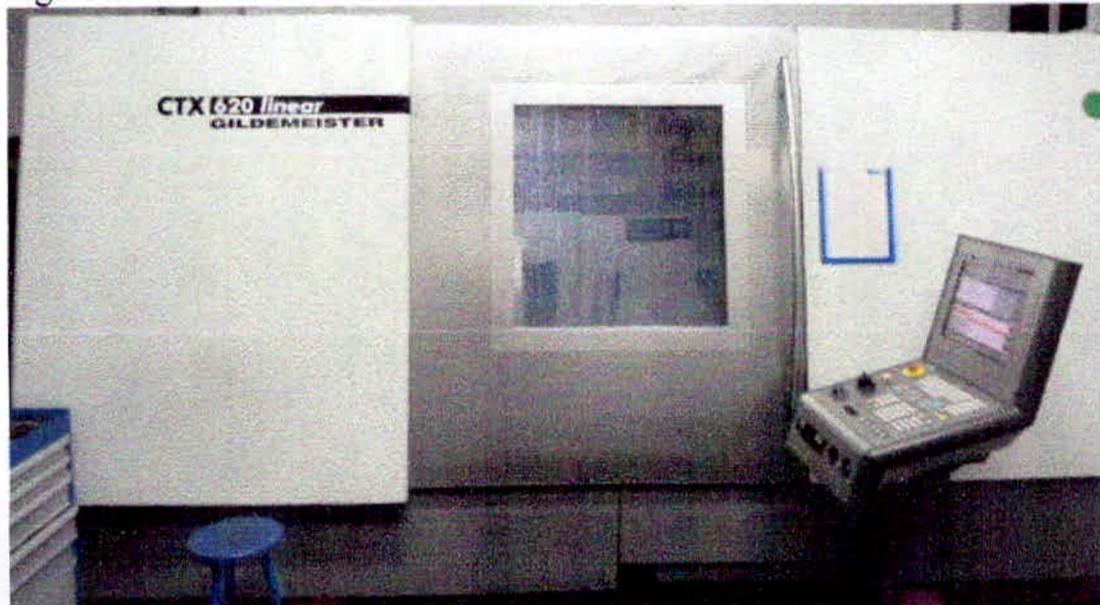
Figura 14- Verificação Tridimensional da peça Usinada



Fonte: o autor

E posteriormente, após já estar adaptado a todo o processo de fabricação, a empresa fez a aquisição de um torno CNC de grande porte, onde a partir daí passou a concentrar 100% do processo de fabricação dentro da empresa, se tornando totalmente independente e também sendo referencia em termos nacional na fabricação de moldes e matrizes no ramo de rodas de liga leve.

Figura 15- Torno CTX 620 linear - DMG



Fonte: O autor

## 8 CONCLUSÃO

Esse trabalho mostrou a necessidade de reestruturação dentro dos setores de usinagem dentro das empresas, esses setores por sua vez acostumados a atividades rotineiras, com máquinas convencionais, vem se deparando cada dia mais com clientes mais exigentes, com atividades mais complexas, isso tudo por conta dessa avalanche de tecnologias que nos deparamos a cada dia no nosso cotidiano.

E isso de alguma maneira se reflete na indústria em geral, onde hoje o custo x benefício é um dos itens que são mais levados em conta quando a empresa faz seu balanço anual.

Com essas tecnologias cada vez mais presente no nosso dia a dia, as indústria não teve outra alternativa a não ser se adaptarem também, para poderem atender o mercado que esta cada dia mais exigente e competitivo.

Com isso as industrias que foram se adequando, se modernizando e investindo nesse novo conceito de tecnologias, saíram na frente das demais, que continuam ainda apostando em um maquinário um pouco ultrapassado o que limita essas empresas de desenvolver atividades que requer um pouco mais de qualidade num curto espaço de tempo.

Tal investimento esse que deve ser levado em consideração um levantamento feito por parte da empresa para saber a viabilidade desse investimento diante de suas necessidades e atividades, pois realmente não é um investimento barato, e engloba uma série de fatores e uma mudança radical na rotina de trabalho.

Quando a empresa opta por fazer esse investimento ela tem que estar consciente, que precisará de um ferramental específico e diferente dos já utilizados nos meios de usinagem convencional, com um custo extremamente mais alto ao se comparado aos utilizados no meio tradicional, sendo necessário muitas vezes também dependendo das atividades que serão desenvolvidas, a aquisição de softwares específicos de programação, para que seja feita a programação através desses softwares que interligam o programa de computador a máquina diretamente,

As empresas que se proporem a trabalhar nesse novo modelo, poderão se adequar adquirindo um modelo de maquinário interligado por meio de um comando numérico chamado CNC, tecnologia essa que pode ser encontradas em diversas maquinas no ramo de Usinagem, exemplo: Torno CNC, centro de usinagem, erosão a fio, etc...

Mas pode se dizer que na maioria das vezes, cerca de 80% das empresas que ousam em fazer esse investimento, tem uma satisfação quase que imediata, muitas dessas empresas

recuperam seus investimentos em um curto espaço de tempo, além de se tornarem mais competitivas, elevando a qualidade dos produtos, executando os trabalhos em um tempo muito mais reduzido e tendo um custo benefício bem mais satisfatório, atendendo assim as necessidades de seus clientes.

Essa mudança foi presenciada no estudo de caso citado no trabalho, na empresa onde eu trabalhei por 6 anos, 5 deles envolvidos em usinagem CNC, na qual a empresa não tinha uma célula específica, e diante da necessidade e viabilidade se viu obrigada a fazer um investimento e uma implantação de um novo setor dentro da empresa, setor esse que dentro de um curtíssimo espaço de tempo recuperou o investimento, satisfazendo assim não só as necessidades dos clientes como da própria empresa também.

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, José J. A. **A Revolução Industrial**. São Paulo, Ática, 1988.
- BOSCH, R et., al. **Manual de tecnologia automotiva**. 25. ed. São Paulo: Pfeferman, 2005
- CHIAVERINI, V. – **Tecnologia mecânica: Estrutura e propriedades, processos de fabricação**. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1978.
- DEMO, Pedro. **Metodologia Científica em Ciências Sociais**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1995.
- DINIZ, Anselmo Eduardo. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2001.
- DINIZ; MARCONDES; COPPINI – **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 7º ed. São Paulo: Artiber. 2010
- ESPAÑHOL, Victor. **Manual Didático CNC**. Porto Alegre: Sagra, 1989.
- FERRARESI, D – **Fundamento da usinagem dos metais**, São Paulo: Pfeferman. 1977
- FERRASI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 11º reimpressão. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.
- FIALHO, Francisco A. P. **Empreendedorismo na Era do Conhecimento**. 2º impressão/ Fialho, Francisco A. P.; MontibellerFº, Gilberto; Macedo, Marcelo; Mitidieri, Tibério da Costa. Florianópolis: Visual Books, 2007.
- GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1991.
- ISCAR, 2010 (Catalogo).
- ISCAR, 2010 (Convenção de Ferramentas).
- LONGO, WLADIMIR PIRRÓ. **Tecnologia e Transferência de Tecnologia**. Cidade Editora, 1984.
- MACHADO, Álisson Rocha; SILVA, Márcio Baccida. **Usinagem dos Metais – HSC**. 8. versão. Minas Gerais: Universidade Federal de Uberlândia, 2004.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia Científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- MAWAKDIYE, Alberto. **Parcerias em terras africanas**. São Paulo, 2008.
- MOORE, C. **Filosofia: oriente e ocidente**. São Paulo: Cultrix, 1978.
- OLIVEIRA, F. G. (2003) - **HSM - Conceito e Aplicações**. São Paulo; Editora Érica Ltda. Cap.01, p. 29-35.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2009.

SÁBATO, Jorge A. & MACKENZIE, M. **Tecnologia e estrutura produtiva**. São Paulo, IPT (publicações especiais, n. 2), 1981.

SANTOS, Aldeci Vieira dos, et al. **Usinagem em Altíssimas Velocidades**. São Paulo: Érica, 2003

SCHÜTZER, K; SCHULZ, H. **Histórico da Usinagem com Altíssimas Velocidades até os dias atuais**. Usinagem em Altíssimas Velocidades. São Paulo: Érica, 2003, p 13-28

SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

**VILLARES METALS**, 2012 (Catalogo).

YIN, Robert. Estudo de Caso: **Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.