

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JAIME STEFFANUS DA FROTA RÊGO

**UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES GERADORES DO CÓDIGO G FRENTE À
PROGRAMAÇÃO MANUAL DE FRESADORAS CNC.**

MANAUS
2017

JAIME STEFFANUS DA FROTA RÊGO

**UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES GERADORES DO CÓDIGO G FRENTE À
PROGRAMAÇÃO MANUAL DE FRESADORAS CNC.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
bacharel de Engenharia Mecânica da
Universidade do Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Aristides Rivera Torres

MANAUS

2017

JAIME STEFFANUS DA FROTA RÊGO

**UTILIZAÇÃO DE SOFTWARES GERADORES DO CÓDIGO G FRENTE À
PROGRAMAÇÃO MANUAL DE FRESADORAS CNC.**

Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 11 de dezembro de 2017.

Banca examinadora:



Orientador: Professor Dr. Aristides Rivera Torres



Professor Dr. Antonio Claudio Kieling

Professor Dr. Edry Garcia Cisnero

Dedico esta graduação em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada. À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Principalmente aos meus pais, pelo seu apoio e cuidado durante esta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Durante o curso deste trabalho o apoio recebido por todos foi de grande importância e em cada parte dele tem um pouco de cada um e o mínimo que pode ser feito para homenagear cada pessoa é realizar os meus agradecimentos através deste pequeno texto.

Primeiramente, agradeço a Deus por ter permitido que eu pudesse realizar esta grande tarefa em minha vida, por ter me guiado sempre em seu caminho e por sempre me ajudar nos desafios que surgiram durante os anos.

Agradeço a minha mãe e ao meu pai, meus heróis que sempre me deram apoio, incentivo nas horas difíceis, nos momentos de desânimo, que nunca descreditaram de mim durante este período e que sempre fizeram coisas além do seu alcance para que eu pudesse concluir esta árdua tarefa.

Obrigado aos meus tios e tias, a minha madrastra e ao meu padrasto, aos meus irmãos, aos meus primos e primas, que fizeram de tudo para que me dessem o apoio que eu precisava enquanto distante dos meus pais.

Agradeço aos meus novos amigos formados durante estes 5 anos de cursos, aos antigos amigos, aos novos e antigos colegas que foram companheiros de estudos e que se tornaram companheiros de vida e que irão continuar presentes em minha vida.

Ao meu orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho e ao apoio na elaboração do mesmo.

Aos professores que fazem parte do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas que sempre se dispuseram para nos ajudar, a nos ensinar e que muitas vezes sofreram com a nossa perseguição para a tira de dúvidas.

A todos os que não foram citados neste tópico mas que fizeram parte, direta ou indiretamente, da minha vida acadêmica.

"A Grande Conquista é o resultado de pequenas vitórias que passam despercebidas."

(Paulo Coelho)

RESUMO

Este trabalho irá abordar a elaboração de programas de código G realizando o confronto entre a programação manual e a programação através de softwares geradores de código. A escolha deste tema foi definida pois há a crescente dúvida de programadores em quais momentos a programação manual pode ser superior a programação por software e vice-versa. Com isso, houve a necessidade de provar em quais situações qual dos métodos seriam utilizados, para isso lançou-se mão de duas técnicas de análise: cronometragem do tempo de programação e comparação do tamanho dos códigos G gerados. Os dados obtidos comprovam o que já era esperado: a programação por software é mais viável. Entretanto, nem sempre o ambiente de trabalho são os ideais, sendo assim, provou-se também que existem casos em que a programação manual pode ser mais aconselhável. Após o abordado no trabalho pode-se verificar que antes de definir qual método de programação deve ser utilizado, o ambiente de trabalho deve ser analisado pois este determinará qual método que será utilizado. Este trabalho pode ser utilizado para realizar o estudo para outros processos de usinagem em que haja o comando numérico computadorizado.

Palavras-chave: programação; métodos; ambiente.

ABSTRACT

This work will approach the development of G-code programs by combining manual programming with programming using code-generating software. The choice of this theme has been defined because there is the growing doubt of programmers in what moments manual programming may be superior to software programming and the opposite too. Therefore, it was necessary to prove in which situations which of the two methods would be used. For this, two analysis techniques were used: timing of programming time and comparison of the size of generated G codes. The data obtained prove what was expected: software programming is more feasible. However, the work environment is not always ideal, so it has also been proven that there are cases where manual programming may be more advisable. After the approach in the work can be verified that before defining which programming method should be used, the work environment must be analyzed because this will determine which method will be used. This work can be used to perform the study for other machining processes in which there is computerized numerical control.

Key-words: programming; methods; environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESE.....	14
1.2. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. Objetivos gerais.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.3.3. Justificativa.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1. USINAGEM.....	17
2.1.1. Fresamento manual	17
2.2. COMANDO NUMÉRICO	20
2.2.1. Comando Numérico Computadorizado.....	21
2.2.2. Programação do Código G	22
2.3. MÁQUINAS COM CNC	23
2.3.1. Fresadora de CNC	24
2.4. DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR	24
2.4.1. Inventor Professional.....	24
2.5. MANUFATURA ASSISTIDA POR COMPUTADOR	25
2.5.1. Inventor HSM.....	25
2.5.2. Siemens NX11.....	25
2.6. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO.....	26
3. METODOLOGIA.....	27
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1. PEÇA PRISMÁTICA UTILIZANDO A OPERAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO LINEAR	29
4.1.1. Programação por software.....	29
4.1.2. Programação manual	30
4.2. PEÇA PRISMÁTICA UTILIZANDO A OPERAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO CIRCULAR	31
4.2.1. Programação por software.....	31
4.2.2. Programação manual	31
4.3. PEÇA PRISMÁTICA UTILIZANDO AS OPERAÇÕES: INTERPOLAÇÃO LINEAR E CIRCULAR	32
4.3.1. Programação por software.....	32
4.3.2. Programação manual	33
4.4. ANÁLISE DE DADOS	34

5. CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37
ANEXO A - Programação gerada por software da peça 1.....	39
ANEXO B - Programação manual da peça 1.....	41
ANEXO C - Programação gerada por software da peça 2.....	42
ANEXO D - Programação manual da peça 2	44
ANEXO E - Programação gerada por software da peça 3	45
ANEXO F - Programação manual da peça 3.....	47

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Fresadora mecânica da equipe de aerodesign URUTAU.....	18
Figura 2 Máquina Fresadora NC Controlado por Fita Perfurada	20
Figura 3 Comando numérico computadorizado do torno de CNC ROMI Centur 30D MACH 9.	21
Figura 4 Simulação da programação por software no Inventor	29
Figura 5 Simulação da programação manual no software CNC Simulator.	30
Figura 6 Simulação da programação software no Inventor.....	31
Figura 7 Simulação da programação manual no software CNC Simulator.	31
Figura 8 Simulação da programação por software no Inventorr.....	32
Figura 9 Simulação da programação manual no software CNC Simulator	33
Figura 10 Gráfico do tempo VS tipo de programação/peça.	34
Figura 11 Gráfico da quantidade de linhas VS método/peça.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Dados obtidos através das técnicas abordadas.....	34
--	----

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CNC	Comando Numérico Computadorizado
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Assistida por Computador

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo de fabricação que se classifica como sendo um processo de manufatura onde há a remoção de material. A remoção deste material é feita através da ferramenta de corte e os materiais removidos são denominados de cavaco.

A usinagem pode ser realizada de forma manual ou auxiliada por computador, onde na manual o operador da máquina é responsável por determinar todas as cotas pedidas no projeto e na auxiliada por computador, as cotas desejadas são obtidas através da programação da máquina de controle numérico computadorizado (CNC), que a própria máquina executa.

Na indústria, a qualidade, a quantidade e o tempo de produção de peças estão diretamente ligados à automação dos processos de fabricação. Sendo assim, o uso de máquinas-ferramentas automatizadas é de grande importância para quem almeje atingir elevados padrões de produção.

O setor da indústria que fabrica estas máquinas-ferramentas está promovendo rápidos avanços tecnológicos de seus produtos o que impulsiona também o avanço das formas de programação das máquinas de CNC. Atualmente, há o consolidado método de programação (programação manual) e o que está em ascensão (programação por softwares).

1.1. PROBLEMATIZAÇÃO E HIPÓTESE

A programação manual das máquinas de comando numérico computadorizado (CNC) é uma etapa do processo de produção ultrapassado pela programação através de softwares.

Serão abordadas as seguintes hipóteses:

Hipótese 0: A utilização de softwares geradores do código G toma menos tempo de programação que a programação manual do G-code.

Hipótese 1: O método de programação utilizado pode variar de acordo com a complexidade e tipo de usinagem da peça.

Hipótese 2: O método de programação manual pode, em determinados casos, ser preferível ante o método computacional.

1.2. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Comparação da programação feita por software gerador do código G e da feita manualmente de PEÇAS PRISMÁTICAS.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo geral

Comparar o tempo tomado para a programação do código G e o tamanho dos códigos gerados através do método de aplicação de software e do método de programação manual.

1.3.2. Objetivos específicos

Utilizar o software Autodesk Inventor para realizar o projeto de eixos e peças prismáticas.

Aplicar o software HSM® ultimate para gerar o código G de peças prismáticas.

Aplicar o simulador CNC simulator para realizar a simulação da fabricação de peças prismáticas.

1.3.3. Justificativa

Esta pesquisa terá como foco a comparação do código G de peças prismáticas gerados a partir da programação manual e da programação através de softwares, visando determinar qual método tomará menos tempo para a elaboração do código G que será interpretado pela máquina de CNC.

A escolha deste tema está baseada, principalmente, devido ao tempo que é demandado para realizar a elaboração do código G de uma peça através da programação manual e na inserção de novas tecnologias de programação para que os profissionais possam conhecer e utilizar estas ferramentas. O processo de elaboração manual do código G de uma peça também possui outros fatores que podemos elencar como negativos: necessidade do conhecimento prévio de programação, erros humanos e dificuldade na elaboração.

Vale ressaltar que a programação de peças complexas utiliza muito tempo de projeto, pois é necessário realizar o estudo da peça e elaborar o seu programa, além do tempo de preparação da máquina, com a introdução do programa na máquina, testes e simulações.

Tempo este que na indústria ou até mesmo nos laboratórios das universidades afeta a produtividade do processo.

A aplicação dos softwares terá como objetivo suprir parcialmente ou completamente os fatores acima citados. Atualmente, o uso destes softwares está em expansão nas instituições de ensino e em algumas empresas. Estes softwares, usualmente, são usados em conjunto com softwares de desenho assistido por computador (CAD), entretanto, há casos onde os softwares que geram o código G são independentes. No último caso o desenho em três dimensões da peça é exportado para o software de geração e nele consegue-se extrair o código G.

Para os alunos, professores e servidores que necessitarem utilizar as máquinas operatrizes de CNC, a programação não será o grande empecilho, pois a partir do desenho 3D o responsável pelo laboratório, através do software, poderá gerar o código G para realizar o desenho da peça e realizar pequenas mudanças, se necessário.

Este estudo terá grande importância na sociedade, pois demonstrará em quais ocasiões a elaboração manual do código G será superior à elaboração por software e vice-versa como no caso em que a comunicação do computador com a máquina CNC não está em funcionamento. Este resultado irá facilitar na escolha do método de elaboração do código, poupando tempo de fabricação.

Os envolvidos diretamente e indiretamente obterão grandes ganhos sobre o assunto. Para os que terão envolvimento direto, professor orientador e aluno orientado, a maior gratificação será o aprimoramento do seu conhecimento nesta área da engenharia. Para quem possuir envolvimento indireto, demais alunos e professores, usufruirão dos dados e resultados obtidos nesta monografia para realizar os seus futuros projetos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. USINAGEM

É comum a todos os seres humanos a fabricação de ferramentas para sua sobrevivência desde os tempos antigos. Hoje, claramente, com métodos de fabricação mais eficazes a produção daquelas ferramentas está relativamente mais fácil.

Um dos métodos de produção de peças atuais é a Usinagem. Segundo (SENAI, 1998), a usinagem é o processo onde com a remoção de material, consegue-se alcançar a geometria e qualidade desejada em um projeto ou por um cliente.

Utilizando o processo de usinagem, ao invés dos demais processos de fabricação, é possível atingir alguns objetivos, tais como: acabamento de peças fundidas ou forjadas, a fim de se obter melhor acabamento superficial e dimensões mais precisas; obter peças com geometrias complexas; fabricar pequena quantidade de peças; e poder realizar a produção em linha de peças com menor custo e tempo (CHIAVERINNI, 1986).

A remoção do material excedente é feita pela ferramenta denominada *ferramenta de corte* e o material removido recebe o nome de *cavaco*.

A quantidade de processos de usinagem é muito grande, assim como a quantidade de máquinas operatrizes e ferramentas de corte (CHIAVERINNI, 1986).

2.1.1. Fresamento manual

O processo de usinagem por fresamento é definido como sendo um processo de remoção de material através de uma ferramenta de corte giratória com vários gumes, no qual o material removido é retirado de uma peça fixada (CHIAVERINNI, 1986).

A máquina-ferramenta utilizada neste processo recebe o nome de fresadora. A aplicação desta ferramenta está associada a produção de peças prismáticas e substitui, na maioria das vezes, o uso da furadeira de bancada que tem uma aplicação semelhante.

As fresadoras, assim como dito anteriormente no tópico de torno, possuem semelhantes entre si, independentemente do tipo de acionamento da ferramenta. Como já é sabido, estas características servem para informar ao operador ou projetista os limites da máquina ou parâmetros necessários para se realizar um novo projeto.

A composição principal de uma fresadora é dada da seguinte forma: base; coluna; árvore; suporte; mesa; peça; cabeçote; e porta-ferramenta (CHIAVERINNI, 1986).



Figura 1 Fresadora mecânica da equipe de aerodesign URUTAU. Fonte: do autor.

As características supracitadas variam de acordo com a fabricante da ferramentaria, bem como com o objetivo da máquina-ferramenta.

Nas fresadoras convencionais, encontramos um mecanismo chamado divisor universal que possibilita realizar operações de fresamento equiangulares ao redor de uma

circunferência, e realizar ranhuras helicoidais em superfícies cilíndricas (CHIAVERINNI, 1986).

Encontra-se ainda nas fresadoras os dispositivos mecânicos que possibilitam o operador realizar diversos trabalhos, observados os limites das máquinas.

Estes mecanismos podem ser divididos em três grupos, que são: i) mecanismos de fixação de ferramentas de corte e de peça trabalhada; ii) mecanismos de movimentação e iii) mecanismos de controle de parâmetros.

No primeiro grupo, temos o cabeçote que fixa a fresa e a morsa que fixa a peça que será usinada. No segundo, temos todos os componentes responsáveis por transmissão de movimento: engrenagens, polias, parafusos com passes e guias. Já o terceiro, traz as alavancas e seletores de parâmetros dos trabalhos a serem realizados.

O princípio de funcionamento de uma fresadora manual é semelhante a todas as demais fresadoras existentes, existindo apenas algumas variações de acordo com o fabricante da máquina.

A fresa será fixada no cabeçote e este será acionado realizando a rotação da ferramenta de acordo com a velocidade limite da fresadora e da ferramenta. Em seguida, já com a peça fixada na morsa, o operador irá movimentar o carro até obter a geometria final desejada.

No funcionamento da máquina, haverão dois tipos de movimento: o movimento de rotação e linear do eixo-árvore e o movimento linear do carro.

O movimento de rotação do eixo-árvore é responsável pela remoção do material e este pode girar em dois sentidos: horário e anti-horário; além de mover-se linearmente no eixo Z que interfere na profundidade da usinagem por fresamento.

O movimento linear do carro é responsável pela geometria a ser usinada na peça, pode se movimentar no plano XY. A progressão da fresa na peça usinada é chamada de avanço.

A velocidade de rotação do eixo-árvore e o avanço definirão o tipo de acabamento da peça.

2.2. COMANDO NUMÉRICO

O Comando numérico é o método que controla o movimento das máquinas através da interpretação de instruções codificadas em números e letras (MARCIANO, 2017).

As letras e números contidos em um programa definem o tipo de movimento que a máquina realizará, estes caracteres podem referir-se a distâncias, ângulos, tempo de permanência, entre outros. O componente que realiza a integração da máquina-ferramenta com o comando numérico é chamado de interface e é programado de acordo com a finalidade da máquina. O uso de diferentes interfaces é notável quando abordamos o processo de fresamento e de torneamento pois sabe-se que neste a ferramenta possui movimento em apenas dois eixos, já naquele, possui em três eixos diferentes.

No começo do uso do comando numérico na usinagem, letras e números codificados eram reproduzidos em cartões perfurados. Eles eram eletronicamente gravados em fitas magnéticas (AZEVEDO, 2017).

No ano de 1952, no Massachusetts Institute of Technology, o primeiro protótipo de máquina CN foi construído. Este protótipo era uma fresadora vertical copiadora, os dados foram inseridos através de fita perfurada (LOPES, 2017).

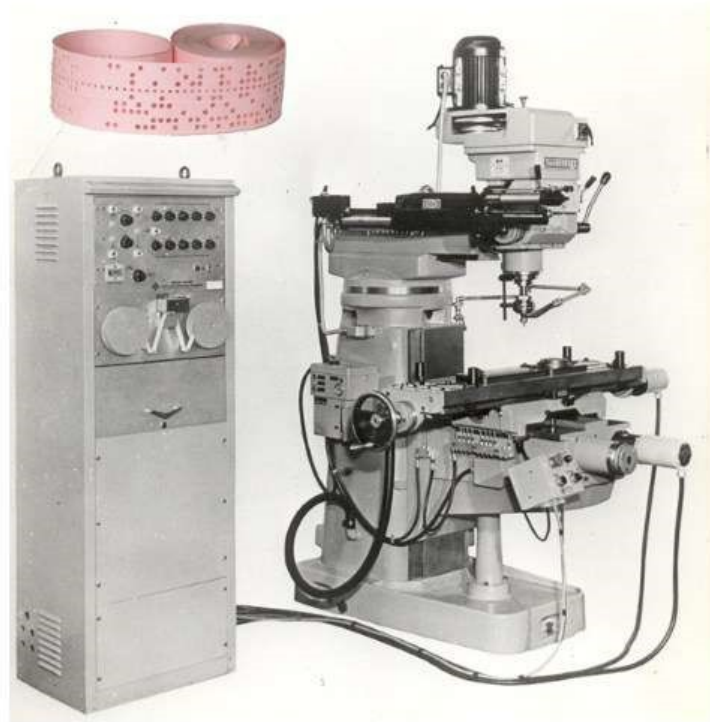


Figura 2 Máquina Fresadora NC Controlado por Fita Perfurada (PROTOPTIMUS, s.d).

A utilização do comando numérico não está ligada a um único tipo de ferramenta, ou seja, sua aplicação é feita em qualquer tipo de máquina-ferramenta. Os casos mais conhecidos de aplicação desta tecnologia são: tornos, fresadoras e centros de usinagem (BIGATON, 2017).

2.2.1. Comando Numérico Computadorizado

O controle numérico computadorizado é uma evolução do comando numérico, nesta evolução consta a substituição do controle por hardware para controle por software (MARCIANO, 2017). Com o aprimoramento do comando numérico, a eficiência do processo de usinagem por fresamento e torneamento tornaram-se mais eficazes.

O comando numérico computadorizado, que controla os movimentos da máquina, é um sistema integrado a máquina (MARCIANO, 2017).



Figura 3 Comando numérico computadorizado do torno de CNC ROMI Centur 30D MACH 9. Fonte: do autor.

As máquinas de CNC em relação às máquinas convencionais possuem algumas vantagens e desvantagens que demonstram o porquê da sua utilização nos processos de fabricação atuais, essas características são (MARCIANO, 2017):

Maior flexibilidade na produção de peças complexas que necessitem de bom acabamento dimensional;

Sem necessidade da produção de gabaritos para verificação das peças;

Menor tempo de setup das ferramentas e das peças produzidas;

Sem necessidade que o operador da máquina possua habilidade em torneamento;

Sem a necessidade de material físico para programar, devido a facilidade de salvar programas nas máquinas.

Apresentadas as vantagens, as desvantagens se resumem à: alto investimento inicial e manutenção cara. Entretanto, tais desvantagens podem ser ignoradas, haja vista que o retorno devido ao trabalho das máquinas será muito satisfatório.

2.2.2. Programação do Código G

A programação do código G de uma máquina de controle numérico computadorizado pode ser feita de quatro formas distintas: programação manual, programação por ferramentas automaticamente programadas, programação gráfica interativa e programação através de softwares (MARCIANO, 2017). Todos os métodos de programação da máquina possuem um objetivo em comum: a produção da peça. Entretanto, alguns métodos demandam mais tempo que outros e alguns métodos são menos difundidos.

Dos quatro métodos citados acima, dois possuem maior destaque por serem comumente utilizados nas indústrias e nas instituições de ensino, que são: programação manual e a programação por CAD-CAM. Com isso, a apresentação dos dois torna-se essencial para entender como ocorre o funcionamento do comando numérico interpretado a partir do código G.

A linguagem interpretada pelo comando numérico deve conter códigos formados por letras e números (MARCIANO, 2017). Na programação manual, o programador precisa ter consigo as dimensões finais da peça e as dimensões da matéria-prima que será utilizada no

processo. Além das variáveis acima, o programador precisa ter conhecimento das funções existentes nas máquinas, bem como as suas peculiaridades.

Na programação através de softwares CAD-CAM, mesmo que o programador ou o projetista da peça não possuam conhecimento na programação de peças, o software será capaz de gerar o código da programação, eliminando desta forma a necessidade do estudo de programação.

Segundo Marciano (s.d), na programação manual, o programa, após ser elaborado, passa por verificações gráficas na própria máquina de controle numérico computadorizado e na programação por CAD-CAM, o código gerado já testado dentro do próprio software.

A programação do código G será propriamente dita em tópicos futuros dedicados exclusivamente à eles.

2.3. MÁQUINAS COM CNC

As máquinas que possuem o comando numérico computadorizado são máquinas automatizadas que realizam o trabalho de usinagem de forma mais precisa e com maior produtividade sem que seja necessária a supervisão de um operador, isto implica em uma redução de custos com mão de obra e redução da perda de matéria prima pois a peça a ser usinada já possui dimensões próximas das finais.

As máquinas de CNC não se resumem apenas aos tornos e fresadoras, há ainda as empilhadeiras, as máquinas de corte dentre outras. Como dito no parágrafo anterior, com o uso da tecnologia CNC ocorre redução de custos da mão de obra pois um operador pode tomar conta de várias máquinas de CNC ao mesmo tempo. Deste modo, a operação da máquina por um operador ou por um pequeno grupo de operadores, também traz benefícios quando levamos em conta a manutenção, pois como são poucos os autorizados a operarem a máquina estes conhecem o seu histórico de manutenção e possuem o conhecimento mínimo necessário para operá-las.

Segundo Machado (1986), uma máquina que possui o comando numérico computadorizado é uma máquina capaz de seguir uma sequência de código programado, baseado em comando numérico, com o objetivo de elaborar qualquer perfil geométrico. O uso das máquinas com CNC influenciam ainda na segurança do trabalhador, pois o operador não tem contato com as partes móveis da máquina durante a sua operação.

2.3.1. Fresadora de CNC

O conceito de fresadora com Comando Numérico Computadorizado possui um amplo sentido no mundo da usinagem e o mais correto é: Qualquer máquina-ferramenta que possua um eixo árvore até acima de cinco pode ser incluído nesta categoria (WITTE, 1998 apud PEREIRA, 2003). Pode-se aumentar o conceito de fresadora de CNC como sendo a junção de uma fresadora manual com o comando numérico computadorizado que juntos realizam a usinagem a partir de um código de números e letras. Neste processo de usinagem, a peça é fixada na mesa e o movimento do eixo árvore, no eixo z, em conjunto com o movimento da mesa, no plano xyz, realizam a usinagem da peça. Nas fresadoras de CNC há um componente chamado magazine que serve para manter as ferramentas que serão utilizadas e trocadas automaticamente durante o processo.

2.4. DESENHO AUXILIADO POR COMPUTADOR

Softwares de CAD (Computer Aided Design) são utilizados na elaboração do desenho 2D e 3D das peças que serão usinadas. Existem várias ferramentas poderosíssimas presentes no mercado mas a que possui maior destaque é o Inventor Professional.

Estes softwares possuem ferramentas de análise, simulação e outras extensões que são bastante utilizadas no dia-a-dia de alunos, nas instituições de ensino, e por profissionais da área nas indústrias.

2.4.1. Inventor Professional

O Inventor Professional é um software da companhia Autodesk. Atualmente, está em sua versão 2018 trazendo muitas melhorias que facilitam a elaboração de projetos em relação aos softwares anteriores, além de criar novas ferramentas de trabalho.

O software pode ser obtido como uma versão do estudante, o que evita o alto custo do programa completo. Segundo Autodesk (2017), para que o software seja instalado no computador na versão mais recente o usuário deverá verificar se o seu computador atende aos principais requisitos:

- 1 - Microsoft Windows 7, 8.1 ou 10 de 64 bits;
- 2 - Mínimo de 8GB de RAM;
- 3 - Espaço mínimo em disco de 40 GB; e
- 4 - Placa de vídeo que seja compatível com Microsoft DirecteD 10®.

O domínio desse software é essencial para alunos de engenharia mecânica e profissionais formados da área.

2.5. MANUFATURA ASSISTIDA POR COMPUTADOR

Segundo Siemens (2017), a manufatura assistida por computador (CAM), de modo geral, faz referência a aplicativos de software de controle numérico (NC) para elaborar as instruções do código G que são utilizados em máquinas-ferramentas de controle numérico computadorizado (CNC). Desta forma, as indústrias necessitam da tecnologia CAM para produzir peças com mais qualidade.

Segundo Siemens (2017), os benefícios que a utilização da CAM trazem, são:

Resultados esperados na produção de acordo com o plano inicial de fabricação;

O uso de sistemas CAM maximizam a utilização de uma ampla faixa de equipamentos com CNC;

Há ainda a possibilidade de que os aplicativos CAM auxiliem na criação, verificação e otimização de programas NC objetivando a produtividade ideal para cada peça; e

Estes aplicativos podem conter integração com sistemas DNC que realizam o envio e recebimento de arquivos para máquinas de CNC.

Desta forma, os softwares de CAM (Computer Aided Manufacturing) são aqueles utilizados na elaboração do código G da peça que será usinada. Eles geram o código que orienta a máquina nas operações durante o processo de usinagem.

Os dois softwares CAM mais utilizados são o inventor HSM e o siemens NX CAM.

2.5.1. Inventor HSM

O inventor HSM é uma extensão do Inventor, nele o usuário pode realizar operações de usinagem com o objetivo de gerar o código G da peça que será usinada. Este software facilita e reduz o tempo de programação das peças.

Assim como o Inventor, o domínio deste software é essencial para todos que trabalham no meio dos processos de fabricação. Neste trabalho, será realizado apenas uma demonstração do quanto o software pode realizar, ou seja, ele pode muito mais do que será mostrado e depende apenas do trabalho que será realizado pelo usuário.

2.5.2. Siemens NX11

O NX é um software semelhante ao Inventor HSM. Ele possui uma expansão chamada NX CAM 11. O NX CAM possui excelentes ferramentas na área de CAM, tanto para modelagem quanto para usinagem, proporcionando um grande aumento da produtividade de peças através da geração do código de programação (SIEMENS, 2017).

Segundo Siemens (2017), o NX ainda possui: recursos avançados de programação que oferecem recursos desde uma programação simples à uma programação complexa; automação de programação que realiza a redução de até 90% do tempo de usinagem de uma peça; pós-processamento e simulação que realizam os testes da programação feita pelo próprio software;

e a solução integrada que é utilizado na solução de problemas presentes na peça que será estudada para programação.

O NX CAM 11 destaca-se por trabalhar na usinagem de produção, usinagem de peças complexas e na usinagem de moldes e matrizes (SIEMENS, 2017). Os requisitos de instalação do software no computador do usuário são semelhantes aos do Inventor HSM, haja vista, que eles possuem características de trabalho semelhantes.

2.6. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Softwares de simulação são utilizados para realizar a verificação do código gerado, eles verificam se o código gerado irá funcionar de maneira correta evitando desta forma a danificação da máquina-ferramenta. Neste trabalho o software que será utilizado é o CNC Simulator.

O CNC simulator é uma ferramenta de simulação de código G, seja ele feito pelo operador ou por softwares CAM, nele há uma grande quantidade de máquinas-ferramentas que podem ser simuladas e conta com características bem semelhantes as das máquinas-operatrizes reais.

Segundo CNCsimulator (2017), além de realizar a simulação de programas de código G ele também funciona como um software CAD/CAM realizando alterações em elementos de projetos.

A utilização do software, neste trabalho servirá para comprovar a exatidão dos programas feitos, tanto os feitos manualmente quanto os elaborados através de softwares e comparar os resultados obtidos em cada método de programação.

3. METODOLOGIA

MÉTODO:

Nesta etapa, houve o estudo dos métodos de programação através de tutoriais (para os softwares) e de apostilas (para a programação manual). Estes estudos são essenciais para alcançar o objetivo deste trabalho. Os métodos de elaboração do código G serão: por software e manual.

O método de elaboração por software é feito a partir da peça 3D. Nele, o responsável irá utilizar um software CAM e irá determinar os parâmetros de usinagem da peça desejada.

O método de elaboração manual é feito a partir do desenho em 2D com as suas cotas. Nele, o responsável irá realizar o estudo dos pontos de programação e determinar os parâmetros necessários de usinagem.

Como já é de se esperar, em ambos os métodos, o conhecimento prévio é indispensável, uma vez que, este processo de usinagem requer precisão e segurança.

TÉCNICAS:

A técnica para a análise do tempo de elaboração do código G será a cronometragem. Segundo (MARTINS, LAUGENI, 2005), um dos métodos mais utilizados para medir o trabalho é a cronometragem. Atualmente, essa metodologia continua sendo muito utilizada para determinar tempos padrões e custos de produção. A cronometragem será realizada nos dois processos de programação em cada um dos casos trabalhados. A cronometragem neste trabalho será realizada por um cronômetro digital e em cada caso, uma nova tomada de tempo será realizada.

A outra técnica que será utilizada é a da comparação. Será aplicada quando tivermos que verificar o tamanho dos códigos feitos pelos métodos.

PROCEDIMENTOS:

A cronometragem da elaboração de cada programa será feita para três peças prismáticas. A primeira será uma peça que tenha interpolação linear, a segunda terá interpolação circular e a terceira terá os dois tipos de interpolação. Cada peça passará por dois métodos de elaboração (manual e por software) do código G.

Na programação manual, das peças prismáticas, o responsável por este processo deverá possuir em mãos o desenho 2D das peças com as suas cotas. A partir deste ponto, ele deverá seguir as etapas:

- 1° - Estudar a peça (definição de pontos cartesianos, zero peça);
- 2° - Definir parâmetros de usinagem (avanço, ferramenta de corte e velocidade);
- 3° - Elaborar programa;
- 4° - Revisão do programa;
- 5° - Simulação do programa (testes).

A cronometragem da programação manual começará a partir do estudo da peça e terminará com a simulação do programa.

Na programação por software o responsável deverá possuir o desenho 3D em seu computador e um software CAM. Neste estudo, o software utilizado será o Inventor HSM. A partir deste ponto ele poderá proceder para a elaboração do código G seguindo as etapas:

- 1° - Abrir a peça 3D no software CAM;
- 2° - Definir parâmetros e ponto zero da peça;
- 3° - Elaborar programa pelo software;
- 4° - Simulação do programa.

A cronometragem do programação por software começará com a abertura do software CAM e terminará com a simulação do programa.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

As duas análises (de tempo e de tamanho) que foram propostas serão analisadas nos tópicos a seguir. Como já foi definido, na análise de tempo será utilizada a cronometragem através de um cronômetro digital e na análise do tamanho dos códigos faremos uso da comparação de programas.

4.1. PEÇA PRISMÁTICA UTILIZANDO A OPERAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO LINEAR

A peça a seguir foi escolhida pelo orientando e pelo orientador com o intuito de exemplificar a teoria a ser provada. Esta peça possuirá, majoritariamente, interpolação linear em sua usinagem.

4.1.1. Programação por software

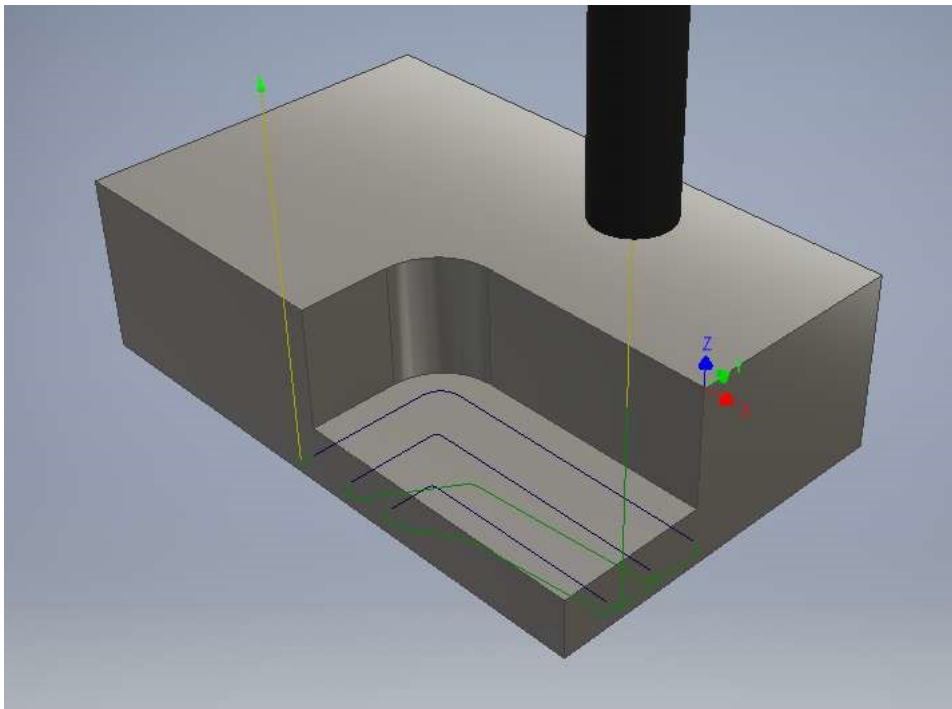


Figura 4 Simulação da programação por software no Inventor. Fonte: do autor.

Como foi definido na metodologia, o tempo passou a contar a partir a abertura da peça no software CAM. Em seguida, definiram-se os parâmetros do processo. Como esta programação foi feita pelo software, foi apenas necessário indicar a velocidade de rotação do eixo motor da fresa e todos os dados foram calculados automaticamente.

Os passos seguintes foram realizados de acordo com a metodologia abordada e a tomada de tempos foi realizada.

A elaboração do código G desta peça, utilizando o software, levou um tempo médio de 3 minutos 10 segundos e 43 centésimos de segundo.

Tendo a primeira análise em mãos houve a verificação do código G gerado pelo software, conforme é possível verificar no “ANEXO A” deste trabalho o código obteve 60 linhas de programação e foi utilizada uma fresa de 4 milímetros de diâmetro para usinar a cavidade da peça.

4.1.2. Programação manual

Na programação manual, seguindo a metodologia apresentada, primeiro obteve-se a representação cartesiana dos pontos, a definição de parâmetros e por fim a elaboração do programa.

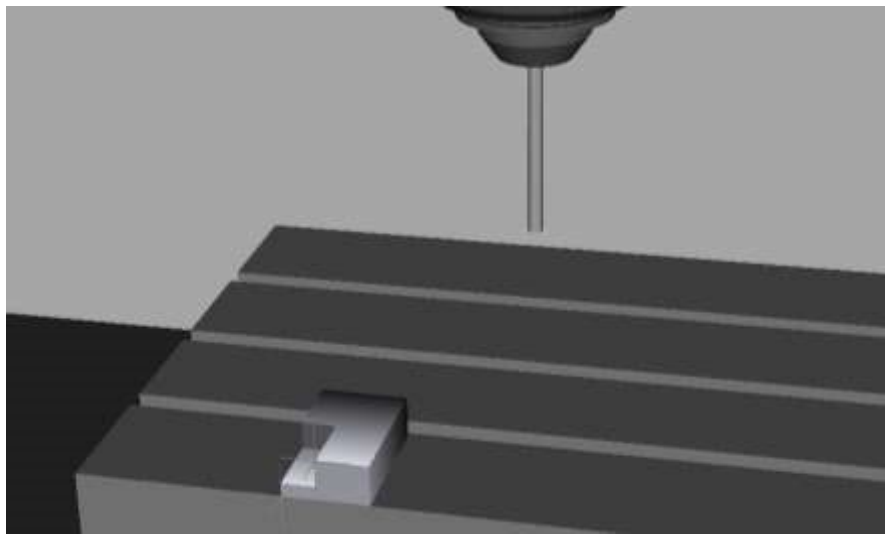


Figura 5 Simulação da programação manual no software CNC Simulator. Fonte: do autor.

Na imagem acima, tem-se a peça usinada a partir da programação manual e nesta etapa o tempo cronometrado foi de 8 minutos 3 segundos e 40 centésimos de segundo.

Após a análise de tempo de programação foi feita a análise da quantidade de linhas utilizadas para realizar a programação manual, conforme o é possível certificar no "ANEXO B" este código possui 14 linhas de programação.

4.2. PEÇA PRISMÁTICA UTILIZANDO A OPERAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO CIRCULAR

Esta peça foi definida tendo em vista que o exemplo anterior abordava apenas a interpolação linear, nesta teremos a presença da interpolação circular, o que aumentará a dificuldade de programação.

4.2.1 Programação por software

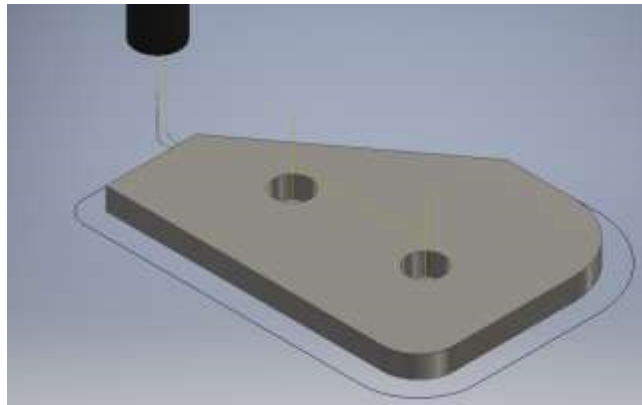


Figura 6 Simulação da programação software no Inventor. Fonte: do autor.

A elaboração do programa desta peça foi feita de acordo com a metodologia já apresentada e levou o tempo de 3 minutos 16 segundos e 43 centésimos de segundo.

Da mesma forma como no caso anterior, após a análise do tempo houve a verificação do código G gerado pelo software, conforme é possível verificar no “ANEXO C” deste trabalho o código obteve 85 linhas de programação e foi utilizada uma fresa de 10 milímetros de diâmetro para usinar a da peça.

4.2.2. Programação manual

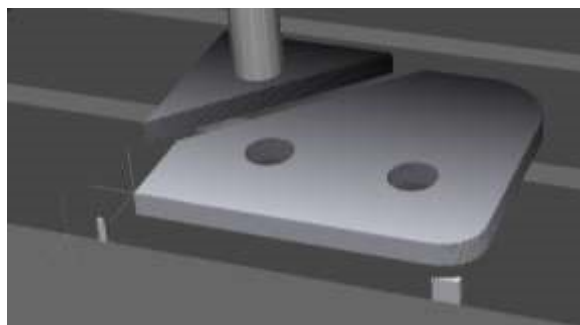


Figura 7 Simulação da programação manual no software CNC Simulator. Fonte: do autor.

A programação da peça acima foi feita de forma manual neste tópico, com a introdução da interpolação circular houve mudança no tipo de análise o que aumentou o tempo de programação desta peça.

A programação desta peça levou o tempo de 12 minutos 49 segundos e 68 centésimos de segundo e conforme o "ANEXO D" é possível verificar que a programação teve 21 linhas.

4.3. PEÇA PRISMÁTICA UTILIZANDO AS OPERAÇÕES: INTERPOLAÇÃO LINEAR E CIRCULAR

Após a análise das duas peças anteriores, é notável que haverá casos em que os dois tipos de interpolação estarão presentes em uma mesma peça. Desta forma, decidiu-se realizar a análise de uma peça que tivesse os dois tipos de interpolação e realizar a análise do tempo de programação do mesmo.

4.3.1. Programação por software

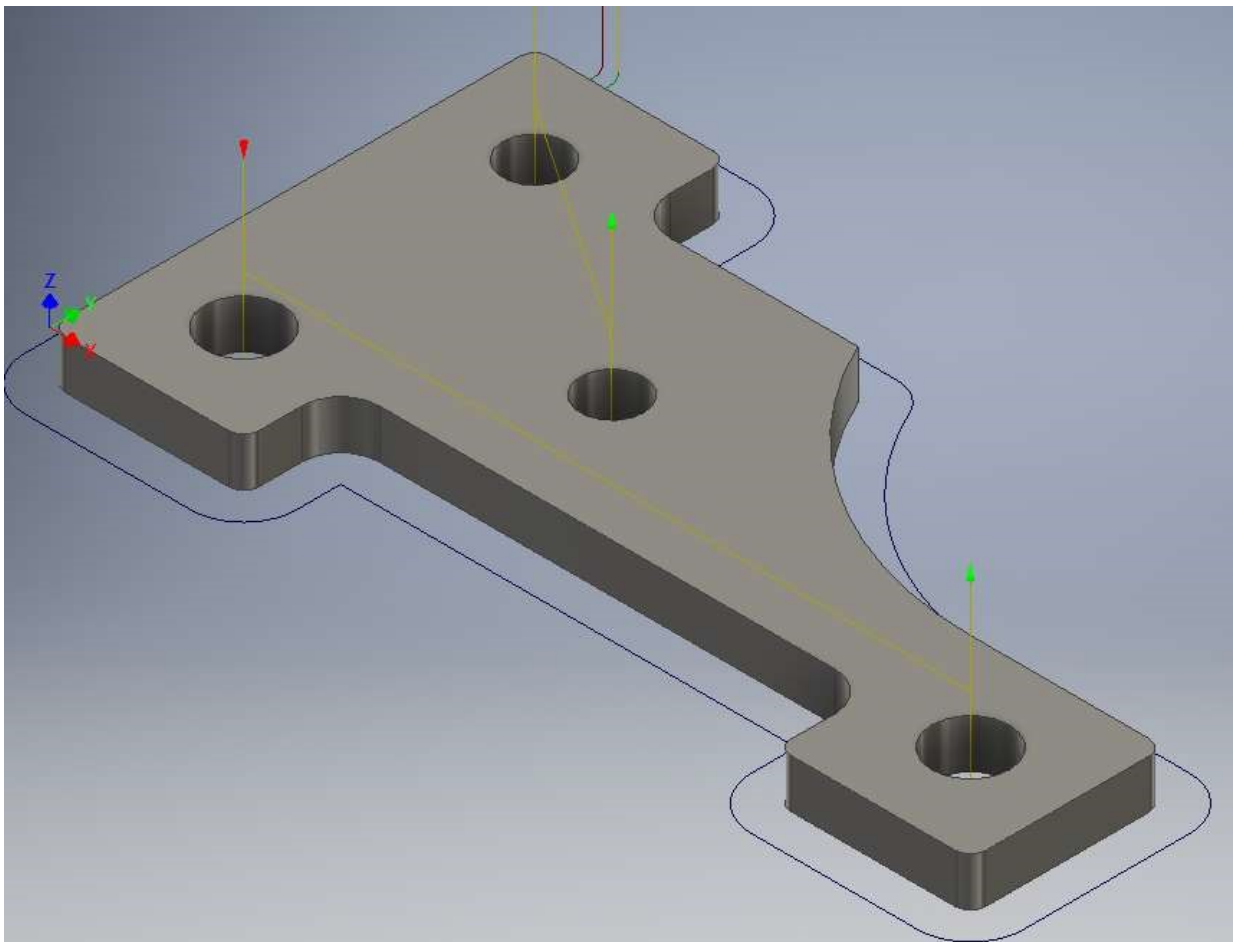


Figura 8 Simulação da programação por software no Inventorr. Fonte: do autor.

Nesta peça, com a presença dos dois tipos de interpolação, o tempo de programação da peça foi de 6 minutos 5 segundos e 17 centésimos de segundo.

Para realizar a usinagem da peça usaram-se duas brocas de furação. Uma de 6,5 milímetros de diâmetro e outra de 8 milímetros de diâmetro. Além de um fresa de 8 milímetros.

Nesta programação foram geradas 74 linhas de código conforme mostra o "ANEXO E".

4.3.2. Programação manual

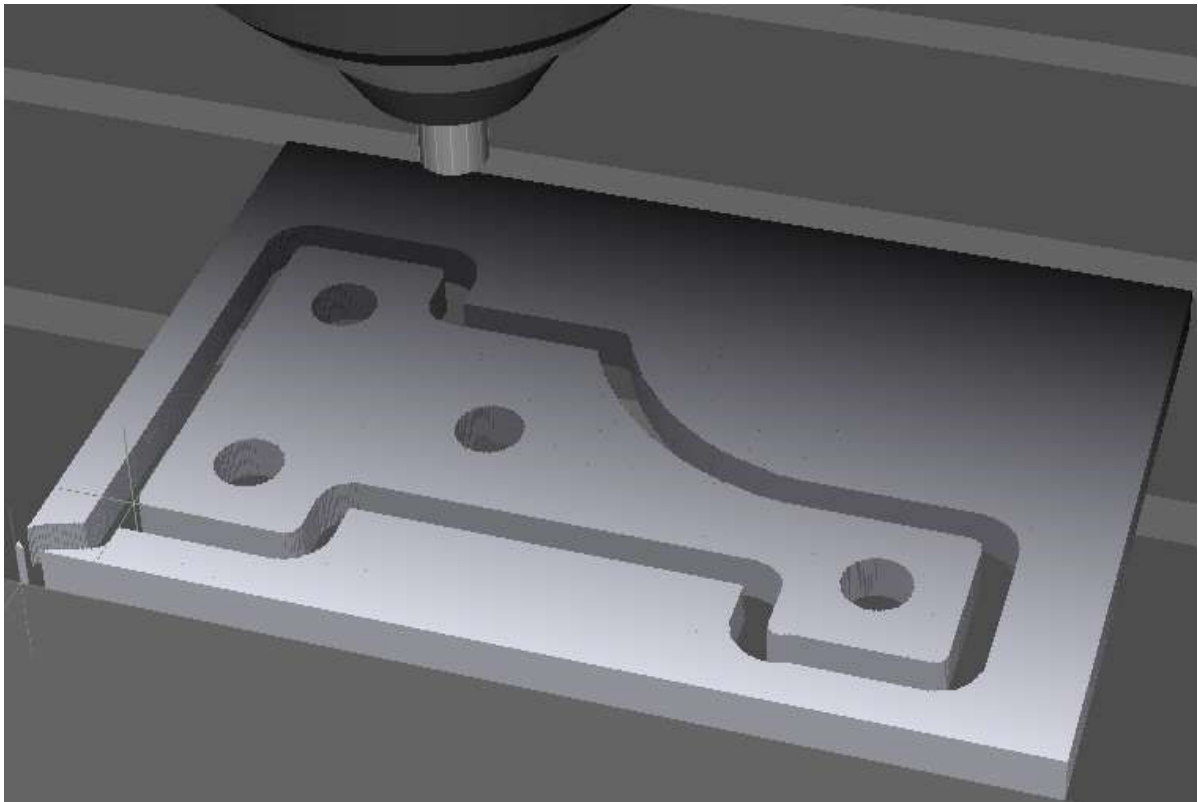


Figura 9 Simulação da programação manual no software CNC Simulator. Fonte: do autor.

A última peça foi uma que possuía os dois tipos de interpolações, mais o processo de usinagem de furação o que dificultou muito a sua análise e tomou um grande tempo de programação do seu código G. Nesta peça, o tempo de programação manual foi de 31 minutos 44 segundos e 21 centésimos de segundo.

Nela, foram utilizadas as mesmas ferramentas da peça anterior. O número de linhas de códigos gerados manualmente foram de 45 linhas conforme pode ser encontrado no "ANEXO F".

4.4. ANÁLISE DE DADOS

Após as análises feitas para cada método de programação em cada peça, é possível agrupar os valores na tabela abaixo a fim de verificar qual o processo que pode ser superior ao outro. As diferenças entre os tempos de programação e o tamanho do código se baseiam principalmente no método de programação utilizado, haja vista que, cada método possui a sua peculiaridade.

PEÇA	MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO	TEMPO DE PROGRAMAÇÃO (s)	LINHAS DE PROGRAMA
1	Software	190,43	60
	Manual	483,4	14
2	Software	196,43	85
	Manual	769,68	21
3	Software	365,17	80
	Manual	1904,21	45

Tabela 1 Dados obtidos através das técnicas abordadas.

Com a tabela acima, nota-se que em todos os casos o tempo de programação de software é menor que o tempo de programação manual, fato este, já esperado neste trabalho. Entretanto, com uma análise mais detalhada percebe-se que o tamanho dos programas feitos a mão possuem tamanho menor.

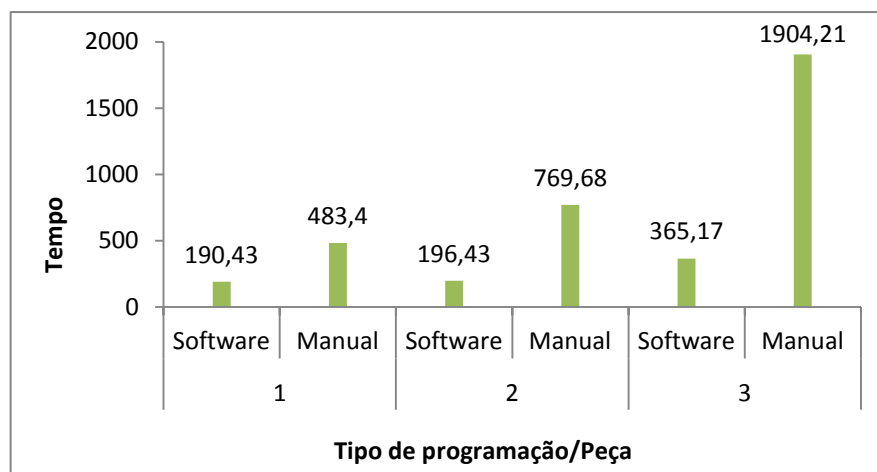


Figura 10 Gráfico do tempo VS tipo de programação/peça. Fonte: do autor.

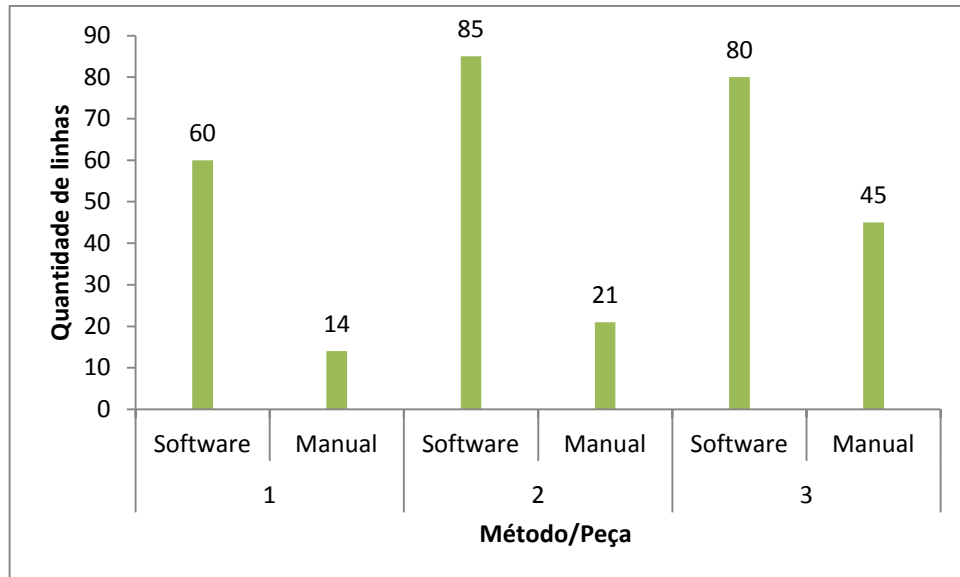


Figura 11 Gráfico da quantidade de linhas VS método/peça. Fonte: do autor.

Após as análises dos dados obtidos, pode-se concluir que quando estivermos levando em conta o tempo de programação, o método por software será muito superior ao modo manual como está explícito nos gráficos.

A programação por software, em relação ao tempo, na peça 1 foi 60,6% menor que na programação manual, na peça 2 a programação por software foi 74,49% menor que na manual, na peça 3 a programação por software foi 80,82% menor que na programação manual.

Quanto ao tamanho dos códigos gerados o código gerado na peça 1, por software, foi 76,67% maior que o gerado manualmente; na peça 2, o código gerado por software foi 75,29% maior que o gerado manualmente; e na peça 3, o código gerado por software foi 43,75% maior que o gerado manualmente.

Entretanto, sabe-se que em algumas máquinas seja, por apresentarem defeito ou por não possuírem entrada de dados através de dispositivos externos (USB, cartões de memória ou cabos), surge a necessidade da entrada de dados manuais, o que nos ressalta a vantagem que a programação manual tem devido ao seu reduzido número de linhas.

5. CONCLUSÃO

Várias são as técnicas de programação do código G e estas aperfeiçoam-se com a prática. De tal forma, pode-se afirmar que: o método de programação ainda dependerá muito de quem for o programador, haja vista que, a sua eficiência está ligada diretamente ao conhecimento e atalhos aprendidos durante a vida de programados de máquinas CNC.

Quanto a aplicação dos softwares, pode-se dizer que ainda está em ascensão (em determinadas áreas) e que com o tempo a programação manual deixará de existir, tornando-se apenas um demonstrativo para entendimento de novos alunos. Com isso, faz-se necessário que durante a formação de profissionais da área ele tenha mais contato com estas novas ferramentas.

O objetivo geral, assim como os objetivos específicos, foram alcançados durante a realização deste trabalho de conclusão de curso. O objetivo geral pôde ser atingido ao comparar o tempo tomado na programação e ao comparar o tamanho dos códigos gerados.

A hipótese 0 foi provada neste trabalho, quando verificou-se que o tempo de programação por software é bastante inferior ao tempo de programação manual; a hipótese 1, que nos dizia que o método de programação utilizado varia de acordo com a complexidade da peça também foi provada como consta no corpo deste; e a hipótese 2, foi provada quando levou-se em conta o tamanho do código gerado, haja vista que em um local onde não tenha comunicação periférica, seria preferível a programação manual.

Os dados obtidos durante este trabalho servem de base para futuras decisões. Observa-se nestes que antes de realizar a programação será necessário verificar o ambiente ao qual a máquina está inserida. Este caso aplicado na Universidade do Estado do Amazonas, mais especificamente no laboratório A41 do departamento de Engenharia Mecânica, demonstra que a utilização da programação manual seria mais viável. Entretanto, em algum laboratório ou empresa em que a comunicação computador/máquina CNC esteja funcionando a programação por software seria a ideal.

Desta forma, ao fim deste trabalho, pôde-se comprovar a teoria existente e realizar algumas observações que podem acontecer em casos excepcionais como nos casos onde não há como comunicar a máquina CNC com o programa obtido por meio de software.

REFERÊNCIAS

- ROMI, **Manual de Programação e Operação CNC MACH9MP**, Santa Bárbara D`oeste, [1985},185p.
- SENAI-SP. **Iniciação ao comando numérico computadorizado**. São Paulo, 2006.
- PROTOPTIMUS. **Máquinas CNC: A história do Comando Numérico Computadorizado**. Disponível em: <<http://www.proptimus.com.br/maquinas-cnc-historia-comando-numerico-computadorizado/>>. Acesso em: 30/05/2017.
- CHIAVERINNI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. 2ª. ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1996.
- SENAI. SP. DRD. **Usinagem - tecnologia do corte**. São Paulo, 1998.
- PEREIRA, Athos Gleber. **Desenvolvimento e avaliação de um editor para programação CN em centros de usinagem**. Curitiba, 2003.
- LOPES, Luiz Eduardo. **Programação ao comando numérico**. PMR 2202.
- MARCIANO, João Paulo. **Introdução ao controle numérico**.
- AZEVEDO, Américo Luiz. **Os primórdios do controle numérico**. Disponível em: <<http://www.mundocnc.com.br/historico.php>>. Acesso em: 27/05/2017.
- BIGATON, Claudinei. **Automação CNC**.
- SILVA, Sidnei Domingues da. **CNC: Programação de Comandos Numéricos Computadorizados: Torneamento**. 6. ed. São Paulo: Erika, 2007.
- BOYD, Stephen; KIM, Seung-Jean; VANDENBERGHE, Lieven; HASSIBI, Arash. **A Tutorial on Geometric Programming**. Optimization and Engineering, vol. 8, p. 67-127, 2007.
- MACHADO, A. **Comando Numérico Aplicado a Máquinas - ferramenta**. São Paulo, Ícone,1990, 396p.
- SANDVIK, 2012, “**Manual Técnico de Usinagem, Parte A: Torneamento Geral**”, Sandvik Coromant, São Paulo, 156 p.Thomas, T. R., 1982, “**Rough Surface**”, Longman, London, 261p.
- SMID, P. **CNC Programming Handbook**, New York, Industrial Press, 2000, 620p.
- Autodesk HSM, **Site oficial Autodesk, Inc.**, Disponível em: <<http://cam.autodesk.com/try-inventor-hsm/>>. Acesso em: 05/05/2017.

NX 11, **Site oficial da Siemens.** Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/nx/for-manufacturing/cam/>. Acesso em 20/05/2017.

NOVASKI, Olívio. **Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica.** São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

Inventor, **Site oficial da Autodesk, Inc.,** Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br>>. Acesso em 06/05/2017.

HARDWARE. **Software comunicação automação pc x CNC.** Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/comunidade/software-comunicacao/225508/>>. Acesso em: 08/05/2017.

GUIACNC. **Transmissão de dados do CNC > PC e PC < CNC.** Disponível em: <<http://www.guiacnc.com.br/outros-162/transmissao-de-dados-do-cnc-gt-pc-e-pc-lt-cnc/>>. Acesso em: 11/05/2017.

FERRARESI, Dino. **Usinagem dos Metais.** São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SIEMENS. **CAM/computer aided manufacturing.** Disponível em: <<https://www.plm.automation.siemens.com/pt/plm/cam.shtml>>. Acesso em: 24/08/2017.

CNC Simulator, **Site oficial do CNCsimulator.** Disponível em: <<http://cnccsimulator.info/>>. Acesso em: 12/10/2017.

ANEXO A - Programação gerada por software da peça 1

%	N160 G02 X-9.193 Y-7.348 I0.679 J-0.437
N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80	N165 G01 X1.898 Y-6.541
N15 G21	N170 G03 X2.646 Y-5.756 I-0.059 J0.805
N20 G28 G91 Z0.	N175 G01 X2.706 Y-3.327
N25 G90	N180 G03 X1.899 Y-2.5 I-0.807 J0.02
N30 T5 M06	N185 G01 X-16.
N35 S5000 M03	N190 G03 X-17.5 Y-4. J-1.5
N40 G54	N195 G01 Y-10.
N45 M08	N200 Y-11.893
N55 G00 X2.892 Y-8.963	N205 G03 X-17.495 Y-11.956 I0.4
N60 G43 Z15. H05	N210 G01 X-17.41 Y-12.496
N65 G00 Z5.	N215 X-17.397 Y-12.573 Z-7.492
N70 G01 Z-7.1 F500.	N220 X-17.386 Y-12.647 Z-7.47
N75 G18 G03 X2.492 Z-7.5 I-0.4	N225 X-17.375 Y-12.715 Z-7.433
N80 G01 X1.889	N230 X-17.365 Y-12.775 Z-7.383
N85 X-10.718 F1000.	N235 X-17.357 Y-12.824 Z-7.322
N90 G17 G03 X-11.037 Y-9.282 J-0.319	N240 X-17.352 Y-12.861 Z-7.253
N95 G01 Y-11.897	N245 X-17.348 Y-12.883 Z-7.178
N100 G03 X-9.845 Y-12.607 I0.807	N250 X-17.347 Y-12.891 Z-7.1
N105 G01 X-6.275 Y-10.671	N255 G00 Z15.
N110 G02 X-5.973 Y-10.577 I0.385 J-0.71	N265 M09
N115 G01 X1.889 Y-9.77	N270 G28 G91 Z0.
N120 G03 X2.613 Y-8.997 I-0.082 J0.803	N275 G28 X0. Y0.
N125 G01 X2.704 Y-6.571	N280 M30
N130 G03 X1.898 Y-5.734 I-0.807 J0.03	%
N135 G01 X-13.947	
N140 G03 X-14.266 Y-6.053 J-0.319	
N145 G01 Y-11.888	
N150 G03 X-12.78 Y-12.325 I0.807	
N155 G01 X-9.813 Y-7.716	

ANEXO B - Programação manual da peça 1

G99

T01 M6

G00 X0. Y0. Z3.

G01 X-2. S800 F100. M03

G01 Z-8.

G01 Y18.

G01 X-6.

G01 Y0.

G01 X-10.

G01 Y18.

G01 X-6.

G01 Z20.

G00 X50. Y50. Z50.

M30

ANEXO C - Programação gerada por software da peça 2

%	N160 G02 X-3. Y24. I4.989 J-0.33 F800.
N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80	N165 G01 X37. Y54.
N15 G21	N170 G02 X40. Y55. I3. J-4.
N20 G28 G91 Z0.	N175 G01 X55.
N25 G90	N180 G02 X75. Y35. J-20.
N30 T3 M06	N185 G01 Y8.
N35 T1	N190 G02 X62. Y-5. I-13.
N40 S800 M03	N195 G01 X0.
N45 G54	N200 G02 X-5. Y0. J5.
N50 M08	N205 G01 Y20.
N60 G00 X-8.049 Y19.531	N210 G02 X-4.989 Y20.33 I5.
N65 G43 Z15. H03	N215 G03 X-5.921 Y21.394 I-0.998 J0.066
N70 G00 Z5.	N220 G01 X-6.919 Y21.46
N75 G01 Z1. F400.	N225 X-7.039 Y21.468 Z-4.993
N80 Z-4.	N230 X-7.157 Y21.476 Z-4.971
N85 X-8.041 Y19.53 Z-4.121	N235 X-7.272 Y21.484 Z-4.935
N90 X-8.02 Y19.529 Z-4.239	N240 X-7.382 Y21.491 Z-4.885
N95 X-7.984 Y19.527 Z-4.355	N245 X-7.485 Y21.498 Z-4.823
N100 X-7.934 Y19.523 Z-4.465	N250 X-7.58 Y21.504 Z-4.749
N105 X-7.872 Y19.519 Z-4.568	N255 X-7.665 Y21.51 Z-4.663
N110 X-7.798 Y19.514 Z-4.663	N260 X-7.74 Y21.515 Z-4.568
N115 X-7.712 Y19.509 Z-4.749	N265 X-7.802 Y21.519 Z-4.465
N120 X-7.618 Y19.502 Z-4.823	N270 X-7.852 Y21.522 Z-4.355
N125 X-7.514 Y19.496 Z-4.885	N275 X-7.887 Y21.525 Z-4.239
N130 X-7.405 Y19.488 Z-4.935	N280 X-7.909 Y21.526 Z-4.121
N135 X-7.29 Y19.481 Z-4.971	N285 X-7.916 Y21.527 Z-4.
N140 X-7.171 Y19.473 Z-4.993	N290 G00 Z15.
N145 X-7.051 Y19.465 Z-5.	N300 M05
N150 X-6.053 Y19.399	N305 G28 G91 Z0.
N155 G03 X-4.989 Y20.33 I0.066 J0.998	N310 G90

N315 M09

N320 M01

N325 T1 M06

N330 T3

N335 S400 M03

N345 G00 X51.288 Y20.346

N350 G43 Z15. H01

N360 G00 Z5.

N365 G98 G81 X51.288 Y20.346 Z-8. R5. F250.

N370 X21.392

N375 G80

N380 Z15.

N390 G28 G91 Z0.

N395 G28 X0. Y0.

N400 M30

%

ANEXO D - Programação manual da peça 2

G54.

T1 M6

G00 X-8. Y-8. Z5.

G01 Z-5. S800 F100 M03

G41 X0.

G01 Y20.

X40 Y60.

X55.

G02 X70. Y45. R15

G01 X70. Y8.

G02 X62. Y0. R8

G01 X0. Y0.

G00 G40 Z20.

G00 X20. Y21. Z2

G01 Z-5.

G01 Z5.

G00 X51. Y20.

G01 Z-5.

G01 Z5.

G00 X20. Y20. Z20.

M03

ANEXO E - Programação gerada por software da peça 3

%	N175 Z15.
N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80	N185 M05
N15 G21	N190 G28 G91 Z0.
N20 G28 G91 Z0.	N195 G90
N25 G90	N200 M01
N30 T3 M06	N205 T7 M06
N35 T2	N210 T3
N40 S800 M03	N215 S800 M03
N45 G54	N220 M08
N55 G00 X10. Y10.	N230 G00 X0.7 Y56.4
N60 G43 Z15. H03	N235 G43 Z15. H07
N70 G00 Z5.	N240 G00 Z5.
N75 G98 G81 X10. Y10. Z-8. R5. F250.	N245 G01 Z1. F1000.
N80 X85.	N250 Z-4.2 F333.
N85 G80	N255 G19 G02 Y55.6 Z-5. J-0.8
N90 Z15.	N260 G01 Y54.8 F1000.
N100 M05	N265 G17 G03 X1.5 Y54. I0.8
N105 G28 G91 Z0.	N270 G01 X18.5
N110 G90	N275 G02 X24. Y48.5 J-5.5
N115 M01	N280 G01 Y44.
N120 T2 M06	N285 X43.377
N125 T7	N290 G02 X46.991 Y41.714 J-4.
N130 S800 M03	N295 G03 X75. Y24. I28.009 J13.286
N140 G00 X10. Y40.	N300 G01 X93.5
N145 G43 Z15. H02	N305 G02 X99. Y18.5 J-5.5
N155 G00 Z5.	N310 G01 Y1.5
N160 G81 X10. Y40. Z-5. R5. F250.	N315 G02 X93.5 Y-4. I-5.5
N165 X35. Y23.	N320 G01 X76.5
N170 G80	N325 G02 X71. Y1.5 J5.5

N330 G01 Y6.

N335 X24.

N340 Y1.5

N345 G02 X18.5 Y-4. I-5.5

N350 G01 X1.5

N355 G02 X-4. Y1.5 J5.5

N360 G01 Y48.5

N365 G02 X1.5 Y54. I5.5

N370 G03 X2.3 Y54.8 J0.8

N375 G01 Y55.6

N380 G19 G03 Y56.4 Z-4.2 K0.8

N385 G00 Z15.

N390 G17

N395 M09

N400 G28 G91 Z0.

N405 G28 X0. Y0.

N410 M30

%

ANEXO F - Programação manual da peça 3

G54	G01 Z-5
T1 M6	G01 Z10
G00 X-8 Y-8 Z5	G00 X10 Y40
G01 Z-5 S800 F100 M03	G01 Z-5
G41 X0	G01 Z10
G01 X0 Y1.5	T3 M6
Y48.5	G00 X35 Y23
G02 X1.5 Y50 R1.5	G01 Z-5
G01 X18.5	G01 Z10
G02 X20 Y48.5 R1.5	G00 X85 Y 10
G01 Y44	G01 Z-5
G03 X24 Y40 R4.	G01 Z10
G01 X43	G00 X30 Y30 Z30
G03 X75 Y20 R35	M30
G01 X93.5	
G02 X95 Y 18.5 R1.5	
G01 Y1.5	
G02 X93.5 Y0. R1.5	
G01 X 77.5	
G02 X75 Y1.5 R1.5	
G01 Y6.2	
G03 X71 Y10 R4	
G01 X24	
G03 X20 Y6 R4	
G01 Y1.5	
G02 X18.5 Y0 R1.5	
G01 X1.5	
G02 X0 Y1.5 R1.5	
G01 G40 Z10.	
T2 M6	
G00 X10 Y10	

