

DESENVOLVIMENTO DE UM CONTROLADOR DE MÁQUINAS CNC BASEADAS EM MOTORES DE PASSO E CÓDIGO G

Henrique Borges Rezende, henriqueb_rezende@hotmail.com¹

Maria Eduarda Silva Bastos, mariaeduarda_bastos@hotmail.com¹

Matusalém Martins Lanes, mmlanes@gmail.com¹

Anderson Grandi Pires, agpires@cefetmg.com¹

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Rua José Péres, 558, Centro, Leopoldina MG

Resumo: A tecnologia de Comando Numérico Computadorizado (CNC) promoveu importantes avanços aos processos de manufatura, seja na fabricação de peças por meio de usinagem, onde materiais são removidos por ferramentas cortantes, ou de impressão 3D, com depósitos de sucessivas camadas de materiais. Aliada ao sistema CAD/CAM, a tecnologia CNC trouxe importantes benefícios a esses processos como alta produção, qualidade e precisão. A etapa CAD permite o projeto da peça. Por outro lado, a etapa CAM é responsável por gerar as trajetórias das ferramentas utilizadas e por criar uma rotina de comandos, conhecida como Código G, a ser seguida pela máquina CNC. Apesar das inúmeras vantagens do emprego da tecnologia CNC em instituições de Ensino Técnico e Superior, o alto custo dos equipamentos que utilizam tal tecnologia se apresenta como um dos principais fatores que inviabilizam a aquisição dos mesmos por inúmeras instituições de ensino, restringindo o seu uso. Ainda que existam empresas que comercializam produtos específicos para o ensino, com custo inferior ao dos equipamentos industriais, essa questão permanece como o principal fator limitante do emprego dessa tecnologia em ambientes de ensino. Nesse cenário, o presente artigo propõe uma interface computacional e de hardware responsável por interpretar rotinas em Código G e enviar a uma placa de controle os comandos necessários para controlar uma máquina CNC, resultando assim, na peça concebida pelo CAD. A interface computacional foi desenvolvida em ambiente de desenvolvimento livre. Com o intuito de validar o sistema, um protótipo de máquina CNC foi construído. Os autores agradecem o apoio fornecido pelo CEFET-MG e pela FAPEMIG.

Palavras-chave: Programação CNC, Microcontrolador, CAM

1. INTRODUÇÃO

O ambiente industrial é um cenário em constante evolução, proporcionado pela crescente exigência em termos de diversidade, quantidade e, principalmente, qualidade dos produtos. Por conta disso, é crucial que a modernização dos métodos e tecnologias implementados nos processos de manufatura ocorra de maneira contínua (GARCÍA; HORIKAWA, 2008).

De início, as indústrias desenvolviam produtos a partir de processos de fabricação executados em máquinas e equipamentos convencionais, ou seja, que requeriam a ação direta de operadores na realização dos procedimentos de produção. Com o grande avanço tecnológico dos últimos anos, a utilização de sistemas computadorizados tornou-se a alternativa empregada nas máquinas e equipamentos convencionais para o projeto de peças e produtos, bem como para o gerenciamento e execução dos processos de fabricação. Nesse contexto, várias tecnologias foram desenvolvidas com a finalidade de otimizar e automatizar os sistemas de produção e seus procedimentos (ACIU; CIOCARLIE, 2014). Entre as grandes vantagens da utilização de sistemas computadorizados estão a alta qualidade, precisão e possibilidade de integração entre sistemas (ZHAO; LIU; LI, 2016).

As tecnologias relacionadas aos sistemas computadorizados podem ser empregadas em diversos estágios da manufatura, que vão desde a concepção e projeto até a fabricação de produtos em máquinas automatizadas (LORINI; MENEGHELLO, 2004). Associados aos procedimentos de concepção está a tecnologia de Projeto Assistido por Computador (CAD), do inglês *Computer Aided Design*, que visa simplificar o desenho de peças por meio de softwares de computador (COTA et al., 2012). Em relação à execução dos processos de fabricação, utiliza-se a tecnologia de Manufatura Assistida por Computador (CAM), do inglês *Computer Aided Manufacturing*, que tem por objetivo a determinação dos caminhos das ferramentas de corte e a criação de uma rotina de comandos a ser seguida pela máquina-ferramenta, assim como o controle das máquinas e equipamentos.

Na extremidade final do processo de fabricação estão as máquinas operatrizes, que passaram a ter seus eixos, ferramentas e demais recursos controlados por Controle Numérico (CN), por meio de cartões perfurados ou fitas magnéticas e, mais recentemente, por Controle Numérico Computadorizado (CNC) (SANTOS, 2011). Esta técnica de controle permite que máquinas-ferramenta sejam comandadas por meio de um código, composto por letras, números e símbolos, implementado em um computador. Um programa de controle garante a interpretação deste código e transmite sinais de comandos para os motores e demais mecanismos responsáveis por produzir os movimentos necessários para fabricação de uma peça previamente projetada (AZEVEDO, 2017). Geralmente, a linguagem utilizada em máquinas CNC é um padrão definido pela norma ISO 6983¹, conhecido como código G (PACHECO et al., 2012).

Quando comparadas com as máquinas-ferramenta convencionais, as máquinas CNC ofereceram muitos benefícios para a fabricação a citar o elevado aumento da produção, a redução da complexidade de se produzir produtos com tamanhos e formatos diferentes e a drástica redução dos erros causados pela operação manual (AZEVEDO, 2017).

Os benefícios propiciados pela evolução da tecnologia CNC se estenderam além do ambiente industrial, abrangendo também o meio acadêmico, principalmente nas diversas áreas da Engenharia. Sobretudo porque as máquinas CNC facilitaram significativamente os processos de fabricação de componentes utilizados no ensino prático e no desenvolvimento de projetos dessa área. Todavia, o alto custo para aquisição de equipamentos que empregam essa tecnologia é uma limitação enfrentada por muitas instituições de Ensino Técnico e Superior. Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema CAM, de baixo custo, para controle de máquinas CNC baseadas em motores de passo e Código G, a fim de fomentar sua utilização no ensino de Engenharia, bem como no desenvolvimento de projetos de pesquisa.

O sistema desenvolvido neste trabalho envolve diferentes áreas, destacadas na Fig. 1. Esse sistema possui uma interface homem-máquina (IHM) executada em um computador, que se comunica com um programa embarcado em um microcontrolador, com o intuito de transmitir sinais para uma placa de controle responsável por comandar as ações e funcionalidades das demais estruturas da máquina-ferramenta. Para validar o sistema foi desenvolvido um protótipo de máquina CNC.

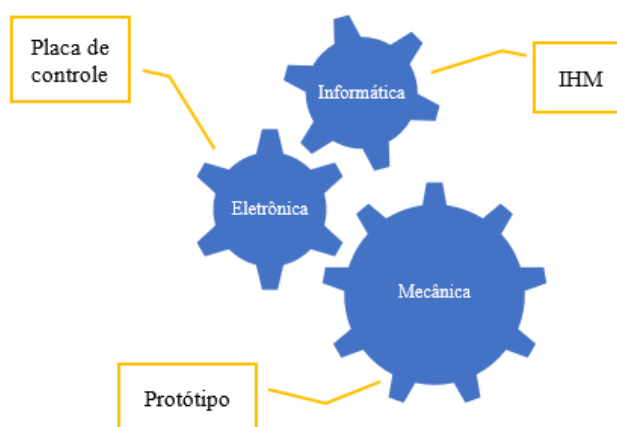


Figura 1. Áreas relacionadas.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma: na Seção 2 são abordados alguns princípios e conceitos referentes as máquinas CNC; na Seção 3 descreve-se a proposta do sistema CAM; o protótipo e os resultados são apresentados na Seção 4, e finalmente, na Seção 5 são feitas as considerações finais e apresentados os trabalhos futuros.

2. PRINCÍPIOS DE UMA MÁQUINA CNC

O CNC é uma tecnologia que consiste no controle de máquinas-ferramenta por meio de computadores, que fornecem instruções por meio de códigos alfanuméricos pré-definidos (KALPAKJIAN; SCHMID, 2013). Essa técnica controla diversos aspectos das máquinas, tais como o posicionamento e a velocidade de seus eixos, o sentido de rotação e a velocidade do motor que fixa a ferramenta de corte, bem como outras funcionalidades que a máquina possua.

Os sistemas de controle numérico computadorizado encontrados nos ambientes de manufatura geralmente são constituídos de quatro elementos básicos: unidade de entrada de dados, computador, mecanismos comandados ou auxiliados e máquina-ferramenta.

Compreende-se como unidade de entrada de dados os dispositivos responsáveis pela comunicação do usuário com a máquina. Por meio desses utensílios, os programas com os comandos CNC são transmitidos para um computador. As primeiras máquinas CNC utilizavam cartões ou fitas perfuradas para realizarem esta comunicação. Com o passar dos anos

¹ 1 Norma ISO 6983-1:2009. *Automation systems and integration -- Numerical control of machines -- Program format and definitions of address words -- Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems*. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/34608.html>. Acesso em: 17 de março de 2018.

essas fitas foram sendo substituídas por disquetes, portas seriais e mais recentemente por arquiteturas de interconexões de rede Ethernet (AZEVEDO, 2017).

O computador, juntamente com um controlador, desempenha o papel de interpretar o programa com os comandos CNC e controlar os dispositivos atuadores, enviando sinais que acionam os motores responsáveis por movimentar os eixos das máquinas CNC, bem como ativar e desativar os motores de usinagem e demais mecanismos auxiliares (AZEVEDO, 2017).

Um programa CNC é constituído por linhas com comandos que a máquina-ferramenta deve seguir. Cada linha de instrução, conhecida como bloco, é formada por palavras compostas por letras e números. De uma maneira geral, as informações encontradas em um programa CNC referem-se à posição, direção e movimento que os eixos e ferramentas devem obedecer durante a trajetória necessária para execução de uma tarefa. Além disso, existem instruções responsáveis pelo carregamento de comandos de configuração como velocidade, tipo de ferramenta, acionamento e sentido de rotação dos motores de usinagem ou de extrusão (GOELLNER, 2006).

Atualmente, a maioria das máquinas CNC são comandadas por códigos baseados na norma ISO 6983, que busca padronizar os comandos de controle das máquinas-ferramenta. Este padrão, comumente conhecido como Código G, é composto por duas categorias básicas de funções, sendo elas as funções G, denominadas preparatórias, e as funções M, chamadas de miscelâneas ou auxiliares. As funções preparatórias são responsáveis pelo deslocamento dos eixos da máquina de acordo com uma trajetória pré-determinada no projeto e pelas configurações relacionadas a essa trajetória. As funções miscelâneas, por outro lado, controlam aspectos da máquina não diretamente ligados ao percurso da ferramenta de corte, mas necessários ao processo de fabricação. Estas funções atuam, geralmente, como interruptores programáveis de fusos, motores e outros componentes. Demais elementos do Código G são argumentos das funções preparatórias ou demais componentes dos comandos.

Os movimentos das máquinas CNC são obtidos por meio de mecanismos comandados ou auxiliares que realizam ações processadas e ordenadas pelo microcontrolador. Esses são formados por componentes atuadores como motores de passo, servomotores, motores de indução, chaves de fim de curso, entre outros (AZEVEDO, 2017).

Vários fatores definem a escolha do motor responsável pela movimentação dos eixos de uma máquina CNC. De maneira geral, os servomotores são indicados para máquinas de grande porte submetidas a cargas pesadas e que necessitem de um controle de potência, velocidade e aceleração com alta confiabilidade (FITZPATRICK, 2013), enquanto que os motores de passo são indicados para máquinas menores que não empregam elevados esforços na usinagem (WERNER, 2015). Para a rotação das ferramentas de corte em máquinas CNC são empregados, geralmente, motores de indução trifásicos, visto que esse tipo de motor apresenta boa performance em aplicações de altas velocidades.

Por fim, a máquina-ferramenta é propriamente a estrutura física de uma máquina CNC, formada por elementos mecânicos, elétricos, hidráulicos ou pneumáticos (AZEVEDO, 2017). Esses componentes, juntamente com os dispositivos atuadores, garantem a elevada precisão encontrada nos eixos das máquinas CNC. Elementos como fusos de esferas recirculantes e guias lineares permitem que máquinas operatrizes operem com uma precisão na ordem de um milésimo de milímetro.

Comumente os eixos das máquinas-ferramenta possuem um movimento linear, excetuando-se o movimento do eixo-árvore. Todavia o acionamento desses eixos ocorre por meio de máquinas de ação rotativa. Por conta disso, os fusos de esferas são frequentemente empregados em máquinas-ferramenta por converterem movimentos rotativos em movimentos lineares (NEVES, 2013). As guias são elementos mecânicos que permitem o deslizamento de um componente sobre outro, em um movimento linear e geralmente com um grau de liberdade. Juntamente com os fusos de esferas, as guias lineares conduzem os eixos das máquinas CNC em direção à ferramenta e garantem que esses tenham um movimento suave e alinhado (CARSTENS; CARSTENS, 2015).

3. DESCRIÇÃO DA PROPOSTA

Este trabalho teve como início o estudo dos conceitos relacionados aos processos de fabricação mecânica, técnicas e ferramentas utilizadas. Além disso, a utilização de sistemas computadorizados em processos produtivos também foi objeto de estudo, permitindo a definição dos aspectos envolvidos no desenvolvimento do sistema de controle proposto.

Nesta seção são apresentadas maiores informações sobre o sistema CAM que permite o controle de máquinas CNC acionadas por motores de passo e Código G. Para implementação do sistema foram desenvolvidos uma interface computacional implementada em um ambiente de programação livre, uma placa de controle, comandada por um microcontrolador, e um protótipo de máquina CNC composto por motores de passo e seus *drivers* de acionamento, bem como por uma estrutura mecânica que representa os eixos de uma máquina CNC. A Figura 2 apresenta uma visão geral do sistema desenvolvido.

Para uma melhor descrição do projeto, a sequência desta seção é apresentada na seguinte forma: interface homem-máquina, *software* embarcado e placa de controle.

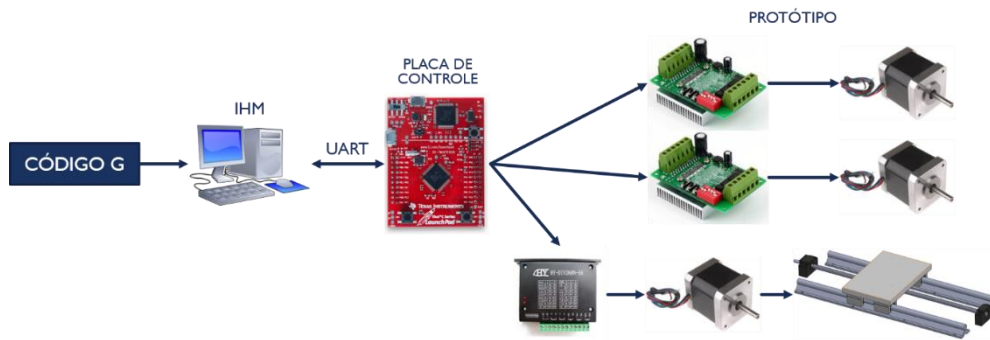


Figura 2. Visão geral do sistema.

3.1. Interface Homem-Máquina

O processo de controle é iniciado com a interação entre o usuário do sistema e o *software* executado no computador pessoal. Nesse *software* de interface, o usuário carrega as informações a respeito da peça a ser fabricada. Ao receber um programa em Código G, a interface homem-máquina (IHM) se torna responsável por enviar tal programa para o microcontrolador que, por sua vez, aplicará os respectivos comandos na máquina.

A interface foi implementada em Visual Basic.NET, que é uma linguagem de programação orientada a objetos, intuitiva e de simples aprendizagem, desenvolvida pela Microsoft. O Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) escolhido para a implementação foi o Visual Studio edição *Community*, também da Microsoft. Recursos oferecidos pela IDE como facilidade de utilização, eficiência em termos de programação e gratuidade da plataforma motivaram sua escolha como ambiente de desenvolvimento.

Ao executar o *software* da interface no computador, o usuário tem acesso à tela inicial da IHM, indicada na Fig. 3, a qual é composta por uma barra de menus em sua parte superior e uma guia de abas. A barra de menus possui diversas funções disponíveis ao usuário como a abertura de um arquivo de texto contendo uma rotina em Código G previamente existente no computador, a opção para finalizar a aplicação, a escolha do idioma da interface, entre outras funcionalidades. A aba *Main Page*, exibida no momento da inicialização do *software*, comporta a maioria das funcionalidades e elementos de interação com o usuário. Essa aba possui três botões de controle em sua parte superior esquerda, denominados “Start”, “Pause” e “Stop”, que permitem respectivamente, o início, a suspensão e a interrupção do processo de execução da máquina.

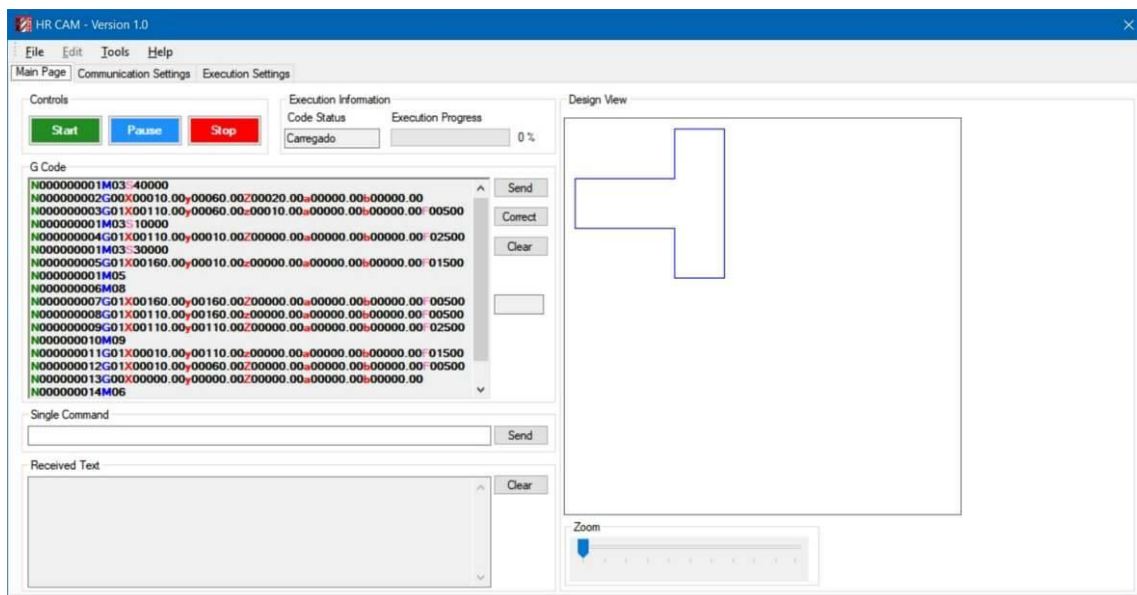


Figura 3. Tela Inicial da interface homem-máquina.

Abaixo dos botões de controle, está posicionada a caixa de texto que exibe o Código G inserido pelo usuário. Nesta primeira versão do programa, optou-se por determinar uma estrutura de Código G, isto é, uma sintaxe na qual as rotinas a serem executadas no sistema CAM devam se empregar. Cada linha da rotina, chamada de bloco, deve conter um comando independente, não sendo aceitos comandos em sequência em um mesmo bloco. Cada bloco de comando deve possuir não mais do que 64 caracteres, sendo essa uma quantidade suficiente para representar um comando de Código G.

O sistema CAM permite ainda que o usuário envie comandos individuais em Código G ao invés de carregar uma rotina completa. Para isso, uma caixa de texto posicionada embaixo da parte dedicada à exibição de Código G é disposta na interface para que o usuário insira o comando desejado.

A fim de apresentar ao usuário informações a respeito do progresso da execução da peça, a aba *Main Page* possui ainda uma estrutura para exibição destas informações composta por uma caixa de texto indicando o status do código G e uma barra de progresso que apresenta de maneira visual o progresso da execução da rotina. Ademais, uma segunda caixa de texto não editável com rótulo *Received Text* é responsável por exibir as informações provenientes da placa de controle.

Por fim, a última funcionalidade implementada na aba *Main Page* é composta por uma tela de exibição onde o programa apresenta o desenho prévio da peça a ser fabricada na cor azul. O andamento da fabricação da peça é apresentado ao usuário, por meio da modificação gradativa da cor do desenho na tela: de azul para verde.

A segunda aba da interface, denominada *Communication Settings*, é responsável pela configuração, abertura e fechamento da porta para comunicação serial entre a interface e a placa de controle. A estrutura presente nessa aba, como mostra a Fig. 4 (a), é composta por uma caixa de seleção onde são apresentadas as portas seriais disponíveis no computador, enquanto que a outra caixa de seleção permite ao usuário selecionar o valor desejado para a taxa de transmissão.

Na terceira aba da interface, *Execution Settings*, realiza-se a configuração de parâmetros relacionados ao processo de execução da máquina-ferramenta. Por meio de caixas de texto editáveis, o usuário insere informações a respeito dos movimentos dos eixos e da rotação da ferramenta de corte, conforme indicado na Fig. 4 (b).

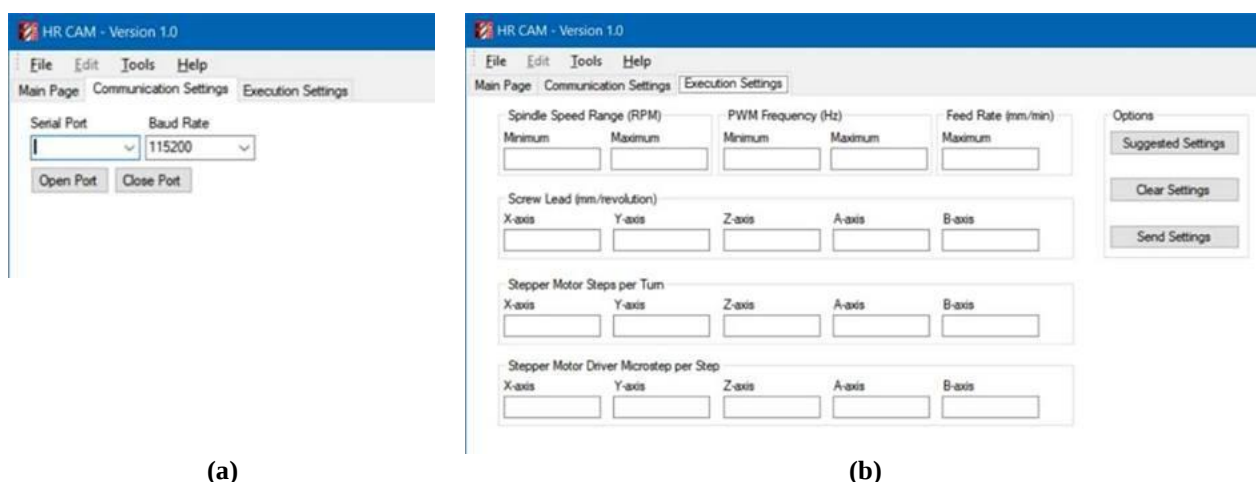


Figura 4. Configurações: (a) comunicação serial e (b) parâmetros de execução da máquina.

Obedecidos os três requisitos para que a transferência do código possa ser iniciada, ou seja, o carregamento do arquivo de texto contendo a rotina em Código G, a configuração e inicialização da comunicação serial e a preparação das configurações de execução da máquina, o botão de início do processo de fabricação é habilitado e pode ser pressionado pelo usuário.

3.2. Software Embarcado

O segundo *software*, implementado em um microcontrolador dedicado Tiva C Series TM4C123G, tem o intuito de interpretar a rotina escrita em Código G, que foi enviada pela interface com o usuário, além de executar os comandos na máquina CNC. O algoritmo embarcado é executado simultaneamente com a IHM e interage com a mesma tanto recebendo quanto enviando informações a respeito do processo de fabricação.

O algoritmo foi implementado utilizando a linguagem de programação C, por meio da IDE IAR Embedded Workbench (IAR). O IAR é uma plataforma com versões de avaliação gratuitas, sem limite de tempo para utilização. A Figura 5 apresenta o fluxograma simplificado do algoritmo embarcado.

O início da execução do algoritmo é caracterizado pelo recebimento de um caractere que representa o pressionamento do botão “Start”, seguido da configuração dos periféricos utilizados no sistema, incluindo modos de funcionamento e demais características. Em seguida, é estabelecida a comunicação com a interface e a execução aguarda o envio dos pacotes de dados contendo as configurações de execução da máquina e os blocos de comando. Tendo em vista que a comunicação serial por UART utilizada no sistema não oferece grandes velocidades de comunicação, um *buffer* de comandos foi implementado no microcontrolador, com o intuito de tornar o processo de execução dos comandos otimizado e robusto a possíveis atrasos na comunicação.

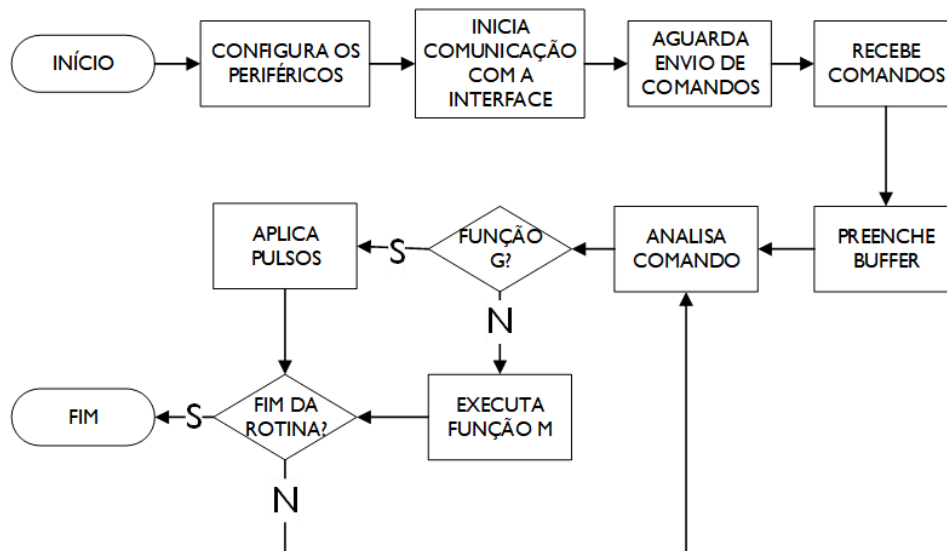


Figura 5. Fluxograma simplificado do algoritmo embarcado .

Quando um caractere da interface é recebido, ocorre uma série de verificações a seu respeito. Caso o caractere represente o pressionamento dos botões de controle “Start”, “Stop” ou “Pause”, a execução é iniciada, interrompida ou suspensa. No caso de o caractere representar o início da transmissão das configurações de execução da máquina, os próximos caracteres recebidos alteram os valores das variáveis relacionadas a essas configurações. Finalmente, caso o caractere recebido não satisfaça nenhuma das condições descritas anteriormente, significa que ele faz parte de um pacote de dados contendo as linhas da rotina em código G. Neste caso, uma função responsável pela análise e execução de comandos, é chamada e o processo de recebimento de uma nova linha de instrução é reiniciado. A Tabela 1 apresenta as funções preparatórias e miscelâneas aceitas pelo sistema CAM e interpretadas pelos procedimentos aqui descritos.

Tabela 1. Funções aceitas pelo sistema CAM.

Caractere	Significado
G00	Avanço Rápido
G01	Interpolação Linear com Avanço Programado
M03	Gira o Eixo-Árvore no Sentido Horário
M05	Desliga o Eixo-Árvore
M08	Liga Refrigeração (Fluido Refrigerante)
M09	Desliga Refrigeração (Fluido Refrigerante)

Os procedimentos de armazenamento de comandos no buffer e a execução de tais comandos são repetidos até que não haja mais comandos a serem executados, encerrando-se assim o processo de fabricação e enviando-se tal informação à interface.

3.3. Placa de Controle

Além dos componentes de *software* descritos nas seções 3.1 e 3.2, o sistema CAM utiliza uma placa de controle, apresentada na Fig. 6. Esta placa é responsável por receber as informações transmitidas pela microcontrolador e transformá-las em ações de comando e controle dos demais componentes da máquina CNC. Além de comportar o Tiva C Series TM4C123G, a placa possui várias portas de entrada e saída que formam uma estrutura organizada em módulos.

Apesar das grandes vantagens oferecidas pelo motor de passo, sua utilização exige um *driver* de acionamento para alimentação sequencial de suas bobinas. Os *drivers* recebem as informações do microcontrolador e as utilizam para controlar os motores de passo. Para possibilitar esse controle, a placa conta com cinco módulos de acionamento, permitindo que até cinco motores de passo sejam acionados de maneira independente. Além disso, a placa de controle oferece um módulo de saídas analógicas, que permite a obtenção de dois sinais analógicos de saída independentes. O módulo é capaz de fornecer sinais de Modulação por Largura de Pulso (do inglês, *Pulse Width Modulation* – PWM) a qualquer aplicação, possibilitando o acionamento de motores de indução, utilizados na rotação de ferramentas de corte, por meio de um inversor de frequência.

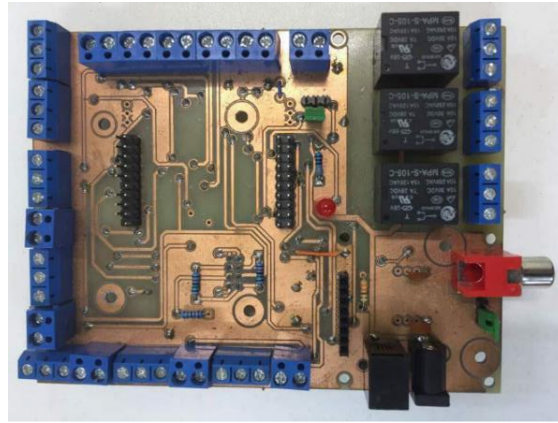


Figura 6. Placa de controle .

Ademais, a placa possui ainda módulos de acionamento por relé, de entradas digitais isoladas, de entradas analógicas, de comunicação serial, de comunicação sem fio e de interface com display de LCD.

4. PROTÓTIPO E RESULTADOS

Um protótipo constituído por elementos semelhantes aos de um equipamento industrial foi desenvolvido para verificar o funcionamento do sistema implementado em um ambiente que promovesse condições próximas de uma máquina-ferramenta CNC real. O mecanismo é composto por módulos e estruturas físicas responsáveis por emular o funcionamento de um centro de usinagem CNC. As estruturas que compõem o protótipo são o sistema eletromecânico, composto pelos motores de passo e as estruturas mecânicas de movimentação, como fuso de esferas recirculantes; os *drivers* de motor de passo, responsáveis por executar seus movimentos; e demais componentes auxiliares. A Figura 7 apresenta o protótipo construído.

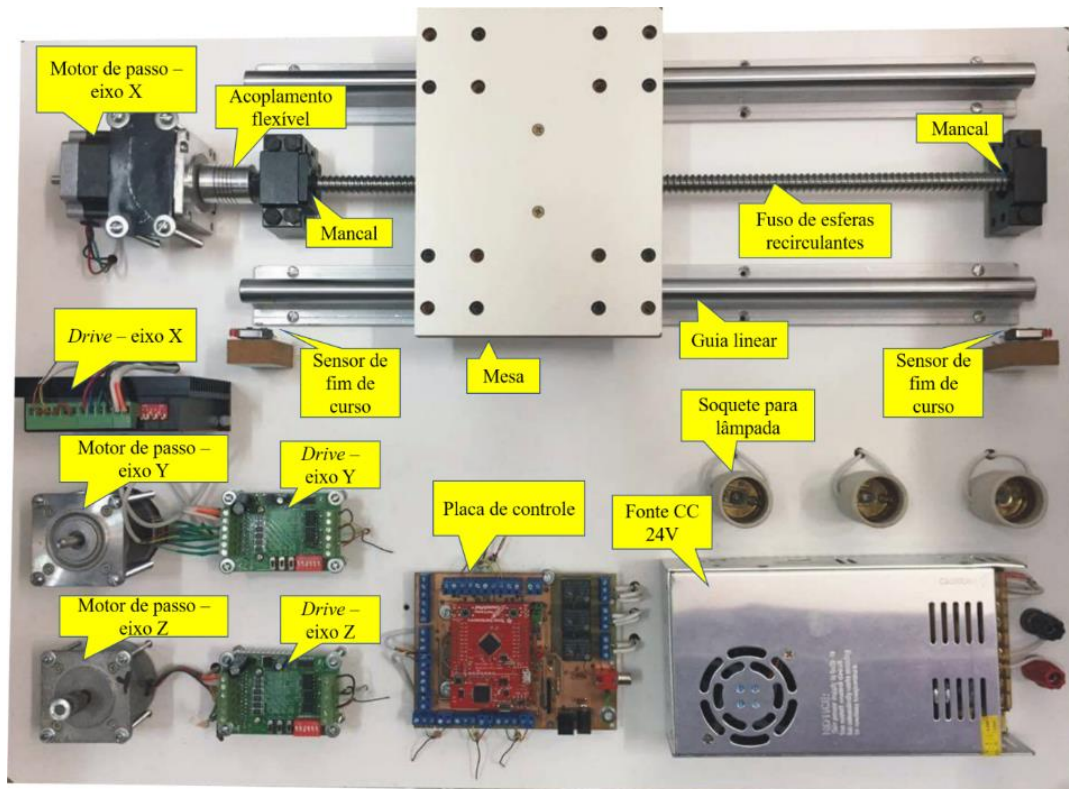


Figura 7. Montagem final do protótipo construído .

Com o intuito de simular o funcionamento de três eixos de uma máquina CNC, o protótipo foi confeccionado com três motores de passo do tipo híbrido. Por consequência, três circuitos de acionamento do módulo de *driver* são utilizados, haja vista que são necessários três *drivers* para acionar os motores. Dois desses motores são utilizados sem conexão com

alguma estrutura física, sendo empregados apenas para simular a rotação em um eixo específico. O outro motor de passo é conectado a uma estrutura mecânica similar àquelas encontradas em máquinas CNC.

Existem diversos modelos de estrutura mecânica encontrados nos sistemas de movimentação de eixos em máquinas CNC. O modelo escolhido neste trabalho tem o deslocamento do eixo realizado a partir da interligação de um motor de passo com um fuso de esferas, que, por sua vez, é suportado por mancais com rolamentos internos, promovendo assim, uma rotação suave do eixo. Fixado sobre o fuso de esferas está a mesa retangular de MDF onde a peça a ser usinada é posicionada. Dado que o fuso de esferas é fixado de maneira que se alinhe ao eixo imaginário que divide a mesa em duas partes iguais, faz-se necessário que as extremidades da mesa estejam apoiadas em uma estrutura que permita seu deslocamento. A estrutura de suporte das extremidades da mesa consiste em elementos chamados rolamentos lineares abertos, fixados sob a mesa e apoiados em guias lineares com perfil de alumínio.

O percurso da mesa é limitado por dois sensores de fim de curso dispostos de maneira que, ao serem acionados, o microcontrolador interrompa a rotação do motor de passo conectado à estrutura mecânica, imobilizando a mesa. Para isso, dois dos seis circuitos disponíveis no módulo de entradas digitais são utilizados.

Tendo em vista que o acionamento via relé representa o simples ligamento ou desligamento de um circuito ou sistema externo, os relés são utilizados para o acionamento de lâmpadas, sendo necessários três dos cinco circuitos do módulo de acionamento por relé.

O deslocamento dos eixos de uma máquina-ferramenta baseada em motores de passo depende do número de variáveis como o número de pulsos digitais aplicados (N_P), o número de micropassos gerado pelo *driver* em cada pulso transmitido pelo microcontrolador (M_D), o número de passos por volta do motor (P_M) e o passo do fuso de esferas (P_F). A Figura 8 ilustra essa relação e apresenta os valores fornecidos pelos componentes do protótipo construído.



Figura 8. Conversão de pulso digital para deslocamento em mm.

A Equação (1) apresenta a relação do movimento do sistema e, por consequência, a equivalência de um pulso digital em deslocamento linear (DP).

$$D_P = \frac{P_R}{P_M * M_D} * N_P \quad (1)$$

Portanto, para os eixos com fusos de esferas com passo de 4 mm por revolução, motores de 200 passos por rotação e *drivers* com divisor para micropassos de 16, o deslocamento linear mínimo é de 1,25µm.

A velocidade de deslocamento em mm/min, por sua vez, é encontrada pela relação descrita em (2).

$$F = f_D * \frac{P_R}{P_M * M_D} * 60 \quad (2)$$

Para validação do sistema CAM foram realizados ensaios de *software* na IHM e no algoritmo embarcado, assim como testes de *hardware* na placa de controle e no restante do protótipo.

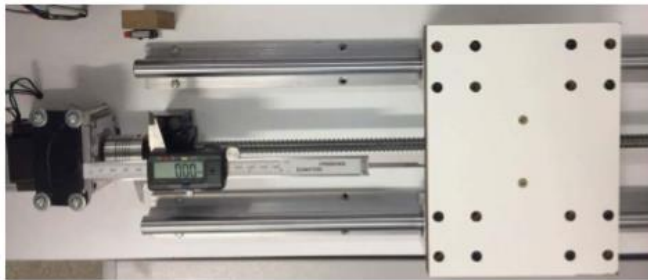
A Figura 9 apresenta o resultado obtido por um analisador lógico quando o bloco de comando “N000000003G01X00110.00y00060.00z00010.00a0000.00b00000.00F00500” foi executado pelo sistema CAM. O objetivo deste ensaio foi verificar o desempenho do sistema, analisando as respostas obtidas em comparação aos dados e comportamentos esperados.



Figura 9. Pulsos aplicados de acordo com comando do código G.

Neste bloco de comando, a quantidade de pulsos é diferente na maioria dos eixos. Todavia, para o correto deslocamento da mesa é necessário que a aplicação de pulsos em cada eixo comece e termine simultaneamente. Para isso, o eixo de maior deslocamento é tido como referência, uniformizando a aplicação dos pulsos nos demais eixos. Na Figura 9, é possível observar que o eixo de maior deslocamento (X) possui uma maior quantidade de pulsos aplicados, seguido pelo segundo eixo com maior deslocamento (Y) e assim por diante. Além disso, a frequência indicada equivale à velocidade em mm/min passada pelo bloco de comando.

Ademais, a precisão dos movimentos do motor de passo fixado na estrutura mecânica foi medida com o auxílio de um paquímetro digital. Os valores de deslocamento utilizados nos comandos foram de 0,01 mm, 0,1 mm e 1 mm. A Figura 10 mostra a posição inicial do paquímetro em relação à estrutura mecânica e os resultados obtidos com a medição.



(a)



(b)

Figura 10. Medições realizadas com o paquímetro digital.

Com os ensaios realizados, foi verificado que o sistema é capaz de interpretar e executar uma rotina em Código G a partir da IHM, enviando para o algoritmo embarcado no microcontrolador da placa de controle os comandos necessários para a fabricação de uma peça na máquina CNC. Os ensaios de *hardware* mostraram que os componentes da placa de controle, assim como os do protótipo, executaram suas funcionalidades de acordo com o esperado, permitindo o correto funcionamento do sistema.

5. CONCLUSÃO

O estudo dos processos de fabricação de peças, suas características, técnicas e equipamentos utilizados forneceu importantes informações a respeito das funcionalidades a serem implementadas no sistema proposto neste trabalho. Também, a análise dos conceitos teóricos relativos aos sistemas computadorizados empregados na produção e seus principais elementos de *hardware* permitiu a definição das etapas de confecção do protótipo e do desenvolvimento dos algoritmos.

A partir da análise dos resultados obtidos, é possível verificar que a utilização do sistema desenvolvido se mostrou viável e com grandes perspectivas de aperfeiçoamentos e expansões de suas funcionalidades. Dessa maneira, o sistema implementado permitirá o desenvolvimento de projetos de pesquisa em diversas disciplinas de cursos de Engenharia, reduzindo assim a distância entre os conteúdos teóricos ministrados e a prática.

Como principais sugestões e propostas para o desenvolvimento de trabalhos futuros propõe-se a implementação de uma maior variedade de funções do Código G e de funcionalidades para a interface com o usuário, permitindo assim, o controle de diversos tipos de máquinas CNC. Ademais, sugere-se a construção de uma máquina CNC de pequeno porte, para o estudo do desempenho do sistema em uma máquina real, e a adequação do programa a distintas estruturas de código G.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio fornecido pelo CEFET-MG e pela FAPEMIG.

7. REFERÊNCIAS

- ACIU, R. M.; CIOCARLIE, H. G-code optimization algorithm and its application on Printed Circuit Board drilling. IEEE 9TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND INFORMATICS (SACI), p. 43–47, maio 2014.
- AZEVEDO, A. L. DE. Fundamentos do CNC para Usinagem. 1. ed. São José dos Campos: JAC Gráfica e Editora, 2017.

- CARSTENS, S. F.; CARSTENS, T. A. Projeto e Fabricação de uma Fresadora CNC para Prototipagem de Placas de Circuito Impresso. Joinville: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2015.
- COTA, H. DE F. et al. Desenvolvimento de um Programa Didático para Geração de Códigos de Comando Numérico a partir de Modelos 3D Gerados em Plataforma CAD. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. São Luiz, 2012.
- FITZPATRICK, M. Introdução à usinagem com CNC: comando numérico computadorizado. 1. ed. Porto Alegre: AMGH Editora LTDA, 2013.
- GARCÍA, L. N. F.; HORIKAWA, O. Manual and Servo Assisted, Hybrid System for Position Control in Machine Tools. In: 19TH INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING. , 2008.
- GOELLNER, E. Ferramenta Computacional para Acionamento de Motores de Passo Aplicados ao Projeto de Equipamentos CNC. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. Manufacturing Engineering & Technology. 7. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2013.
- LORINI, F. J.; MENEGHELLO, G. P. A Milling System with Robot Resources. Symposium Series in Mechatronics, v. 1, p. 144–149, 2004.
- NEVES, R. M. Desenvolvimento Ferramenta Solução Fresadora CNC. Cornélio Procópio: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.
- PACHECO, N. DE O. et al. Application of The Step-NC Standard in a Computer Numerical Controlled Machining Device. ABCM Symposium Series in Mechatronic, v. 5, p. 713–723, 2012.
- SANTOS, L. A. F. Planejamento de Trajetórias e Implementação de Técnicas de Posicionamento de Eixos para Dispositivo CNC com Arquitetura de Controle Aberta. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- WERNER, G. Desenvolvimento de uma Fresadora CNC para Usinagem em 5 Eixos. Lajeado: Universidade do Vale do Taquari, 2015.
- ZHAO, J.; LIU, Y.; LI, Q. Research on error synthetical modeling of multifunctional composite five-axis CNC machine tool. IEEE, p. 1814–1821, 2016.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF A CNC MACHINES CONTROLLER BASED ON STEP MOTORS AND G CODE

Henrique Borges Rezende, henriqueb_rezende@hotmail.com¹
Maria Eduarda Silva Bastos, mariaeduarda_bastos@hotmail.com¹
Matusalém Martins Lanes, mmlanes@gmail.com¹
Anderson Grandi Pires, agpires@cefetmg.com¹

¹Federal Center for Technological Education of Minas Gerais – CEFET-MG, 558, José Péres Street, Centro, Leopoldina MG

Abstract. *The Computer Numeric Control (CNC) technology has promoted great advances to manufacturing processes, both in machining of parts and 3D printing. The CNC technology, together with CAD/CAM systems, has brought important benefits to these processes, such as high production, quality and precision. The CAD stage allows the part design while the CAM stage generates the toolpath and creates routines of commands, known as G Code, which will be executed by the CNC machine. Despite the advantages of using the CNC technology in institutions of Technical and Superior Education, its high cost has been one of the main factors that preclude the acquisition of products with such technology in many educational institutions. There are some companies that market specific products for educational purposes, but the cost is still the main limitation to a broad use of the CNC technology in education. In this context, this work proposes a computational and hardware interface that interprets G Code routines and sends the processed instructions to a control board. This board drives the CNC machine to manufacture the part designed by the CAD. The computational interface was evolved in a free development environment and a prototype was built to validate the system. This work was developed with the support of CEFET-MG and FAPEMIG.*

Keywords: CNC Programming, Microcontroller, CAM