

A UTILIZAÇÃO DE MÁQUINAS CNC DE BAIXO CUSTO COMO FERRAMENTA DIDÁTICA NA FABRICAÇÃO DE PCI'S, NO ENSINO DE ENGENHARIA

THE USE OF LOW-COST CNC MACHINES AS A DIDACTIC TOOL IN THE MANUFACTURE OF PCI'S, IN ENGINEERING TEACHING

LUCAS DE QUEIRÓS ALMEIDA¹, DIEGO VENTURA GIANINI¹, GEOVANI NUNES DORNELAS^{2*}

1. Discente do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Centro Universitário Geraldo Di Biase (2017); 2. Docente Orientador. Mestrado em Modelagem Matemática e Estatística Aplicada pela UNINCOR Universidade do Vale do Rio Verde, ³Docente do Curso Superior em Engenharia Mecânica e Civil do Centro Universitário Geraldo Di Biase e Docente Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/Valença).

Geovani Nunes Dornelas – Rua Vereador Hugo Paes Gomes – 146 – Parque Sucena - Vassouras / RJ – Brasil- CEP. 27.700-000
Email. gndornelas@gmail.com

Recebido em 24/10/2017. Aceito para publicação em 06/11/2017

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma máquina CNC (controle numérico computadorizado) que seja capaz de usinar placas de circuito impresso (PCI), entre outros materiais, e que tenha poder ter aplicabilidade, nas áreas didáticas de ensino da engenharia. Assim, o destaque deste trabalho é o protótipo por ter características importantes e vantagens sobre outros meios de produção, uma vez que simplifica a produção convencional de PCI barateando, assim, os custos de uma produção industrial, inclusive por ser de fácil manutenção. Na metodologia deste trabalho foi utilizada uma forma definida através de modelações tridimensionais do projeto, com o uso do *software* FreeCAD. A construção se deu em madeira por ser material de fácil acesso, manuseio e de baixo custo. Além disso, houve a utilização de arduino e drives de comando, como parte dos componentes eletrônicos, fazendo, assim, a conexão do protótipo com o computador. Ressalta-se, também, a versatilidade do equipamento, visto que o objeto de fresar a micro retífica pode ser substituído por uma caneta, transformando o equipamento em um *plotter* CNC. Os resultados obtidos, após um levantamento de custos, demonstram que o projeto é viável economicamente.

PALAVRAS-CHAVE: Máquina CNC, PCI, protótipo, baixo custo.

ABSTRACT

The present work aims to develop a CNC (Computer Numerical Control) machine that is able to machine Printed Circuit Boards (PCB), among other materials and be applied didactically in the teaching of engineering. So, the highlight of this work is that the prototype has very important characteristics and advantages over other means of production, because it simplifies the conventional production of PCB, reduces the

cost of industrial production and is of easy maintenance. Methodologically, a well defined form was used through 3D modelling of the project, by using the FreeCad software, building a model in wood, material of easy access and low cost handling, besides the use of Arduino and control drives as part of the electronic components, connecting the prototype to the computer. One must mention the versatility of the equipment, once the milling object, the micro grinding, can be easily replaced by a pen, thus turning the equipment into a CNC plotter. Through the estimate of costs, the results obtained have already shown that the project is totally viable in economical terms.

KEYWORDS: CNC machine, PCB, prototype, low cost.

1. INTRODUÇÃO

Desde a invenção dos sistemas eletrônicos, sua utilização tornou-se, com o passar do tempo, cada vez mais integrada aos mais variados tipos de atividades da sociedade, destacando-se nesse meio a PCI (placa de circuito impresso), elemento responsável por unir as peças de um sistema.

Com o advento dos computadores e a integração do CNC (comando numérico computadorizado) ao sistema, a facilidade para se produzir PCIs ficou maior, com uma melhor qualidade e precisão.

Assim, como inúmeros componentes atuais têm diversos tipos de fabricação, com a PCI também não é diferente, podendo ter como destaques métodos de produção industrial e caseira.

Nesse trabalho foi estudado tanto o método de produção artesanal como o industrial. Comparando-se os dois métodos foi possível notar que nos métodos indus-

triais o custo de compra e manutenção de um equipamento torna-se alto, além das empresas especializadas exigirem uma cota mínima para produção e nos métodos artesanais, a dificuldade para encontrar componentes inerentes à fabricação da placa é grande, além de a produção ser demorada e muito complexa para ser realizada. Observou-se, também, que a presença de tal equipamento em instituições de ensino é de suma importância para o desenvolvimento dos alunos e do próprio curso. Visto isso, o presente artigo tem por objetivo explicitar o passo a passo da construção de um protótipo, a fim de auxiliar no ensino da engenharia, simplificar a produção artesanal e reduzir o alto custo empregado na produção industrial.

O desenvolvimento do protótipo tem como base um baixo investimento objetivando criar um equipamento com capacidade de usinar placas de forma precisa e com qualidade. O referido protótipo será construído de forma convencional, com medidas e cálculos pré-determinados, para assim atingir resultados satisfatórios nos quesitos de custo, precisão e qualidade através da retirada de materiais. A máquina também poderá funcionar como um *plotter*, em que a fresa poderá ser substituída por uma caneta onde os circuitos, nas placas, serão desenhados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na construção da fresadora e no desenvolvimento de todo o projeto, o presente artigo teve como base a pesquisa explicativa com abordagem quantitativa, realizada através de procedimentos experimentais, com o objetivo de levantar dados de experiências anteriores, mensurar medidas reais e, desenvolvê-las na prática, ou seja, na criação da máquina CNC. Após a construção da mesma, será possível medir o tempo de execução para fabricar a placa e comparar com outros métodos de produção, bem como com outras máquinas semelhantes.

Materiais

Chapa de MDF (*Medium Density Fiberboard*)

Devido à fácil usinabilidade, resistência mecânica e um baixo custo benefício, o MDF foi selecionado para ser o principal componente estrutural do projeto, o qual é marcado e cortado conforme as dimensões pré-estabelecidas pelo protótipo digital.

Após devidamente marcado, o corte da chapa teve sua execução realizada por meio de uma serra tico-tico com lâmina para corte de madeira.

Motor de passo Nema 17

Para fazer a movimentação dos eixos foi escolhido o motor de passo Nema 17, conforme a Figura 1, de especificação 17PM-K342B, na qual o número 17 refere-se ao tamanho do modelo do motor.



Figura 1. Motor de passo NEMA 17¹. Fonte: Os Autores.

O motor possui número de 200 passos por volta, que se resume em 1,8° por passo e um torque que varia conforme a tensão e o intervalo entre os passos, que é submetido. Tais dados podem ser conferidos no gráfico 01, em que a unidade da coluna esquerda está em Nm (Newton metro) representando o torque. As linhas de cor preta, azul e verde tracejada representam as tensões de trabalho respectivamente, sendo 12V, 24V e 36V. A linha inferior representa a velocidade em RPM ou PPS (passos por segundo). A coluna da direita mostra o torque em oz-in (Onça polegada). Os motores estão trabalhando em 12V, com uma velocidade inferior a 500 PPS.

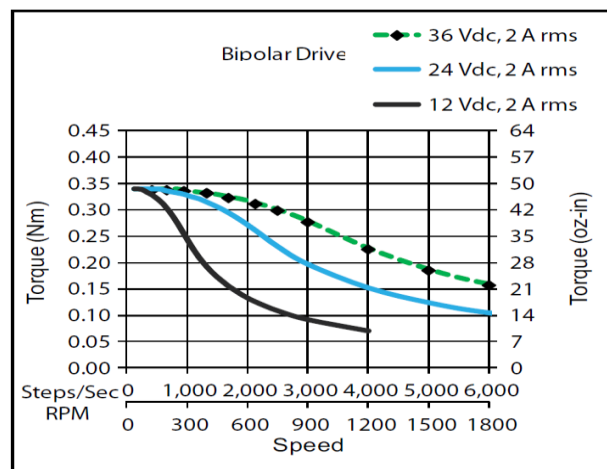


Gráfico 1. Relação de torque em função da tensão e velocidade do motor. Fonte: PBC Linear stepper motor (p.2)¹.

Arduino

Para controlar a movimentação dos motores de passo foi utilizada a plataforma de desenvolvimento Arduino Uno, conforme a Figura 2, que conta com um micro controlador ATMEGA 328p. Esta placa é uma plataforma de desenvolvimento que pode ser programada facilmente, que possui portas analógicas e digitais por onde é possível interagir com o meio externo. O Arduino é responsável por fazer a interface entre o computador e o

CNC Shield, gerando, assim, o controle da fresadora.

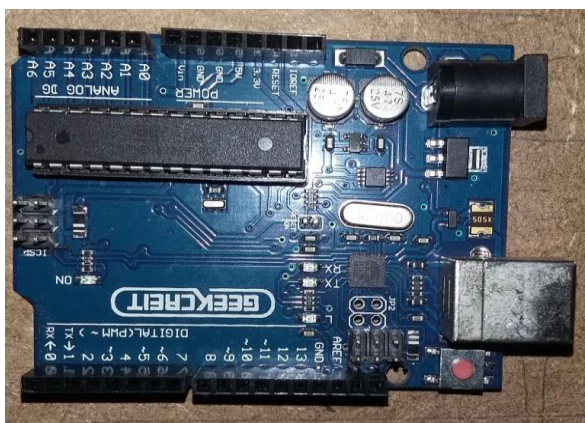


Figura 2. Arduino UNO. Fonte: Os Autores.

CNC Shield

O CNC Shield é responsável por fixar os drivers de controle do motor, gerenciar a energia de alimentação e os dados que trafegam entre o Arduino e os *drivers*. Esse componente é próprio para esta função, tendo seus encaixes compatíveis com as portas do Arduino e com os *drivers*.

Driver A4988

O Arduino não possui saídas que suportam a corrente e tensão necessária para alimentar os motores, por isso é vital um circuito de potência que converta os sinais enviados pelo Arduino em energia capaz de movimentar os motores. Esses circuitos de potência são os *drivers*.

São utilizados 3 *drivers* A4988, que podem trabalhar com 35 V e ± 2 A pois, a corrente suportada pode variar, dependendo da refrigeração aplicada. O driver é dotado de um sistema que possibilita controlar a corrente máxima consumida pelo motor oferecendo, assim, uma proteção, em caso de sobre corrente.

Micro retífica

Micro retífica modelo BT-MG 135 é a ferramenta onde a fresa ou broca é fixada para efetuar a usinagem, que se situa no eixo Z. Esse modelo de retífica conta com um motor de corrente alternada 127 v, capaz de alcançar uma velocidade de 35000 RPM (rotações por minuto) e uma potência de 135W.

Fonte ATX

A alimentação dos motores de passo, drivers, bem como, a alimentação do *cooler* é feita por uma fonte de computador, sendo utilizada duas saídas de +12V para alimentá-los.

Arduino IDE

Trata-se de *software* de licença livre, onde é possível escrever o código que será gravado no micro controlador

do Arduino (ATMEGA 328p). O programa disponível no endereço <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> facilita a criação dos algoritmos, tendo a possibilidade de incluir bibliotecas, as quais contêm códigos complexos, previamente criados para facilitar o uso de *hardware* ou sequência de comandos.

Biblioteca GRBL

A biblioteca de código aberto (*software* com seu código-fonte disponível a todos os usuários, ou seja, qualquer pessoa pode obter o código) pode ser encontrada no endereço <https://github.com/grbl/grbl>. No endereço está situado o site responsável pela manutenção e disponibilidade da biblioteca.

A biblioteca é o único código gravado no Arduino, que serve para interpretar as informações trafegadas entre o computador e o CNC Shield.

Universal G-code Sender (UGS)

Programa em linguagem Java, de licença livre, capaz de fazer a inteiração entre o computador e o Arduino, assim como manipular as propriedades referentes ao tipo de configuração da máquina, como o deslocamento, segundo o passo da rosca ou a velocidade dos passos, dentre outras características necessárias para um correto funcionamento do *hardware*.

Software 3D FreeCAD

Software open source (programa de código aberto) de modelagem gráfica 3D, foi utilizado para gerir a maquete tridimensional do projeto, conforme a Figura 3, a fim de obter uma prévia das medidas necessárias à fabricação da máquina física.

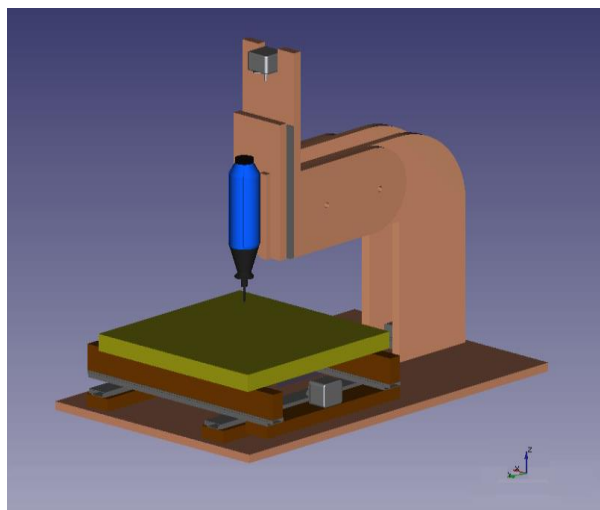


Figura 3. Modelagem tridimensional. Fonte: Os Autores.

Eagle 7.7.0 Standard

Software conceituado e de versão gratuita utilizada para desenvolvimento de circuitos eletroeletrônicos e

layout de PCI. Nele foi criado o *gcode* da placa utilizada nos testes da fresadora e o *layout* para a impressão do fotolito, utilizado na criação da placa feita pelo processo fotográfico.

Outros materiais

A montagem do protótipo demandou uma grande quantidade e variedade de materiais, que podem ser conferidos na Tabela 01.

Métodos

Tabela 01. Elementos utilizados na construção do projeto.

ELEMENTOS FÍSICOS UTILIZADOS NO PROTÓTIPO			
Material	Quantidade	Unidade	Aplicação
Arduino Uno	1	peças	Controle do CNC
Barra roscada 1/4	1	M	Movimentação
CNC Shield	1	peças	Controle dos Drivers A4988
Cooler 12V	1	peças	Refrigeração da eletrônica
Driver A4988	3	peças	Energiza os motores de passo
Espaguete Termo retrátil	0,3	M	Acoplar o eixo dos motores as barras roçadas
Fonte ATX 220W	1	peças	Fonte de corrente contínua 12v
Ferramentas para usinagem	3	peças	Cortar, desbastar e furar
Guia telescópica	6	peças	Guia para os eixos
MDF 15mm	1,3	m ²	Parte estrutural
Micro retífica	1	peças	Ferramenta elétrica para a usinagem
Motor de passo Nema 17	3	peças	Girar as barras roscadas conforme os comandos
Parafuso em rosca soberba de 3 mm	70	peças	Fixação e ajuste das peças
Parafusos, porcas e arruelas de 1/8"	14	peças	Fixação e ajuste das peças
Parafusos, porcas e arruelas de 3/8"	4	peças	Fixação e ajuste das peças
Sarrafo de madeira 22x46mm	1,5	M	Parte estrutural
Tubo de PVC	0,5	M	Suporte para os motores, cooler e micro retífica

Fonte: Os Autores.

Construção da fresadora



Figura 4. Fabricação do protótipo. Fonte: Os Autores.

A construção do protótipo se deu com a modelagem computacional, na qual pode-se obter os valores dimensionais das peças e suas respectivas posições. A parte estrutural foi feita em MDF de 15mm, cortada com uma serra tico-tico. Após cortadas todas as peças de MDF, iniciou-se a montagem, que consistiu em posicionar, furar e parafusar as partes.

Na construção dos eixos foi necessário preparar as guias lineares, removendo a base de maior espessura, utilizando-se apenas as duas partes móveis restantes, resultando-se uma redução na folga do conjunto, acrescentando a precisão no desempenho da máquina.

Os sistemas de guias dos eixos foram posicionados e, sobre eles, foram posicionadas as plataformas, tanto do conjunto XY, quanto do eixo Z.

No sistema de transmissão de movimento foram utilizadas barras roscadas de 1/4" e porcas da mesma medida. As barras foram unidas aos motores de passo que, por sua vez, foram fixados aos seus suportes, feitos em chapa de PVC para permitir um fino alinhamento.

Eletrônica

Os *drivers* foram inseridos nos soquetes do CNC Shield, o qual foi fixado no Arduino Uno. O conjunto ficou posicionado na parte traseira da máquina, na coluna do eixo Z.

O resfriamento do conjunto eletrônico foi realizado utilizando o cooler fixado na estrutura do CNC, com o fluxo de ar voltado para os componentes.

Os motores de passo possuem um curto comprimento de seus fios, tendo sido necessário prolongá-lo de acordo com a distância entre os motores e o conjunto eletrônico.

Softwares

O Arduino IDE *software* instalado no computador faz a interface com a placa Arduino presente no protótipo. Através dele carregou-se uma série de códigos, chamados GRBL, que permitem ao protótipo realizar os movimentos nos eixos X, Y e Z. Após a conclusão desta etapa, os códigos ficam armazenados na memória da placa Arduino, que, então, é executado num programa, chamado UGS (Universal Gcode Sender), permitindo ao usuário da fresadora controlar através por computador os movimentos que a máquina realizará.

3. DESENVOLVIMENTO

História do CNC

Por volta de 1801 um inventor francês chamado Joseph-Marie Jacquard, criou um tear automatizado, onde era utilizado cartões perfurados de metal para controlar a máquina. Posterior a Segunda Guerra Mundial máquinas controladas por fitas de papel perfuradas tornaram-se realidade, substituindo dessa maneira os cartões de metal. Mais tarde, em 1949 Jhon T. Parsons, vice-presidente da *Parsons Corporation*, juntamente com o professor Ge-

orge S. Brown, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), tiveram a ideia de substituir os comandos oferecidos pelos cartões, por pulsos elétricos enviados para um driver de comando instalado na máquina. Tal ideia lhes rendeu um contrato com a força aérea americana, onde em 1952 o MIT pode demonstrar de forma prática a tal invenção².

A máquina CNC

O controle numérico é um método de controle dos movimentos de máquinas pela interpretação direta de instruções codificadas na forma de números e letras. O sistema interpreta os dados e gera o sinal de saída que controla os componentes da máquina. Posteriormente, estas máquinas foram equipadas com controle numérico computadorizado (CNC) aumentando a flexibilidade, precisão e versatilidade. O controle numérico computadorizado é uma evolução do controle numérico, que substituiu o controle por hardware por controle por software³.

Comando numérico computadorizado (CNC)

O comando numérico é um sistema de interpretação de dados que converte um código abstrato inteligível a nós humanos em instruções inteligíveis às máquinas-ferramenta de comando numérico⁴. Com o acesso aos computadores foi possível integrar o “Comando Numérico” a um núcleo de processamento e interface gráfica. O que proporcionou a acessibilidade aos arquivos de programa que podiam ser facilmente alterados de acordo com a necessidade do usuário. A integração entre as tecnologias CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) e CNC é cada dia mais forte, contribuindo no desenvolvimento de Máquinas Operatrizes totalmente automatizadas⁵.

Visto isso, o controle numérico computadorizado é a melhor alternativa para obter placas de circuitos impressos fiéis ao desenho projetado, já que controle da ferramenta de usinagem é feita de forma computacional que recebe as informações sobre os detalhes do projeto e os converte em instruções para a movimentação da ferramenta⁶.

Usinagem

A usinagem é um processo de fabricação cuja operação baseia-se na remoção de material da peça pela ação de uma ferramenta de corte⁷. Além do movimento ativo de corte a usinagem também possui movimentos passivos onde não promovem remoção de material, por exemplo os ajustes da máquina⁸. Durante vários anos a usinagem foi um processo de fabricação manual, visto que a intervenção do homem junto à máquina era constante e os resultados dos produtos usinados dependiam inteiramente da habilidade de um profissional. Os resultados de peças usinadas foram otimizados a partir da introdução de um controle de máquina automático, di-

minuindo o fator habilidade manual na qualidade das peças fabricadas⁵. O fresamento é um processo mecânico de usinagem onde a ferramenta gira e a peça se desloca segundo uma trajetória qualquer⁹.

Placas de circuito impresso (PCI)

A placa de circuito impresso foi inventada pelo Dr. Paul Eisner, um cientista austríaco, após a Segunda Guerra Mundial. Ele estava trabalhando na Inglaterra com um conceito para substituir as ligações das válvulas do rádio por algo menos volumoso¹⁰. Circuitos com múltiplos componentes tendem a possuírem maior complexidade e maior quantidade de inputs e outputs e a PCI é utilizada para não se perder a organização na disposição desses componentes. Uma organização bem distribuída pode inclusive causar aumento de eficiência e velocidade da operação do circuito. Em contrapartida uma placa de circuito mal distribuída ou com trilhas irregulares ou descontínuas podem prejudicar gravemente uma aplicação, como operações com sinais em alta frequência⁶.

Teoria da aprendizagem no ensino da engenharia

O modelo tradicional de ensino adotado na Educação em Engenharia está apoiado na transmissão de conhecimentos, que normalmente focaliza os aspectos conceituais das diversas teorias, sem a sua necessária contextualização. Levando em conta o método de aprendizagem adotado nas instituições de ensino, a simulação de um problema real através de um protótipo é de suma importância, pois um modelo bem construído auxilia a encontrar as respostas às questões importantes e, portanto, torna-se uma técnica poderosa para a solução de problemas¹¹.

Usinagem em fresadoras

A velocidade de corte (V_c) é a velocidade instantânea do ponto de referência da aresta cortante da ferramenta, segundo a direção e o sentido de corte, a partir de seguinte equação (Eq.1)¹².

$$V_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (\text{Eq.1})$$

onde V_c é a velocidade de corte (m/min), d é o diâmetro da fresa (mm) e n é o número de rotações por minuto (rpm).

O avanço a é o percurso de avanço em cada volta dado por (Eq.2)⁹:

$$a = az \cdot Z \quad (\text{Eq. 2})$$

onde a é o avanço da fresa (mm), az é o avanço do dente (mm) e Z é o número de dentes da fresa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após montagem da máquina, foi possível alinhar corretamente os motores de passo e configurar os parâmetros para uma boa usinagem de PCI. Pequenas variações e erros, na execução do código, geraram placas com falhas indesejáveis. Para alcançar um resultado consistente foram feitos exaustivos testes, nos quais os parâmetros eram sempre atualizados almejando-se uma melhora de qualidade.

\$0=10 (step pulse, usec)	\$0=10 (step pulse, usec)
\$1=255 (step idle delay, msec)	\$1=25 (step idle delay, msec)
\$2=0 (step port invert mask:00000000)	\$2=0 (step port invert mask:00000000)
\$3=0 (dir port invert mask:00000000)	\$3=6 (dir port invert mask:0000110)
\$4=0 (step enable invert, bool)	\$4=0 (step enable invert, bool)
\$5=0 (limit pins invert, bool)	\$5=0 (limit pins invert, bool)
\$6=0 (probe pin invert, bool)	\$6=0 (probe pin invert, bool)
\$10=3 (status report mask:0000011)	\$10=3 (status report mask:0000011)
\$11=0.020 (junction deviation, mm)	\$11=0.020 (junction deviation, mm)
\$12=0.002 (arc tolerance, mm)	\$12=0.002 (arc tolerance, mm)
\$13=0 (report inches, bool)	\$13=0 (report inches, bool)
\$20=0 (soft limits, bool)	\$20=0 (soft limits, bool)
\$21=0 (hard limits, bool)	\$21=0 (hard limits, bool)
\$22=0 (homing cycle, bool)	\$22=0 (homing cycle, bool)
\$23=0 (homing dir invert mask:00000000)	\$23=1 (homing dir invert mask:00000001)
\$24=500.000 (homing feed, mm/min)	\$24=50.000 (homing feed, mm/min)
\$25=5.000 (homing seek, mm/min)	\$25=635.000 (homing seek, mm/min)
\$26=5 (homing debounce, msec)	\$26=250 (homing debounce, msec)
\$27=5.000 (homing pull-off, mm)	\$27=1.000 (homing pull-off, mm)
\$100=156.769 (x, step/mm)	\$100=314.961 (x, step/mm)
\$101=156.769 (y, step/mm)	\$101=314.961 (y, step/mm)
\$102=156.769 (z, step/mm)	\$102=314.961 (z, step/mm)
\$110=140.000 (x max rate, mm/min)	\$110=635.000 (x max rate, mm/min)
\$111=140.000 (y max rate, mm/min)	\$111=635.000 (y max rate, mm/min)
\$112=140.000 (z max rate, mm/min)	\$112=635.000 (z max rate, mm/min)
\$120=0.500 (x accel, mm/sec ²)	\$120=50.000 (x accel, mm/sec ²)
\$121=0.500 (y accel, mm/sec ²)	\$121=50.000 (y accel, mm/sec ²)
\$122=2.000 (z accel, mm/sec ²)	\$122=50.000 (z accel, mm/sec ²)
\$130=300.000 (x max travel, mm)	\$130=225.000 (x max travel, mm)
\$131=300.000 (y max travel, mm)	\$131=125.000 (y max travel, mm)
\$132=160.000 (z max travel, mm)	\$132=170.000 (z max travel, mm)

Figura 5. A esquerda parâmetros finais de regulagem do projeto e a direita os parâmetros padrões. **Fonte:** Os Autores

Um problema recorrente foi uma falha na movimentação dos eixos X e Y, ocasionado pela perda de passos nos motores, que teve sua correção, com a diminuição da aceleração dos motores e velocidade dos mesmos.



Figura 6. À esquerda usinagem com retirada de material e a direita desempenhando a função de *plotter*. **Fonte:** Os Autores.

Mesmo a fresadora tendo sido projetada para usinagem, também apresentou bons resultados como *plotter*,

substituindo-se a micro retifica por uma caneta de tinta permanente, onde foi possível desenhar as trilhas das PCIs, protegendo-as do posterior efeito do hipercloro de ferro, o qual remove o cobre exposto. Esse método é utilizado quando não se tem uma microrretífica, qualquer outra ferramenta de usinagem ou para evitar o ruído causado pelo motor da ferramenta de corte.

Outra aplicação para a máquina é a criação de fotolitos, utilizados na criação de PCI pelo método fotográfico, que ocorre ao desenhar em uma folha plástica de impressão, chapa de acrílico ou vidro, um negativo das trilhas, para uma produção em série de placas iguais. Geralmente para esta tarefa é utilizado uma impressora à laser, que possui um preço de compra superior ao custo da fresadora.

Para usinar a placa da imagem 7, utilizou-se em torno de 12 minutos.

A mesma placa fabricada pelo processo fotográfico demora cerca de 30 minutos a produção e possui outros gastos, como tinta, impressão do fotolito e produtos químicos, que são nocivos ao meio ambiente e à saúde humana.

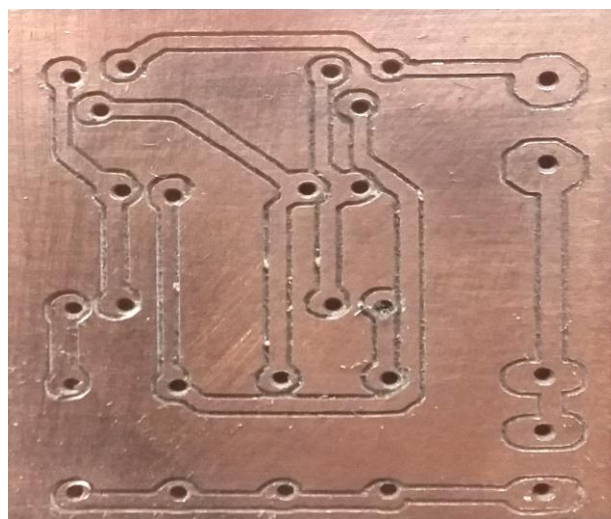


Figura 7. Fabricação de uma placa com a retirada de material. **Fonte:** Os Autores

Observa-se também que o custo envolvendo a fabricação do protótipo foi de R\$430,00, que equivale a 20% do preço de máquinas similares vendidas em sites de importação, sem o imposto tributário de importação.

Um ponto vital para um resultado satisfatório, na usinagem de PCIs, está na configuração do *software* que gera o *gcode*. Se o valor de algum local a ser usinado for inferior ao diâmetro vinculado a fresa, o *software* fará ligações entre pontos distintos, o que levará a não remoção de material entre trilhas e/ou ilhas, conforme destacado na imagem 8, podendo, assim, a placa não desempenhar a função a qual foi destinada, causando curtos circuitos.

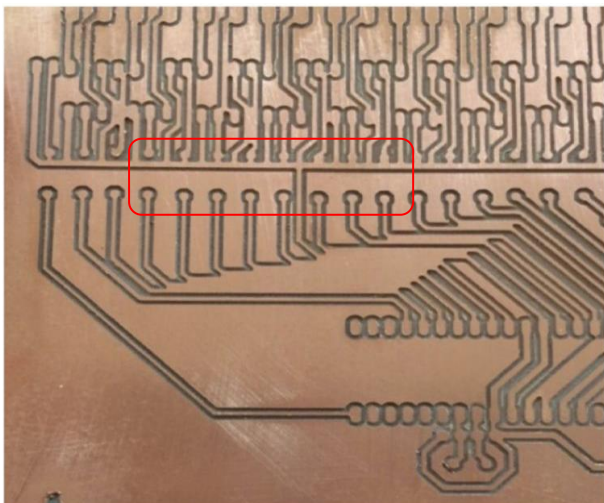


Figura 8. Fabricação de uma placa com trilhas descontínuas. **Fonte:** Alcântara, *et al* (2015).

5. CONCLUSÃO

Tendo em vista todas as explicações acima se pode concluir que, o presente artigo atingiu dois resultados finais, o primeiro é construção efetiva do protótipo visto na Figura 9.

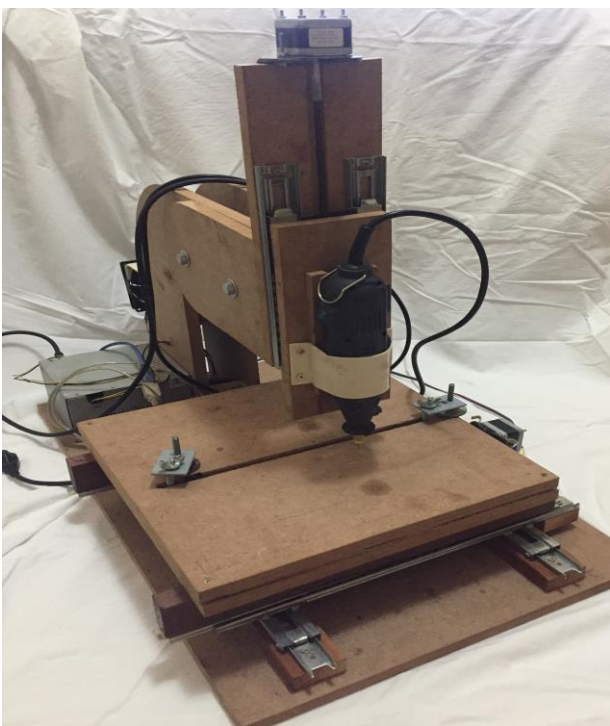


Figura 9. Fresadora CNC finalizada. **Fonte:** Os Autores.

O segundo é a fabricação e o perfeito funcionamento da PCI. Ressalta-se que para fins acadêmicos, produções em pequenas escalas, uso doméstico e empresas de pequeno porte, o projeto desempenhou satisfatoriamente a que foi objetivado, vide Figura 10.

Além do efetivo uso, a máquina é de grande valia para os estudantes dos cursos de engenharia mecânica, elétrica, eletrônica e automação, onde poderá ser observado, na prática, conhecimentos adquiridos em sala de aula, através da aplicação direta do conhecimento e a fabricação de placas para futuros projetos pois, segundo Veiga *et al* (2010)¹³, a procura das placas nas universidades é grande, como por exemplo, na UNIFACS (Universidade Salvador), onde a mesma promove programas em que os alunos (cerca de 500 alunos) necessitam da utilização da PCI para o desenvolvimento dos próprios projetos. Além disso no mercado brasileiro há um déficit de aproximadamente 3.216.000 m² de placas de circuito impresso ao ano.

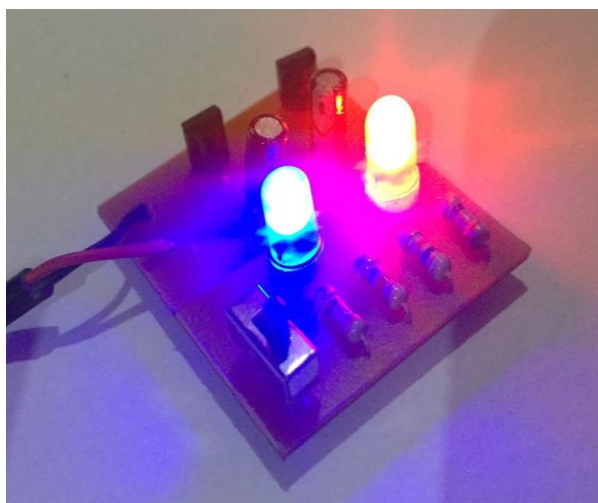


Figura 10. PCI montada e funcionando perfeitamente. **Fonte:** Os Autores.

REFERÊNCIAS

- [01] Stepper Motor Nema 17. PBC LINEAR A PACIFIC BEARING CO. Disponível em: <<http://www.pbclinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Documen.pdf>>. Acesso em: 11 de junho de 2017.
- [02] Zenzen JM. Automating the future. NIST. 2001.
- [03] De Aviz A, Guerra TC, Guerra CA. Construção de protótipos por adição e remoção de material comparativo entre deposição em ABS X usinagem CNC. Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838, p. 14-36, 2012.
- [04] De Miranda RJC. Desenvolvimento de um programa didático computacional destinado à geração de códigos de Comando Numérico a partir de modelos 3D obtidos em plataforma CAD considerando a técnica prototipagem rápida. 2009.
- [05] Lyra PVA. Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática. 2010.
- [06] Alcântara, Yuri Marinho; Junior, Jander Pereira; Santanta, Lucas. Desenvolvimento de uma Mesa Fresadora CNC para Placas de Circuito Impresso para Telecomunicações.

- Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, v. 14, 2015.
- [07] Denecke AE, Abreu VRC. Tecnologia de máquinas e ferramentas. Senai, Rio de Janeiro. 2007.
 - [08] Diniz AE, Marcondes FC, Coppini NL. Tecnologia da usinagem dos materiais. MM. 1999.
 - [09] Ferraresi D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. Edgard Blucher LTDA. 1969.
 - [10] Doro MM, et al. Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso. 2004.
 - [11] Belhot RV, Figueiredo RS, Malavé CO. O uso da simulação no ensino de engenharia. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, XXIX COBENGE. 2001. p. 445-451.
 - [12] Machado ÁR, Abrão AM, Coelho RT, Da Silva MB. Teoria da Usinagem dos Materiais. BLUCHER. 2009.
 - [13] Veiga DTTF, Da Silva FA, Trüeb S. Confecção de Plotter PCB para o mercado LOC.