

## POSICIONAMENTO LINEAR AUTOMATIZADO UTILIZANDO ARDUINO

**Tecg. Rogério Tadeu de Jesus Antonio**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Cubatão, SP, Brasil

**Dr. Eng. Marcos Marinovic Doro**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Cubatão, SP, Brasil

**Resumo:** As máquinas CNC, largamente empregadas em processos industriais de usinagem, marcenaria, comunicação visual, artesanato, entre outros, proporcionam a confecção de produtos complexos ou que exigem grande rigor em suas dimensões. Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de um sistema constituído de hardware e software para controle de movimento ou posicionamento linear, recurso presente e integrante de equipamentos CNC. Baseou-se em tecnologias abertas e de baixo custo, tais como a plataforma Arduino para o controle dos acionadores de movimento e a linguagem Java utilizada para realizar a interface entre o usuário e o equipamento, e também proporcionar ações automatizados ao sistema. O sistema desenvolvido foi validado a partir de testes de movimentação, os quais são apresentados neste trabalho. Os resultados obtidos demonstraram que o equipamento é robusto, com movimentação de dois eixos, plenamente integrado e controlado por uma interface gráfica, permitindo comandos individuais de movimentação ou sequências inteiras de operação.

**Palavras-chave:** Máquinas CNC. Fuso trapezoidal. Java.

**Abstract:** CNC machines, widely used in machining industrial processes, joinery, visual communication, crafts, among others processes, provide the manufacture of complex products or that require great accuracy in their dimensions. This paper presents the study and development of a hardware and software system for motion control or linear positioning, present and integral feature of CNC equipment. It was based on open source and low-cost Technologies, such as the Arduino motion driver control platform and the Java language used to interface the user with the equipment

and provide automated system actions. The developed system was validated from movement tests, which are presented in this paper. The results showed that the equipment is robust, with two axes movement, fully integrated and controlled by a graphical interface, allowing individual movement commands or entire sequences of operation.

**Keywords:** CNC Machines. Trapezoidal spindle. Java.

## INTRODUÇÃO

Em tempos recentes, com o advento da globalização dos mercados consumidores e produtivos, as indústrias necessitaram renovar suas técnicas operacionais com os objetivos de fazerem-se mais competitivas e em algumas situações afastar o operário de áreas perigosas ou insalubres, com essa concepção surge a chamada Automação Industrial. Podemos assinalar que a automação em processos industriais, facilita e otimiza esses processos, produzindo “bens com menor custo, com maior quantidade, em menor tempo e com maior qualidade”, conforme Rosário (2009).

Segundo Zoghbi, Neto e Porto (1998), a máquina CNC (Controle Numérico Computadorizado) foi criada para alcançar esses objetivos, assegurando também flexibilidade, confiabilidade e produtividade ao processo industrial.

Uma definição mais ampla é proporcionada por Silveira (2007).

O Comando Numérico Computadorizado (CNC) é um equipamento eletrônico que recebe informações da forma em que a máquina vai realizar uma operação, por meio de linguagem própria, denominado programa CNC, processa essas informações e devolve-as ao sistema através de impulsos elétricos.

Equipamentos baseados em CNC apresentam sequências de operação executadas através de deslocamentos de seus componentes. Esses movimentos em direções específicas recebem também o nome de eixo de deslocamento e sua quantidade depende do tipo de equipamento em que é empregado, conforme exemplifica Werner (2015).

No processo de fresamento a ferramenta de corte gira em torno de seu eixo e entra em contato com a peça, presa à mesa, que executa os movimentos de avanço, sendo possível, na concepção formada por 3 eixos, os avanços longitudinal, transversal e vertical. Além disso, é possível incrementar esta operação utilizando máquinas com 4 ou mais eixos que proporcionam um movimento angular da ferramenta ou da peça que será usinada.

Simon (2001) destaca duas características importantes encontradas em máquinas CNC, a adaptabilidade, relacionada à capacidade de alterar seu sistema de manufatura para atender diferentes produtos e a flexibilidade, relacionada às atividades básicas na fabricação de produtos como alteração de quantidade de um lote, etc.

Existe um grande número de equipamentos que utilizam o conceito CNC. Simon (2001) menciona, entre outras, fresadoras, mandriladoras, tornos, máquinas de corte a laser, corte por chama, corte por jato d'água, puncionadeiras, retificadoras, tesouras guilhotina e prensas.

Apesar da grande aplicabilidade das máquinas CNC, Simon (2001) apresenta algumas desvantagens na sua utilização, tais como, “elevado investimento inicial, [...] um nível mais elevado de manutenção, [...] necessidade de novo treinamento ou substituição de pessoal.”.

De acordo com Fachim (2013), uma máquina CNC pode ser subdividida em

- Projeto mecânico da máquina;
- Projeto elétrico dos atuadores e dos acionadores de potência;
- Projeto de software, hardware e protocolos de comunicação.

O projeto mecânico contempla a estrutura de base que, segundo Nascimento (2015), “deve servir de apoio para todos os componentes funcionais da máquina”, os mancais, os guias e o sistema de acionamento.

Fazem parte do projeto elétrico os acionadores de potência ou motores, as interfaces de potência para acionamento dos motores, os componentes elétricos para suporte à operação, as fontes de alimentação, etc.

O projeto de software envolve toda programação para controle do equipamento, abrangendo o acionamento dos dispositivos de controle, a interface de entrada de dados e a comunicação entre todos os elementos.

## OBJETIVO

A indústria nacional é carente, segundo Carvalho, Dutra e Bonacorso (2008), de tecnologia orientada às técnicas de manufatura. Isso decorre de grande parte dos equipamentos serem adquiridos no exterior. Neves et al. (2007) argumentam que uma das soluções para esse problema é um maior refinamento da mão-de-obra para a sua intervenção no mercado de trabalho, preparando-os “para os impactos que a automação futuramente trará às suas vidas.”

Baseado nesses pensamentos, a proposta deste trabalho é desenvolver um sistema integrado de software e hardware, alicerçado em tecnologias de baixo custo, para controle de movimento automatizado, também conhecido como posicionamento linear, recurso básico em equipamentos como: máquinas CNC, impressoras 3D, etc.

Dois dos possíveis cenários para tecnologia de movimentação nos eixos de deslocamento serão testados, movimentação por correia ou movimentação por fuso trapezoidal.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Nos itens a seguir são tratados os principais componentes empregados no presente projeto.

### Fuso trapezoidal

Os fusos são dispositivos mecânicos que transformam movimentos de rotação em movimento linear (SILVEIRA, 2007), conforme figura 1.

Figura 1 – Fuso Trapezoidal



Fonte: Thk (2019)

## Eixos e rolamentos lineares

O conjunto composto por eixos retificados e rolamentos lineares é responsável pela movimentação das mesas de trabalho e segundo Werner (2015), “possibilitando um deslocamento com pouco atrito e reduzindo as folgas do mecanismo” (figura 2).

Figura 2 - eixo e rolamento



Fonte: Uptech Brasil (2019b)

## Motor de passo

Dentre os diversos tipos de motores existentes, um dos mais utilizados são os motores de passo. Eles apresentam uma característica singular em relação aos outros, sua rotação é realizada em incrementos fixos e depende de sinais sequenciais aplicados em seus enrolamentos. Esta característica permite um controle de posicionamento sem a utilização de outros recursos, sendo necessária apenas a contagem de incrementos aplicados ao motor (OCANHA, 2009).

## Arduino

O Arduino é uma plataforma composta por hardware e software livre. Criado em 2005, surgiu com o propósito de baratear e facilitar a montagem de projetos acadêmicos. Sua interação com o mundo externo, conseguida através de entradas e saídas digitais e analógicas, é programável por meio de uma versão simplificada da linguagem C++. A conexão, para comunicação e programação com um computador, é realizada através de uma entrada USB. (TAKANO; LOPES, 2016)

Figura 3 – Arduino



Fonte: Arduino (2019)

Suas principais características são (MARCHESAN, 2012):

- Regulador de tensão de entrada, permitindo utilizar fontes de alimentação com tensão entre 6 a 20 volts;
- Saída de alimentação com 3,3 e 5 volts para ligar outros componentes sem a necessidade de outra fonte de alimentação;
- Disponibilidade de conectores em todas as portas de entrada e saída do microcontrolador simplificando a ligação com outros dispositivos;
- Ambiente de desenvolvimento de algoritmos próprio e upload através da porta USB de qualquer computador;
- Corrente máxima por pino de I/O de 20 mA (ARDUINO, 2019).

Incluído no programa executado pelo Arduino, temos a função Loop, “que repete contínua e indefinidamente para controlar o Arduino.” (BRAGA; COSTA, 2015). É nesta função que programamos as instruções principais do Arduino.

## Java

Java é uma linguagem de programação desenvolvida na década de 90 e conforme Indrusiak (1996)

Java é uma linguagem computacional completa, adequada para o desenvolvimento de aplicações baseadas na rede Internet, redes fechadas ou ainda programas stand-alone [...]. Foi desenvolvida [...] com o objetivo de ser mais simples e eficiente do que suas predecessoras.

Suas principais vantagens, segundo Takano e Lopes (2016) são:

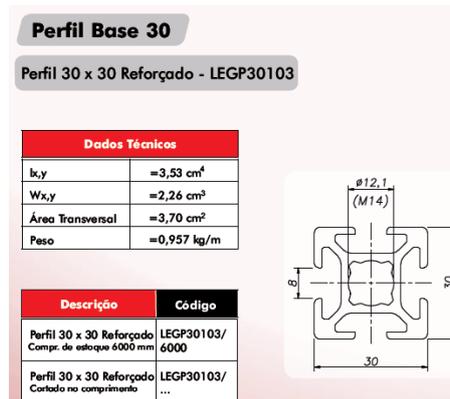
- Orientação a objetos;
- Portabilidade - Independência de plataforma (multiplataforma);
- Possui facilidades para criação de programas distribuídos e multitarefa;
- Baixo custo;
- Sintaxe similar ao C.

## DESENVOLVIMENTO

As primeiras atividades da presente obra tiveram relação com o estudo e a verificação da disponibilidade para futura aquisição, dos principais itens e componentes utilizados no protótipo.

Como material da estrutura de base foi escolhido o alumínio em forma de perfil estrutural nas dimensões de 30x30 mm, figura 4. Sua escolha ocorreu devido a este apresentar uma vida útil elevada, não requerer manutenção, ser um material reciclável e assegurar uma infraestrutura mais leve que outros materiais, conforme Cristofolini (2017).

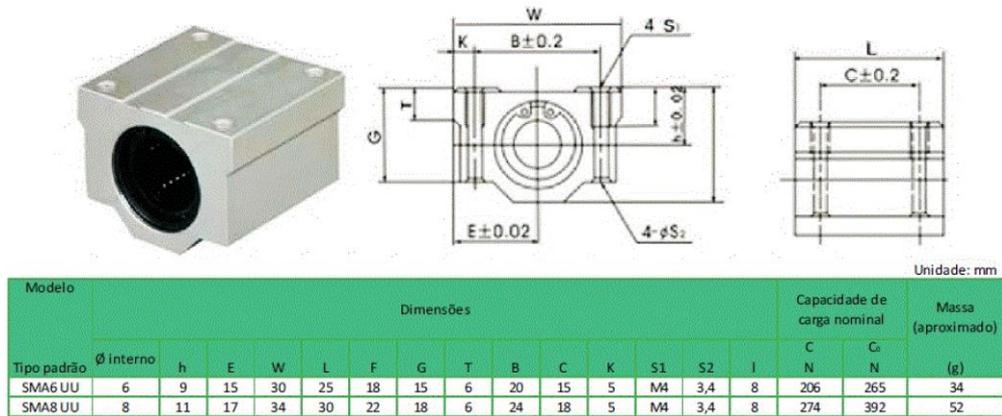
Figura 4 – Características do perfil estrutural de Alumínio 30x30



Fonte: Systems (2018)

Para base do deslocamento foram escolhidos eixos e rolamentos de 8 mm que suportam, individualmente, cargas em movimento de 27,94 kgf ou 274 N, conforme figura 5.

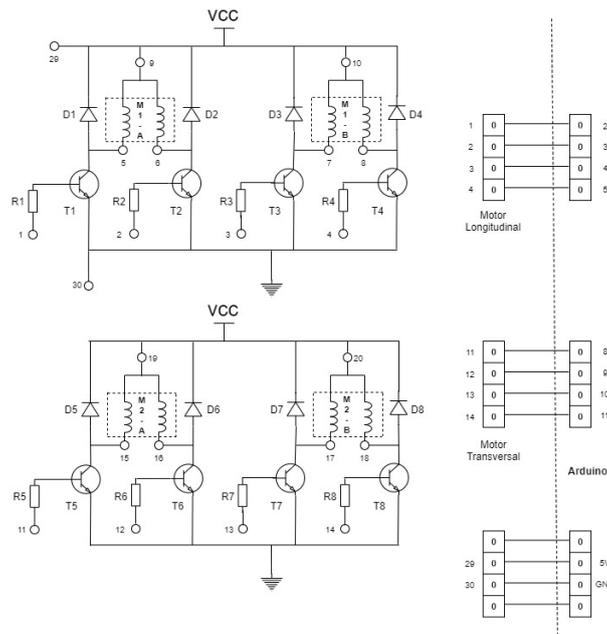
Figura 5 – Suporte de rolamentos



Fonte: Uptech Brasil (2019a)

No projeto elétrico foi adotado o motor de passo como acionador de potência, responsável pela movimentação do conjunto mecânico. O motor empregado tem como principais características torque de 1kgf.cm e corrente de enrolamento de 0,3 Ampère. Este último aspecto torna impossível o acoplamento direto do motor de passo com o Arduino, visto que esse tem saída máxima de 20 mA. A solução encontrada foi o desenvolvimento e montagem de um circuito de interface, conforme figura 6.

Figura 6 – Circuito de interface Arduino/Motores



A figura 7 apresenta os materiais empregados na montagem mecânica. O número um na figura mostra os dois eixos longitudinais, o número dois e três são os

fusos trapezoidais longitudinal e transversal respectivamente, no número quatro temos os dois eixos transversais e finalmente no número cinco os motores de passo.

Figura 7– Componentes do projeto



Com os arranjos estruturais e mecânico concluídos, foi desenvolvido o projeto de software. O software escolhido para realizar a interface com o usuário e a comunicação entre os componentes do sistema foi a linguagem Java, que conforme Santos et al. (2013) é de alto nível, orientada a objetos e multiplataforma.

Na figura 8 apresenta-se a tela de controle do equipamento. Na área delimitada pela cor vermelha temos o controle individual de operações, que funciona da seguinte forma:

- 1 – Digita-se o valor do deslocamento desejado (em mm);
- 2 – Aciona-se o botão da operação desejada (Avanço, Recuo, Direita ou Esquerda);
  - 2.1 – A sinalização “Pronto” mudará para “Em movimento”;
  - 2.2 – Quando o conjunto mecânico finalizar o movimento, a sinalização “Em movimento” mudará para “Ok”, indicando que a operação foi realizada com sucesso;

2.3 – A qualquer momento, se o ponto de limitação física for atingido, o movimento correspondente será finalizado com indicação de “FC – Acionado”;

3 – Se necessário uma nova operação, volta-se ao passo 1.

A área delimitada pela cor verde corresponde ao controle automático do processo:

1 – Digita-se o código correspondente ao movimento desejado (exemplo de código para movimento à direita e deslocamento de 10 mm, “d10”);

2 – Aciona-se o botão “Acrescentar”;

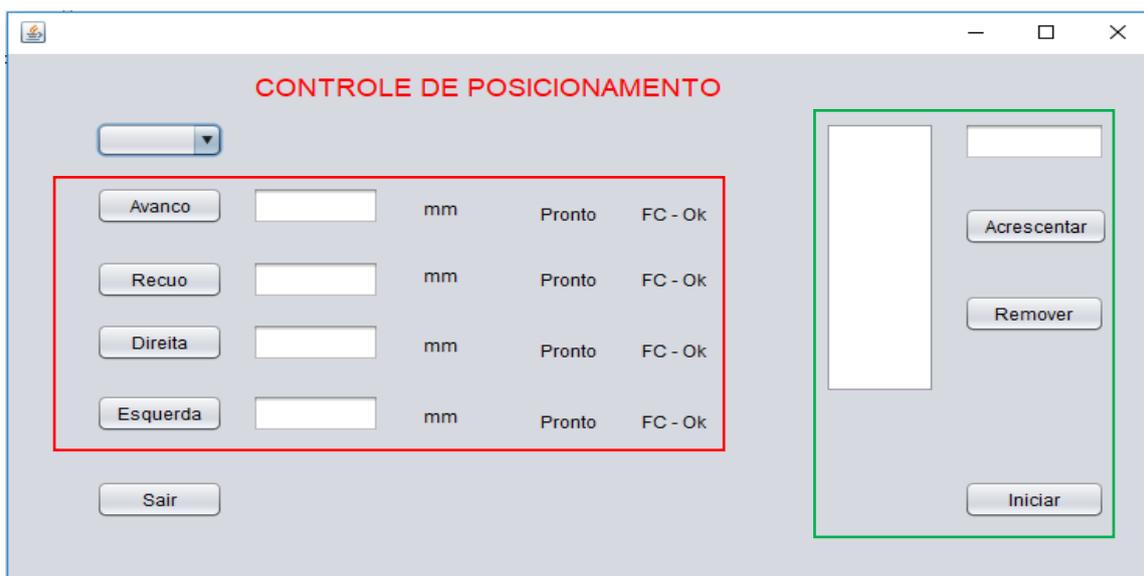
2.1 – O valor digitado será transferido para a lista com a sequência de operações;

3 – Repete-se os passos 1 e 2 até completar a operação desejada;

4 – Aciona-se o botão “Iniciar”

4,1 – Os códigos digitados serão enviados sequencialmente para o sistema de movimentação.

Figura 8 – Tela de controle

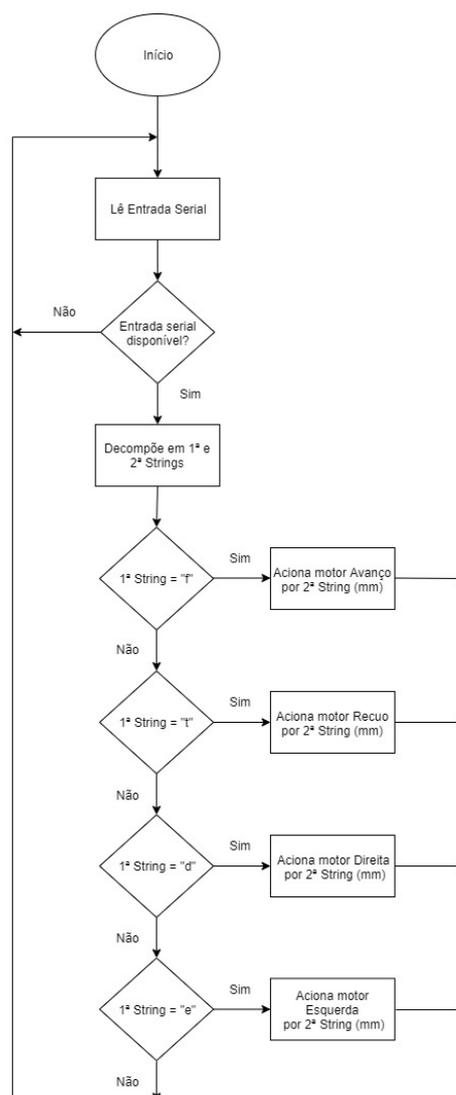


Na função loop do Arduino foi implementada uma rotina de verificação de disponibilidade de informações no sinal serial recebido pelo Arduino. Caso exista dado disponível, este será desmembrado em duas variáveis. A primeira corresponde ao

movimento pretendido (Avanço, Recuo, Direita ou Esquerda) e a segunda ao deslocamento planejado (em milímetros).

Quando as duas variáveis são obtidas, a quantidade de deslocamento (expressa em milímetros) é enviada para imediata execução pela função correspondente ao movimento. Tendo um total de quatro funções de movimentação, cada uma é responsável pelo acionamento do motor de passo encarregado do sentido e com o deslocamento pretendido, figura 9.

Figura 9 – Fluxo de execução do Arduino



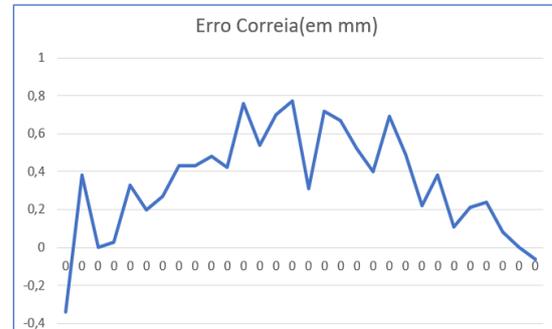
## TESTES E ANÁLISE

Com o propósito de definir o sistema de acionamento mecânico, foram montados dois conjuntos, um utilizando fuso trapezoidal e outro com sistema de correia. Duas séries de testes realizados visavam levantar características de exatidão e velocidade dos sistemas. Na primeira série de testes foram realizados 28 movimentos de deslocamento utilizando o sistema de fuso trapezoidal. Como podemos ver pelo gráfico 1, o erro de posicionamento foi maior que 0,1 mm em apenas 8 deslocamentos. No teste com sistema de correia foram realizados 30 movimentos de deslocamento, o erro encontrado foi maior que 0,2 mm em 25 deslocamentos, superando os 0,4 mm em 12 deslocamentos, conforme resultado mostrado no gráfico 2.

Gráfico 1 – Erro de deslocamento - Fuso



Gráfico 2 – Erro de deslocamento - Correia



Na segunda série de teste foram cronometrados os tempos de deslocamentos para distâncias de 200 mm e 400 mm. Conforme verificado na tabela 1, o deslocamento realizado pelo sistema de correia é mais rápido comparado com o sistema de fuso trapezoidal.

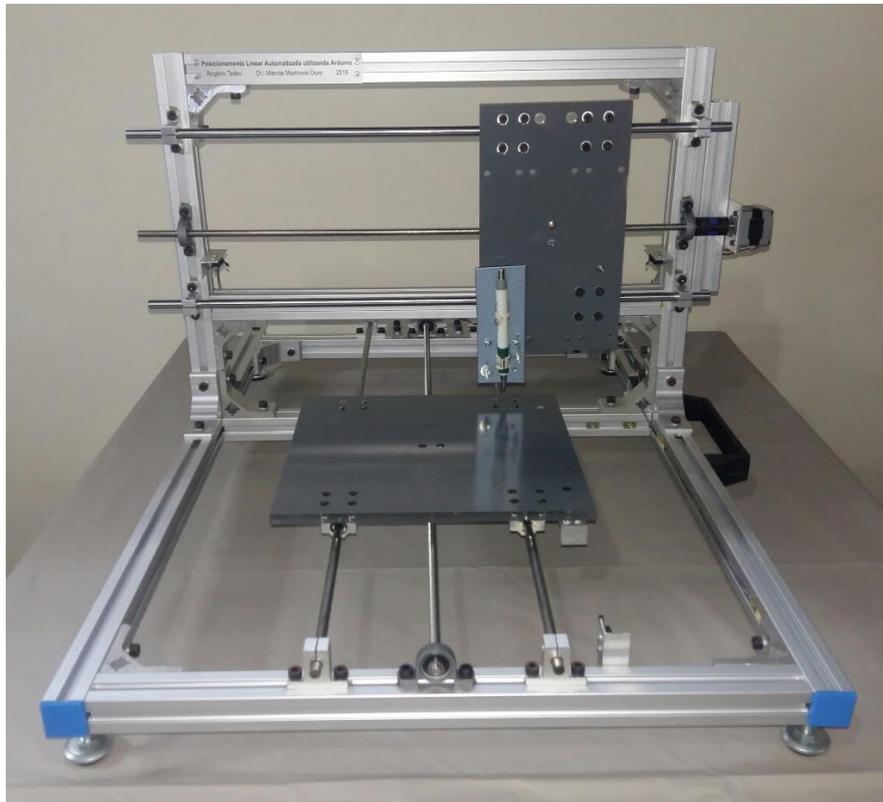
Tabela 1 – Tempo de deslocamento

	200	400	Milímetro
Fuso	20,75	40,76	Segundo
Correia	5,96	11,21	Segundo

Os testes demonstram uma assertividade de posicionamento maior do fuso trapezoidal e o sistema de correia sendo mais rápido no deslocamento. Após análise

dos resultados optou-se pela utilização do sistema de fuso no presente projeto. A qualidade do posicionamento conseguido e a maior robustez em relação ao sistema de correia foram determinantes para a escolha. Na figura 10 apresenta-se a montagem final.

Figura 10 – Projeto mecânico concluído



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs o desenvolvimento de um sistema integrado de software e hardware capaz de emular o posicionamento linear presente em máquinas CNC. Sua concepção surgiu da necessidade de preparar as pessoas para o uso de tecnologias orientadas às técnicas de manufatura presentes na indústria moderna. O resultado é um projeto para movimentação automatizada em dois eixos que emprega, entre outros, a plataforma Arduino, a linguagem Java e motores de passo, recursos tecnológicos de baixo custo, mas capazes de atender aos objetivos propostos.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. **ARDUINO UNO REV3: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS**. 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

BRAGA, Ewerton Silva; COSTA, Romualdo Monteiro de Resende. **IMAGEM E MOVIMENTO: IMPLEMENTANDO O MOVIMENTO AUTÔNOMO ATRAVÉS DO ARDUINO E OPENCV**. **Caderno de Estudos em Sistemas de Informação**, Juiz de Fora, v. 2, n. 2, p.1-20, 2015.

CARVALHO, R. S.; DUTRA, J. C.; BONACORSO, N. G. . **Implementação de controlador CNC de baixo custo em manipulador robótico para a soldagem**. In: CONEM 2008: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador-BA: Cian, 2008. v. 1.

CRISTOFOLINI, Odacir. **ANÁLISE DE ESTRUTURAS PARA MÁQUINA CNC DE BAIXO CUSTO, PARA USINAGEM DE NÃO METAIS**. 2017. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Anhanguera, Jaraguá do Sul, 2017.

FACHIM, A. **Projeto de Fresadora CNC com Plataforma Livre Arduino**. 2013. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

INDRUSIAK, Leandro Soares. **Linguagem Java**. 1996. Disponível em: <<https://www.cin.ufpe.br/~arfs/introjava.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2019.

MARCHESAN, Marcelo. **SISTEMA DE MONITORAMENTO RESIDENCIAL UTILIZANDO A PLATAFORMA ARDUINO**. 2012. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Redes de Computadores, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

NASCIMENTO, Cláudia Hespanholo. **Estudo do erro de posicionamento do eixo X em função da temperatura de um centro de usinagem**. 2015. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

NEVES, C.; Duarte, L.; VIANA, N. S.; DE LUCENA JUNIOR, V. F. . **Os Dez Maiores Desafios da Automação Industrial: As Perspectivas para o Futuro**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007, João Pessoa - PB. Anais do II CONNEPI, 2007. p. 1-8.

OCANHA, Denis. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FRESADORA NUMERICAMENTE CONTROLADA**. 2009. 85 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2009.

ROSÁRIO, João Mauricio. **AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**. São Paulo: Baraúna, 2009.

SANTOS, R. C.; et al. . **ROBÓTICA E PROGRAMAÇÃO JAVA NA ELABORAÇÃO DE VEÍCULOS CONTROLADOS REMOTAMENTE COMO NOVA TECNOLOGIA DE**

**ENSINO.** In: VIII International Conference on Engineering and Computer Education - ICECE '2013, Luanda, 2013.

SILVEIRA, Ricardo César Alves. **DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO MECÂNICO COM CONTROLE NUMÉRICO COMPUTADORIZADO PARA PRODUÇÃO DE PROTÓTIPOS EM ESCALA.** 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SIMON, Alexandre Tadeu. **Condições de Utilização da Tecnologia CNC:** Um Estudo para Máquinas-Ferramenta de Usinagem na Indústria Brasileira. 2001. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SYSTEMS, Eng Legho. **Catálogo de produtos Eng Legho Systems.** 2018. Disponível em: <<https://www.engelegho.com.br/imagens/pdf/catalogo.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

TAKANO, Márcio; LOPES, Luiz Fernando Braga. Proposta de aplicativo para controle de fluxo de trânsito usando Arduino e câmera com OPENCV. **Revista de Pós-graduação do Centro Universitário Cidade Verde**, Maringá, v. 2, n. 2, p.94-111, nov. 2016.

THK. **Fuso Trapezoidal.** 2019. Disponível em: <<http://thk.com/?q=br/node/4677>>. Acesso em: 27 set. 2019.

UPTTECH BRASIL. **Catálogo - Pillow Block Fechado SMA ou SCS.** Disponível em: <[https://www.upttechbrasil.com/files/pdfs/pillow\\_block\\_fechado\\_sma\\_upttech\\_brasil.pdf](https://www.upttechbrasil.com/files/pdfs/pillow_block_fechado_sma_upttech_brasil.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

UPTTECH BRASIL. **Rolamentos linear e bucha de esferas.** 2019. Disponível em: <[https://www.upttechbrasil.com/files/rolamentos\\_linear\\_bucha\\_de\\_esferas1.jpg](https://www.upttechbrasil.com/files/rolamentos_linear_bucha_de_esferas1.jpg)>. Acesso em: 26 set. 2019.

WERNER, Gerson. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FRESADORA CNC PARA A USINAGEM EM 5 EIXOS.** 2015. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

ZOGHBI, J. R. B. F.; NETO, A. V.; PORTO, A. J. V. **Prototipação do intertravamento de um torno CNC utilizando realidade virtual.** Anais XXVI ENEGEP. 1998.