

Inersora de fios automatizada

*Christian Botelho Lopes (Mecatrônica Industrial FATEC - Garça/SP)
Email: christian.bl@hotmail.com*

*Renan Henrique da Silva (Mecatrônica Industrial FATEC - Garça/SP)
Email: renanmecatronica@hotmail.com*

Orientador: *Prof. Ms. Ildeberto de Gênova Bugatti (FATEC - Garça/SP)*

RESUMO

A Inersora de Fios Automatizada caracteriza-se como um equipamento automatizado que está sendo projetado com o propósito de ser utilizada em linhas de produção da indústria eletro-eletrônica regional. Trata-se de uma máquina inovadora que contribuirá tanto para aumentar eficiência e qualidade de processos de manufatura de equipamentos eletro-eletrônicos quanto para diminuir custos de produção, substituindo processos de produção que, atualmente, são totalmente manuais e considerados como um gargalo do processo produtivo.

PALAVRAS-CHAVE

Inersora de Fios. Automação. Mecatrônica. Mesa XY.

1 INTRODUÇÃO

Para atender à demanda do mercado consumidor, as empresas optam por melhoras fazendo alterações em suas linhas de produção com o objetivo de ter uma produção em larga escala de determinados produtos. PAIVA (1999) explica que esse tipo transformação de matérias-primas em elementos acabados em grande escala qualificando como processo manufaturado.

PACIEVITCH (2008) descreve o processo manufaturado podendo ser manual (origem do termo) ou com a utilização de máquinas. Para obter um maior volume de produção, é aplicada a técnica da divisão do trabalho, onde cada trabalhador executa só uma pequena porção do fabrico. Desta maneira, são economizados e especializados movimentos, fato que repercute numa maior velocidade de produção.

Na linha produção de algumas empresas locais, pode-se destacar a função de inserção de fios em placas eletrônicas, considerada o gargalo do processo. Esta função é realizada por muitos colaboradores posicionados de forma padronizada, seguindo o layout da empresa (informação verbal¹).

A máquina que realiza a função de inserir fios de modo automático, ainda é inexistente no mercado mundial, o que a torna uma máquina inovadora, *Inersora de Fios Automatizada*; ela terá total interação com a função de inserir fios em placas eletrônicas, com o objetivo de otimizar e maximizar a produção dessa função, deixando de ser o gargalo (EMPRESA², 2011).

2 INSERSORA DE FIOS

O processo de inserir fios é realizado por vários colaboradores que ficam organizados, paralelamente, um ao lado do outro e em frente de uma bancada onde recebem os fios. Cada colaborador apanha os fios, de acordo com a cor designada, e os insere nos respectivos furos que se localizam na placa eletrônica.

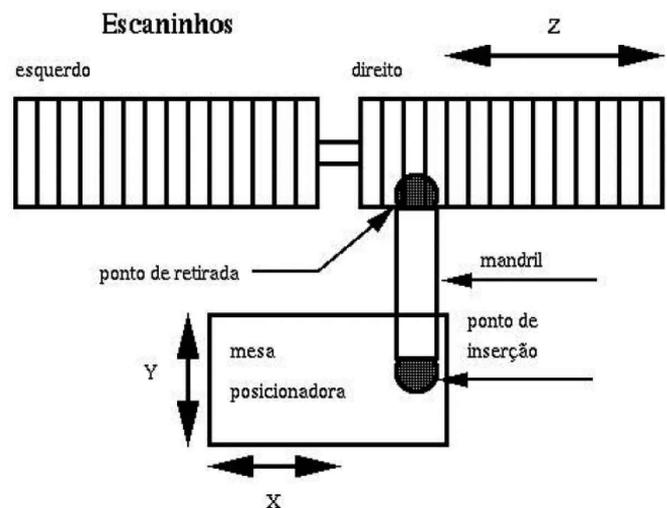
Para automatizar essa função, está sendo estudada a possibilidade de projetar uma máquina

que possa vir a simular os movimentos que os colaboradores realizam para apanhar os fios e inseri-los nos furos das placas ou criar qualquer outro método onde fosse possível simular o mesmo processo de inserir os fios.

Para desenvolver a insersora de fios, o projeto teve como base outras insersoras que são existentes no mercado. Essas insersoras são conhecidas por insersora axial, insersora radial e insersora *Surface-Mount Device (SMD)*, sendo a função de cada uma inserir componentes eletrônicos nas placas eletrônicas.

RABAK (2001) traz informações sobre os blocos funcionais que constituem uma insersora. Os blocos principais das insersoras são: uma ou mais cabeças de inserção de componentes, um mandril que se move entre o ponto de retirada de componentes (fixo na máquina) e o ponto de inserção (na área da placa), transportando o componente do escaninho para a cabeça de inserção; dois conjuntos de escaninhos para alojar os componentes e uma mesa com dispositivo transladador XY para movimentar a placa de circuito, impresso sob a cabeça de inserção, e uma unidade de controle comanda todo o conjunto, interpretando o programa de inserção para cada placa. Na figura 1, um desenho ilustrando a insersora.

Figura 1 - Descrição dos blocos funcionais de uma insersora



Fonte: RABAK

¹ Informação cedida pelo professor Ildeberto de Genova Bugatti, durante o desenvolvimento do projeto, e colegas que trabalham nessas empresas.

² A empresa não permitiu sua identificação.

Para o desenvolvimento do projeto da inserora de fios, foram utilizados os mesmos princípios de funcionamento das demais inseroras: uma mesa com dispositivos transladores X e Y, com o suporte para o acoplamento de uma placa eletrônica, um dispositivo de inserção, sendo tudo controlado por meio de um programa alojado em uma unidade de controle.

3 MESA MÓVEL

Neste tópico, fala-se, especificamente, sobre a mesa móvel, tendo como característica a liberdade de deslocamento em dois sentidos, que será determinada como eixos X e Y. Tal mesa tem como principal função deslocar a placa eletrônica fixada no dispositivo transdutor, fazendo o posicionamento exato de seus furos, para, então, serem inseridos os fios pelo dispositivo de inserção. A mesa móvel consiste numa das partes principais do projeto da inserora de fios

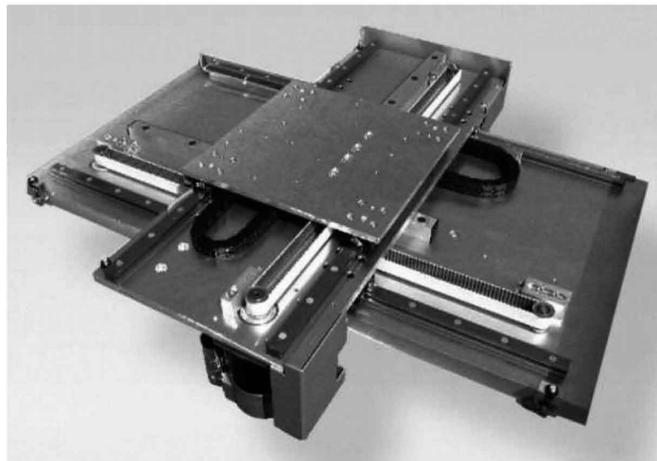
automatizada e, para ser confeccionada, é necessária uma mesa fixa.

A mesa fixa tem a função de ser o suporte e a referência para todos os outros dispositivos. Nela, fixam-se os mancais dos eixos da mesa móvel, suporte para o acoplamento do motor de passo, correia de transmissão, suporte do dispositivo de inserção, etc.

Para a mesa móvel, com base em estudos e pesquisas realizadas, pode-se levantar muitas informações de grande importância para o desenvolvimento da mesa. Com essas pesquisas, estudamos métodos que podem ser utilizados como guia, métodos de transmissão de movimento e métodos de controle que podem ser utilizados na mesa móvel. Na figura 2, um modelo de mesa XY utilizada e, na figura 3, o modelo de mesa projetada.

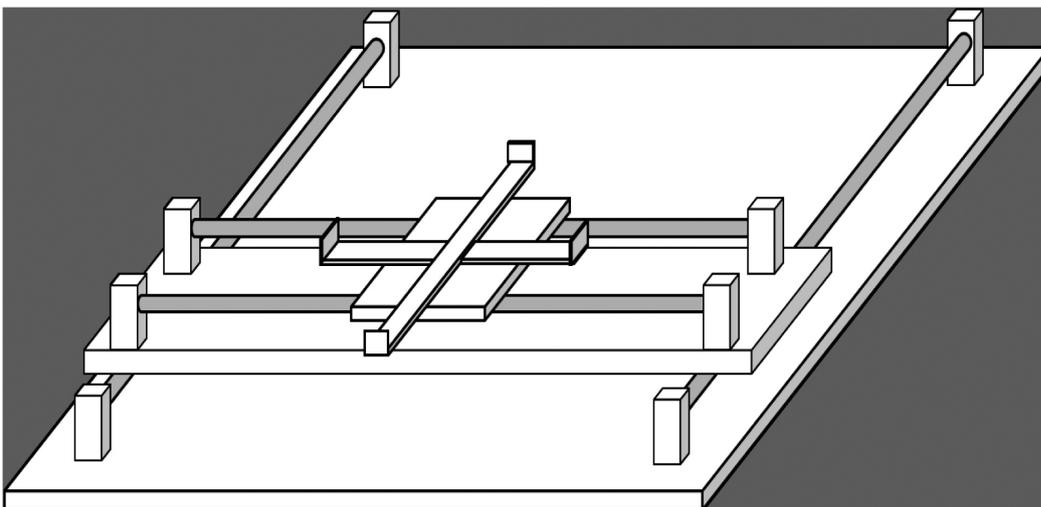
Ao decorrer do trabalho, será descrito um pouco mais sobre cada função utilizada pela inserora de fios automatizada.

Figura 2 - Tipo de mesa de posicionamento XY existente



Fonte:
Directindustry

Figura 3 – Modelo da mesa móvel proposta para o projeto da inserora



Fonte:
Os autores
(2012)

3.1 Métodos de Guia Linear

Para que a mesa móvel pudesse ser deslocada nos sentidos determinados, sem possíveis desvios de direção, serão necessárias guias lineares. Para WITTE (1998), as guias lineares devem guiar a mesa de avanço sobre a ação de uma força e pará-la em qualquer posição: deve, ainda, ocorrer um eventual desgaste equilibrado, deslizamento suave, livre de tensão e conter uma atuação com lubrificação garantida.

As guias lineares utilizadas para a mesa móvel são do tipo cilíndrica, consistindo em eixos retificados. Os eixos retificados constituem em barra cilíndrica que passou por um processo de retificação. Por serem relativamente baratas e possuírem uma boa rigidez, pode se encontrar muitos guias de eixo

retificados em impressoras, onde os eixos retificados são utilizados como guia para o carro de tinta.

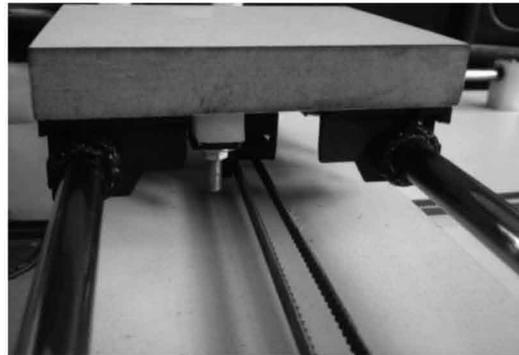
No desenvolvimento do protótipo do projeto, houve dificuldades na falta de materiais disponíveis, então optou-se por reaproveitar materiais de equipamentos que eram considerados sucatas e, dentre estes, um dos equipamentos que mais contribuiu com o protótipo foram as impressoras. Dentro de uma impressora, podemos encontrar motores de passo, correias, eixos retificados, chaves fim de curso, engrenagens, entre outras matérias que podem ser utilizados. Para essa parte do projeto, utilizou-se das impressoras, dos eixos retificados e do suporte para deslizar sobre o eixo (*pillow block*) o próprio carro de tinta. Na figura 4, um modelo de guia cilíndrica e o *pillow block* e, na figura 5, o modelo utilizado.

Figura 4 – Guias cilíndricas retificadas e *pillow block*



Fonte: Embalaweb

Figura 5 - Guias e *pillow block* utilizada no projeto



Fonte: Os autores (2012)

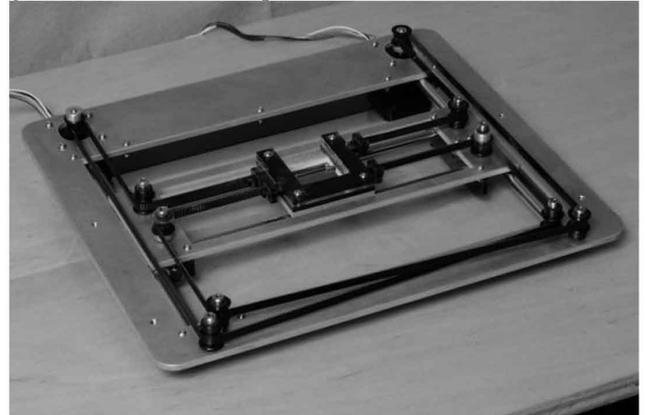
3.2 Métodos de Transmissão

Para fazer a movimentação dos dispositivos transladores da mesa móvel, estudou-se dois métodos utilizados para fazer transmissão nesses tipos de dispositivos; Segundo FILHO (2007), uma é feita por eixo fuso que possui baixas perdas e a outra por correia sincronizada em que se pode alcançar uma maior velocidade.

Com o protótipo sendo desenvolvido a partir de peças recicláveis, utilizou-se, para fazer a transmissão, a própria correia que é utilizada nas impressoras. Nas impressoras, essas correias são utilizadas para fazer o deslocamento do carro de tinta. Sendo que, em uma extremidade da dela, é fixada no motor que transmite os movimentos; na outra extremidade, um dispositivo que mantém a correia sempre esticada para não haver derrapagem e o carro de tinta que

é o dispositivo translador que trabalha entre esses dois pontos sendo acoplado na correia. Na figura 6, um modelo de transmissão por correia.

Figura 6 – Mecanismo que utiliza a transmissão de correia



Fonte: Imprimindo3d

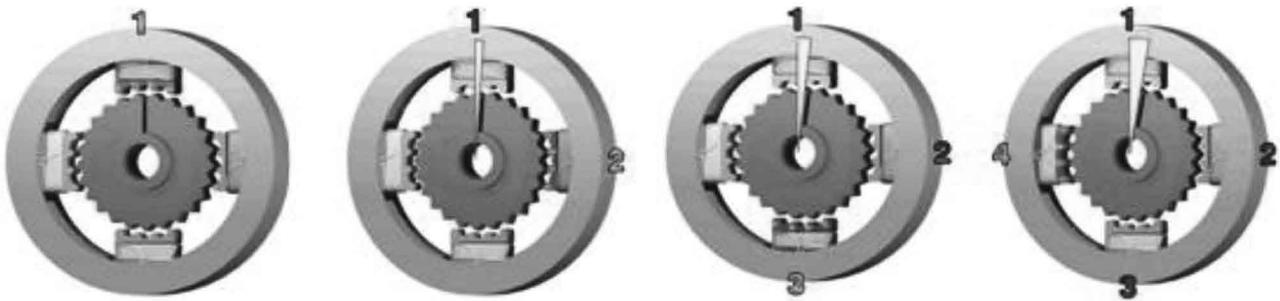
3.3 Motor de Passo

SILVA (2001) classifica o motor de passo como um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado por meio de pulsos, o que possibilita o deslocamento por passo. O seu funcionamento pode ser comparado ao motor síncrono: um campo rotativo (neste caso, gerado pela eletrônica de controle) faz girar o campo magnético.

Na figura 7, o funcionamento do motor de passo, na primeira imagem, o solenoide do topo (1) está ativado, atraindo os dentes superiores do eixo; na segunda imagem, o solenoide do topo (1) é desativado, e o solenoide da direita (2) é ativado, atraindo os dentes mais próximos à direita, resul-

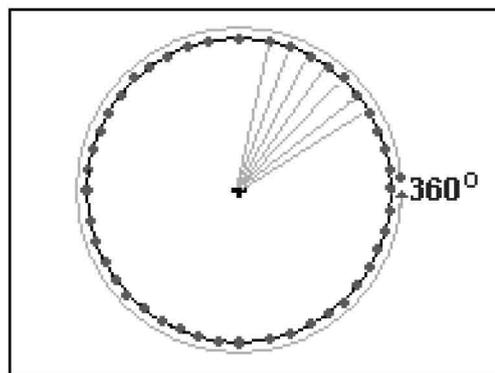
tando em um passo que equivale a $7,5^\circ$. Na terceira imagem, o solenoide da direita (2) é desativado, e o solenoide inferior (3) é ativado, dando mais um passo, resultando em um movimento no eixo de 15° . Na quarta imagem, o solenoide inferior (3) é desativado, e o solenoide da esquerda (4) é ativado, gerando mais um passo, somando, no total, um movimento de $19,5^\circ$ no eixo. Para que o motor possa rotacionar uma volta completa de 360° , será necessário seguir essa sequência de pulsos até completar 48 passos. Na figura 8, os 48 passos representados em pontos, sendo cada ponto equivalente a um passo de $7,5^\circ$.

Figura 7 – Pulso de acionamento de um motor de passo por pulso



Fonte: Inovabots

Figura 8 – Graduação de passo equivalente a $7,5^\circ$



Fonte: Rogercom

Para um melhor controle e uma melhor precisão em nossos protótipos, utilizaremos motores de passo para movimentar os dispositivos transladados da mesa móvel. Esses motores de passo que utilizaremos foram encontrados também em impressoras.

Para que os motores de passo possam funcionar corretamente, eles precisam de um controlador digital para gerenciar o acionamento das bobinas e um circuito amplificador de potência dimensionado de acordo com as especificações de tensão e corrente do motor, para que ele possa ter um melhor desempenho. Na figura 9, o motor de passo utilizado no projeto.

Figura 9 – Motor de passo utilizado no projeto



Fonte: Datasheet do motor PM35L-048

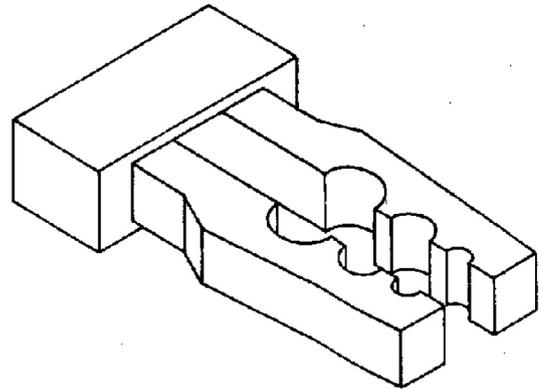
4 DISPOSITIVO DE INSERÇÃO

A Função do dispositivo de inserção é apagar os fios de acordo com a posição especificada e inseri-los nos furos determinados. Este dispositivo pode ser projetado de várias maneiras e com métodos diferentes, dependendo de como que o projetista quer que esta função seja executada.

Foram levantados estudos sobre os tipos de garras que existem atualmente e os modelos que poderiam ser utilizados para executar as inserções. Por terem custos elevados e difícil aquisição, dificultam testes com esses tipos de garras, bem como identificar qual delas realizaria o trabalho com maior eficácia. Para o projeto da inseridora de fios automatizada, optou-se por fazer uma garra que pudesse segurar os fios de uma maneira simples, que não os danifica-se e que pudesse manter sincronismo com os furos da placa eletrônica. Na fi-

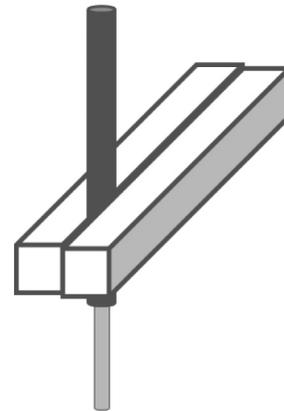
gura 10, um dos modelos de garra estudada para fazer a inserção dos fios.

Figura 10 – Modelo de garra estudada



Fonte: Atuadores tipo garra

Figura 11 – Garra segurando o fio



Fonte: Os autores (2012)

5 SENSORIAMENTO E ELETRÔNICA DE CONTROLE

Segundo Lopes (2007), para que a inseridora de fios possa se tornar sistema automático, são necessários mecanismos de controle que verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência do homem. Para coletar informações do estado atual da mesa e fazer verificações, utilizou-se sensores fim de curso para fazer o sensoriamento do deslocamento da mesa e do dispositivo de inserção, bem como, para verificação de existência de fios, um sensor óptico de barreira.

Para receber e processar os sinais fornecidos pelos dispositivos de sensoriamento e em resposta atuar nas partes mecânicas, utilizou-se um microcontrolador como unidade de controle, que irá fazer todo o gerenciamento de dados entre sensores e atuadores.

5.1 Sensoriamento da Mesa

A mesa que desenvolvemos para o projeto tem o curso determinado pelo comprimento dos eixos guias e da largura dos dispositivos transladores. Para que possa ser utilizado o curso da mesa com um melhor aproveitamento, necessitaria de um sistema de referenciamento, que permitisse identificar os extremos de cada guia, calculando o curso livre para os dispositivos transladores. A identificação do extremo de cada curso tem de ser feita de forma automática, desprezando ajustes e controles manuais ou mecânicos. Para identificar o dispositivo translador em seu limite máximo no guia, utilizou-se um switch KW11, identificado na figura 12, sendo um sensor fim de curso.

Figura 12 – Modelo de chave fim de curso utilizado



Fonte: Alibaba

ROSÁRIO (2005) explica que sensores fim de curso são interruptores ou chaves comutadoras que atuam sobre um circuito no modo liga/desliga quando uma ação mecânica acontece no seu elemento atuador. A chave fim de curso se mantém aberta (mantém uma interrupção no circuito) quando não pressionada e, quando pressionada, fecha uma conexão em um circuito, mostrando uma atuação sobre ela, indicando uma posição final de um elemento qualquer. Em nosso projeto, quando a chave fim de curso for comutada mostra que o dispositivo translador está no seu limite máximo de curso, enviando um sinal para o microcontrolador mostrado.

5.2 Sensoriamentos da Garra

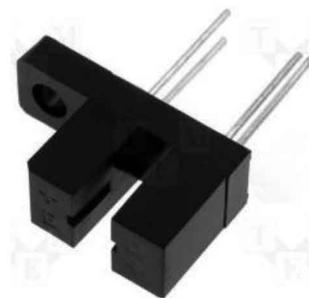
A principal função da garra é pegar o fio

em um determinado lugar, deslocar-se até a posição de inserção e, depois, inserir os fios nos furos da placa eletrônica. Assim como a mesa, a garra também necessita de dispositivos que auxiliem no controle, identificando a posição atual da garra e verificando se tem (ou não) fio para a garra pegar.

Para verificar a posição atual da garra, utilizaremos o mesmo dispositivo que a mesa, chaves fim de curso; as chaves nos indicarão se a garra está na posição inferior ou superior; e para a verificação da existência de fios, está prevista a utilização de um sensor óptico de barreira.

ROSÁRIO (2005) descreve que um sensor óptico é formado por um emissor e por um receptor de luz. O emissor de luz óptico pode ser um Diodo Emissor de Luz (LED) ou uma lâmpada. O receptor é um componente fotossensível, isto é, sensível à luz. O princípio de funcionamento de um sensor óptico baseia-se num circuito oscilador que gere uma onda convertida para o receptor. Um circuito eletrônico identifica essa variação e emite um sinal que poderá ser utilizado para inspeção e controle. No sensor óptico de barreira, a saída é comutada quando um objeto bloqueia a passagem de luz. No projeto da inserora, quem bloqueará a passagem de luz serão os fios. Na figura 13, segue o modelo do sensor óptico de barreira utilizado.

Figura 13 – Modelo de sensor óptico de barreira utilizado



Fonte: Katalog-tme

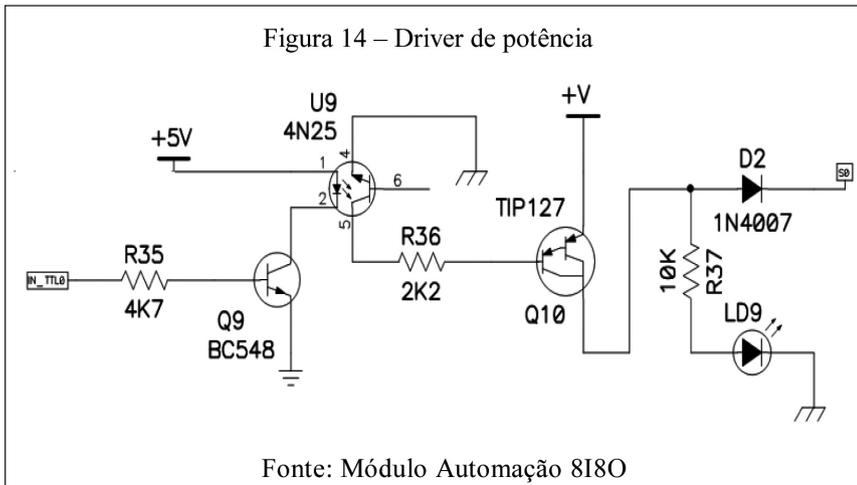
5.3 Driver de Potência

Para fazer o acionamento dos motores de passo que estão sendo utilizados, necessita-se de uma tensão e uma corrente mais elevada do que aquela que o microcontrolador pode fornecer. Para que seja possível acionar os motores de passo por meio do microcontrolador, será utilizado um driver de potência. Esse driver de potência consiste num circuito amplificador com capacidade de atender à

tensão e corrente específicas do motor.

Para fazer o driver de potência, utilizou-se o transistor *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)* IRFZ44N, sendo este um transistor lógico, com possibilidade de ser acionado diretamente pelo microcontrolador (Informação verbal³). Na figura 14, o circuito amplificador que é utilizado no projeto.

- 368 de RAM;
- 256 EEPROM;
- 33 entradas e saídas digitais;
- 10bit de conversor analógico para digital;
- 2 módulo comparador, capturador e PWM;
- Portas serial e paralela; e
- 3 Timers.



6.1 Programação de controle

Para desenvolvimento do programa de controle, utilizou-se o software de programação MPLAB IDE v8.10 disponibilizado pela empresa Microchip Technology Inc. Esse programa é um ambiente integrado de desenvolvimento, em que se pode executar todos os processos necessários para o desenvolvimento de programação para um PIC; a linguagem utilizada nessa programação é a linguagem "C".

Dornelles (1997) descreve a linguagem C como sendo uma linguagem de alto nível, genérica, que foi desenvolvida por programadores para programadores, tendo como meta características de flexibilidade e portabilidade.

Vantagens em utilizar a linguagem C são por serem facilmente interpretadas, terem maior portabilidade, podendo ser executadas em várias plataformas, com pouquíssimas modificações. Em geral, a programação torna-se mais fácil por causa do maior ou menor grau de estruturação de suas linguagens. Para compilação, utilizou-se o compilador PICC-Lite Compiler da empresa HI-TECH, que transforma o código fonte em linguagem de máquina para que possa ser gravado no microcontrolador; o software utilizado para gravação do programa do computador para o microcontrolador é o PROG_CNZ.

7 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para montagem do protótipo, realizou-se levantamentos teóricos de cada parte da inserora de fios automatizada, visando à montagem individual de cada parte, dando início à montagem do protótipo pela construção da mesa fixa. Inicialmente, o protótipo iria ser montado a partir de um metal de baixa

6 MICROCONTROLADOR

Na atualidade, um grande número de microcontroladores está integrado em diversos equipamentos eletrônicos que exercem um papel importante no dia a dia das pessoas. Televisão digital, microondas, celulares e carros, cuja injeção de combustível é realizada via microcontroladores, são apenas alguns desses exemplos.

SOUZA (2011) descreve o microcontrolador em poucas palavras, definindo-o como um pequeno componente eletrônico, dotado de uma inteligência programável, utilizado no controle de processos lógicos.

No presente trabalho foi utilizado um microcontrolador PIC16F877A, fabricado pela empresa Microchip Technology Inc. Para a escolha do microcontrolador, não houve pesquisa para classificar aquele que fosse o mais viável e de menor custo para este estudo, apenas utilizou-se o microcontrolador disponível no laboratório da Instituição de Ensino Superior.

Algumas características do PIC16F877A:

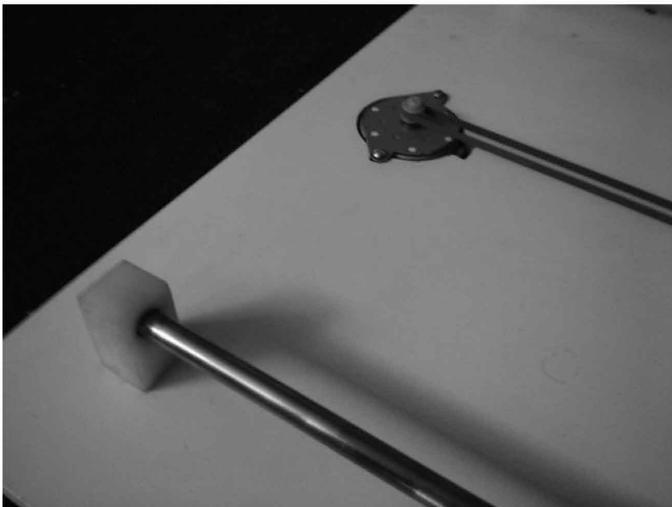
- 8k de memória de programa;

3 Informação cedida pelo aluno Jason Mancuso, monitor da matéria de eletrônica, na Faculdade de Tecnologia de Garça (FATEC - Garça).

densidade, mas, por falta de recursos optou-se por fazê-lo em madeira.

As dimensões da mesa fixa tiveram como base o tamanho dos eixos retificados retirados de impressoras; tendo seu tamanho já definido, dimensionou-se a mesa para que pudesse suportá-los. A mesa fixa, estando concluída, começou-se a fazer o suporte para o motor de passo e a fixação dos mancais. Os mancais utilizados foram feitos com uma barra de nylon, em que seu trabalho de confecção não foi de forma simétrica e com precisão; essas características, contudo, não atrapalham o funcionamento e o desempenho da mesa. Após acoplarmos o motor de passo, os mancais e os eixos retificados, instalou-se a correia e o dispositivo que a mantém tensionada, finalizando a montagem da mesa fixa, visualizado na figura 15.

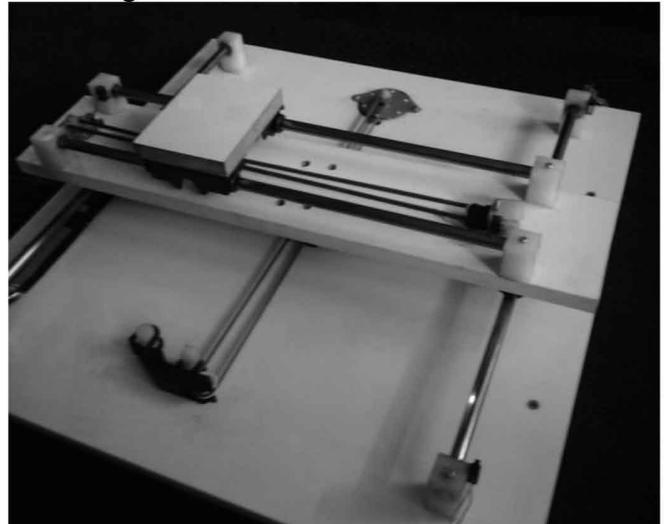
Figura 15 – Mesa fixa com motor, mancal, eixo e correia instalada



Fonte: Os autores (2012)

Finalizando a mesa fixa, começou-se a montar o primeiro dispositivo translador, utilizando como *pillow block* os carros de tinta das impressoras e realizando alguns ajustes de modo que pudessem ser fixados na madeira que servirá de base para o outro dispositivo translador. Nessa madeira base, foi confeccionado o suporte para o segundo motor de passo, a instalação dos mancais, a correia e o dispositivo que a mantém tensionada. Para finalizar a mesa móvel, acoplou-se o segundo dispositivo translador e instalou-se os sensores fim de curso, organizando-se a fiação, de uma forma que, quando a mesa estiver em funcionamento, os fios não venham a enroscar e prejudicar o protótipo demonstrado pela figura 16.

Figura 16 – Mesa móvel finalizada

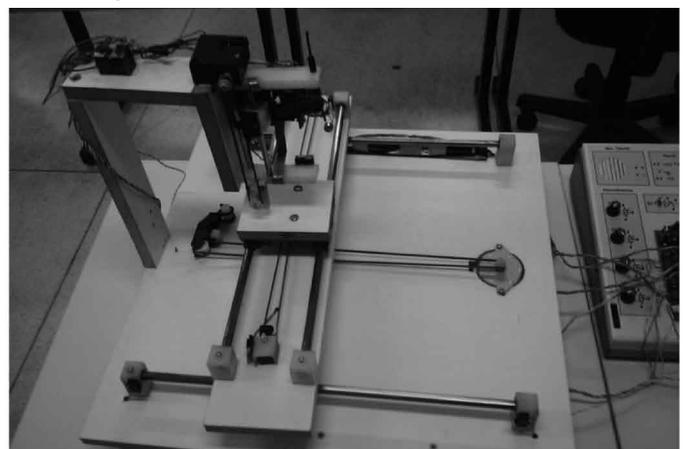


Fonte: Os autores (2012).

Com a mesa móvel totalmente pronta, as atenções foram voltadas para um modelo de suporte, para o dispositivo de inserção. O dispositivo de inserção escolhido para ser desenvolvido é uma garra parecida com um alicate, que é acionada mecanicamente. A montagem do protótipo da garra é a parte complicada do projeto, atrasando outras partes a serem desenvolvidas. Na figura 17, a inseridora de fios com o dispositivo de inserção.

Durante toda montagem da mesa, o programa de controle e acionamento desenvolvido em linguagem C já estava em andamento; foi desenvolvido o controle de acionamento dos motores de passo de motor, de modo que a mesa móvel possa ser movimentada e parada na posição determinada, com possível interação do controle de todo o processo com uma Interface Homem Máquina (IHM).

Figura 17 – Inseridora de Fios Automatizada



Fonte: Os autores (2012)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento da inserção de fios automatizada, foram transpostas dificuldades para sintetizar a ideia do trabalho e aglutinar informações. Essas dificuldades foram sanadas por meio de estudos teóricos, pesquisas bibliográficas e auxílio do orientador e de assessoria de professores do curso de Tecnologia e Mecatrônica Industrial da FATEC-Garça.

O trabalho está em fase final de construção do protótipo, faltando ainda as seguintes atividades: a integração à mesa da garra que transportará os fios; a realização de testes exaustivos de bancada e a consequente geração de testes de campo a ser realizada em uma empresa da área de eletro-eletrônica da cidade de Garça.

Os resultados obtidos até essa fase do trabalho são animadores e satisfazem os requisitos iniciais do trabalho.

REFERÊNCIAS

- CETINKUNT, S.. *Mecatrônica*. Rio de Janeiro – RJ: LTC, 2007. 552 p.
- DENARDIN G., W.. *Microcontroladores*. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/apostila_micro.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2012
- DORNELLES F. A. A.. *Fundamentos de linguagem C*. Caxias do Sul: SENAI, 1997. Disponível em: <http://www.dca.ufrn.br/~xamd/dca0800/apostila_C.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2012
- FITZGERALD. A. E.; KINGSLEY. C. JR.; UMANS. S. D.. *Maquinas Elétricas: Como introdução à eletrônica de potência*. Porto Alegre – RS: Bookman, 2006.
- FILHO, J., B., M.; et al. *Controle adaptativo neural para mesa coordenadas X-Y*. Rev. ciênc. exatas, Taubaté, v. 13, n. 1, p. 97-103, 2007. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs-2.2/index.php/exatas/article/viewFile/405/445>. Acesso em: 15 nov. 2012.
- LOPES, V.. *Introdução à automação industrial*. Santos - SP, 2007, 14 p. Disponível em: <[http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/cursos/eletronicade_eletronica/automacao/cursoIntroducaoAutomacaoIndustrial.pdf](http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/cursos/eletronicidade_eletronica/automacao/cursoIntroducaoAutomacaoIndustrial.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- MIZRAHI, V., V.. *Treinamento em Linguagem C*. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2008.
- MIYADAIRA, A., N.. *Microcontroladores PIC18 Aprenda e Programe em Linguagem C*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2011.
- PACIEVITCH, T.. *Manufatura*. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/industria/manufatura/>>. Acesso em: 30 out. 2012.
- PAIVA, L. M. G.. *Estratégia da produção e flexibilidade*. Millenium. No. 13. Janeiro de 1999. Disponível em: <http://www.ipv.pt/millenium/ect13_5.htm>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- RABAK, C. S.; SICHMAN, J. S. *Otimização do processo de inserção automática de componentes eletrônicos empregando a técnica de times assíncronos*. Pesquisa Operacional. Vol. 21, No. 1, p. 39-59, junho de 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pope/v21n1/a04v21n1.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2012.
- ROSÁRIO, J. M.. *Princípios da Mecatrônica*. Rosário - SP: Prentice Hall, 2005. 351 p.
- SILVA, A. A.. *Desenvolvimento de uma mesa XY para perfuração de placas de circuito impresso*. Santo Ângelo, 2001. Disponível em: <<http://www.urisan.tche.br/~informatica/PCAnderson.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2012
- SOUZA, D., J.. *Desbravando o PIC Ampliado e Atualizando para PIC16F628A*. 12. ed. São Paulo: Érica, 2011
- WITTE, H.. *Maquinas ferramenta: Elementos básicos de máquinas e técnicas de construção*. Trad. Mário Ferreira de Brito. São Paulo - SP: Hemus, 1998. 389 p.
- ZANCO, W., S.. *Microcontroladores PIC18 com Linguagem C Uma Abordagem Prática e Objetiva Com Base no PIC18F4520*. São Paulo: Érica, 2010.
- ZANCO, W., S.. *Microcontroladores PIC Técnica de Software e Hardware para Projetos de Circuitos Eletrônicos Com Base no PIC16F877A*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2011.