

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**LUCIANO KRZESINSKI**

**AUTOMAÇÃO DA ALTURA DA TOCHA DE PLASMA,  
EM PROCESSOS DE CORTE METALURGICO.**

**PONTA GROSSA  
2014**

**LUCIANO KRZESINSKI**

**AUTOMAÇÃO DA ALTURA DA TOCHA DE PLASMA,  
EM PROCESSOS DE CORTE METALURGICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Eletrônica no Campus Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção da conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.

Orientador Prof. José Carlos Alberto de Pontes, Dr.

**PONTA GROSSA  
2014**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná**  
Campus Ponta Grossa



Diretoria de Graduação e Educação  
Profissional

---

---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**AUTOMAÇÃO DA ALTURA DA TOCHA DE PLASMA,  
EM PROCESSOS DE CORTE METALURGICO.**

por

**LUCIANO KRZESINSKI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 28 de FEVEREIRO de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Dr. José Carlos Alberto de Pontes

---

Dr. Eloi Agostini Junior

---

Dr. Sergio Luiz Stevan Junior

---

Me. Julio Cesar Guimarães

---

Dr. Marcio Mendes Casaro

## RESUMO

KRZESINSKI, Luciano. **AUTOMAÇÃO DA ALTURA DA TOCHA DE PLASMA, EM PROCESSOS DE CORTE METALURGICO**. 2014. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Coordenação do Curso de Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Um equipamento de corte a plasma convencional estava apresentando problemas em função da altura da tocha durante o processo de corte, proveniente das imperfeições das chapas, provocando desgastes dos consumíveis diminuindo assim a vida útil dos mesmos e provocando quebra constante da tocha. Este trabalho apresenta um projeto em que foi aprimorado o equipamento de corte à plasma convencional, através da implantação de um dispositivo para corrigir a altura da tocha durante o processo de corte. Através da criação de melhorias em um processo existente, utilizando o sistema Microcontrolado Arduino para adaptar as mudanças necessárias e os testes que necessitam ser feitos para o funcionamento do equipamento. Devido a fatores que contribuem para perdas no processo de corte, e defeitos encontrados nas chapas ao produzir os cortes, sentiu-se a necessidade de buscar melhorias e reduzir falhas e defeitos ao produto final, e aprimorar o processo de corte, buscando melhores resultados e evitando maiores perdas de matéria prima na produção. Buscou-se adquirir e aplicar conhecimentos em relação ao processo de corte e dos programas utilizados, para obter o resultado de melhoria no corte à plasma, corrigindo as imperfeições resultadas no processo.

**Palavras-chave:** Arduino. Dispositivo de corte à plasma. Microcontrolador. Oxicorte. Tocha.

## ABSTRACT

KRZESINSKI, Luciano. **AUTOMATION OF HEIGHT OF PLASMA TORCH, IN CUTTING METALLURGICAL PROCESSES.**2014. 44 p. Working End of Course – Course Coordination of Industrial Automation, Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2014.

A conventional cutting plasma equipment was having problems due to the torch height during the cutting process, from the imperfections of the plates, causing wear consumables thus decreasing the useful life and causing constant breaking of the torch. This paper presents a project that has improved the cutting plasma conventional, by implanting a device to correct torch height during the cutting process. By creating improvements in an existing process using the Arduino Microcontroller system to adapt the necessary changes and tests that need to be made to the operation of the equipment. Due to factors that contribute to losses in the cutting process, and defects found on the plates to produce the cuts, felt the need to seek improvements and reduce faults and defects in the final product, and enhance the cutting process, and seeking better results avoiding major losses of raw materials in production. We attempted to acquire and apply knowledge in relation to cutting and programs used to obtain the result of improvement in the plasma cutting, correcting imperfections in resultadas process.

**Keywords:** Arduino. Plasma cutting device. Microcontroller. Oxyfuel. Torch.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Ovalização em cortes circulares. . . . .	11
Figura 2:	Chanfreamentos indesejados. . . . .	11
Figura 3:	Peças unidas ao final do corte. . . . .	11
Figura 4:	Consequências do posicionamento na altura da tocha. . . . .	12
Figura 5:	Motor de Passo e Fuso para transferência de movimento. . . . .	15
Figura 6:	Mecanismos Básicos de uma tocha de plasma. . . . .	19
Figura 7:	Placa Arduino Uno. . . . .	20
Figura 8:	Ambiente de Programação do Arduino. . . . .	21
Figura 9:	Primeiro passo. Ativação de plasma. . . . .	23
Figura 10:	Segundo passo. Ativação de plasma. . . . .	24
Figura 11:	Esquema Básico de um sistema de controle CNC. . . . .	28
Figura 12:	Funções da Porta Paralela. . . . .	30
Figura 13:	Sistema de Corte à Plasma. . . . .	32
Figura 14:	Hyperterm Powermax 105 Sistemas de Corte a Plasma. . . . .	34
Figura 15:	Divisor de Tensão. . . . .	35
Figura 16:	Simulação da Programação. . . . .	39
Figura 17:	Programação de Testes. . . . .	40
Figura 18:	Esquemático da atuação dos sinais para o THC. . . . .	40
Figura 19:	Circuito montado em uma Matriz de Contato. . . . .	42
Figura 20:	Configuração dos pinos para habilitar a função de THC. . . . .	42
Figura 21:	Comunicação do protótipo a um computador. . . . .	43
Figura 22:	Simulação da Tocha iniciando através do ponto superior. . . . .	45
Figura 23:	Corte linear em sentido inverso. . . . .	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Proporção dos valores (entrada analógica x tensão real) . . . . .	36
------------------	---	----

## GLOSSARIO

Assembly	Linguagem de programação
CNC	Controle Numérico Computadorizado
Datasheet	Documento com os dados técnico de um equipamento
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
Ehternet	Conexão utilizada para redes locais
Hardware	Parte física de um computador
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emissor Diode</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
Protoboard	Matriz de Contatos, placa utilizada para montagem de circuitos
Set point	Ponto de ajuste de uma variável
Software	Program de computador
THC	<i>Torch Height Controller</i>
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
Timer	Registrados interno do microcontrolador definido para contagem de tempo
TTL	Classe de circuitos digitais constituídos de transistores de junção bipolar
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 TEMA DA PESQUISA .....	13
1.1.1 Delimitação do Tema.....	14
1.2 PROBLEMA .....	15
1.3 HIPÓTESE .....	15
1.4 OBJETIVOS .....	16
1.4.1 Objetivo Geral .....	16
1.4.2 Objetivos Específicos .....	16
1.5 JUSTIFICATIVA .....	16
1.6 MÉTODO DA PESQUISA .....	17
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>18</b>
2.1 REVISÃO DA LITERATURA .....	18
2.1.1 Plasma .....	18
2.1.2 Placa Arduino .....	19
2.2 SISTEMA DE CONTROLE DE ALTURA.....	21
2.2.1 Máquina de Corte a Plasma .....	22
2.2.2 Controladores CNC baseados em PC.....	27
2.2.3 Mach 3.....	29
2.2.4 Sistema de Corte à Plasma CNC .....	31
2.2.5 Dispositivo de altura da Tocha .....	33
2.2.6 Divisor de tensão.....	34
2.2.7 Processamento do sinal de tensão.....	36
2.2.8 Controle de altura .....	37
2.3 TESTES APLICADOS VIRTUALMENTE .....	38
2.3.1 Teste real com circuito através do protótipo.....	41
2.3.2 Teste final do protótipo.....	45
<b>3 CONCLUSÃO</b> .....	<b>48</b>
3.1 Trabalhos futuros.....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na indústria metal mecânica, existem muitas situações onde, para se chegar ao produto final é necessário que se estabeleçam várias etapas no processo, e uma das principais atividades é o corte de chapas metálicas, para isso existe uma grande variedade de sistemas de corte de metais, tais como: oxicorte, eletroerosão, laser, plasma, usinagem, etc. Cada sistema de corte tem sua aplicação bem definida em função das características do produto final: acabamento, velocidade de produção, tipo do metal a ser cortado e principalmente o valor agregado à cada tipo de tecnologia, pois consegue-se ótimos resultados quando se utiliza do corte a laser e eletroerosão, porém deve-se levar em conta o custo que se tem para adquirir um equipamento com essa tecnologia, já que muitas vezes não é a realidade das pequenas empresas.

Nas pequenas indústrias onde temos a fabricação de pequenos lotes de peças, uma solução do ponto de vista “custo-benefício”, é utilização do oxicorte, pois demanda de um custo muito baixo para manter a produção com esse processo, porém seu uso fica limitado na velocidade de produção e no acabamento das peças. Fato qual leva as pequenas indústrias metalúrgicas optarem pelos sistemas de corte a plasma, pois consegue-se altos níveis de produção com bons índices de qualidade.

O histórico desse processo é enfatizado a principal vantagem do processo se comparado ao oxicorte: a velocidade. A velocidade de corte em chapas metálicas finas apresentada pelo processo plasma supera astronômicamente o processo de oxicorte, aliando essa característica ao preço dos equipamentos plasma cada vez mais baratos fazendo com que o processo de corte a plasma torne-se “economicamente viável para o corte de aços carbono e baixa liga”. (PORTAL METÁLICA, 2011).

O sistema de corte de metais a plasma surgiu por volta de 1950, originou-se dos testes com o processo de soldagem com plasma. Inicialmente o uso do plasma nos processos de corte de metais tinha sua reputação duvidosa, devido à curta vida útil dos seus consumíveis e a complexidade do sistema de corte, pois o acionamento do arco de plasma necessita de uma sequência bem definida das suas etapas.

Com o passar dos anos o processo de corte a plasma foi evoluindo, novas tecnologias foram sendo empregadas com a finalidade viabilizar o uso do plasma

nas linhas de produção da indústria metal mecânica. Porém seu marco importante foi quando surgiram os sistemas eletrônicos automatizados, viabilizando dessa forma, empregar sequências para disparar o arco de plasma e controlar o corte através de sistemas elétricos, já antes o corte com plasma era executado manualmente.

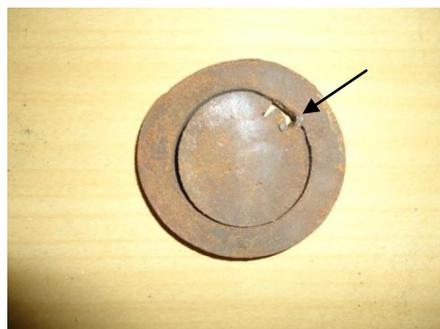
O sistema de corte a plasma é um sistema complexo do ponto de vista operacional, pois a má regulagem do equipamento pode gerar desgaste excessivo dos consumíveis, danos materiais ao equipamento, e principalmente imperfeições no produto final como: rebarbas, imperfeição nas formas (figura 1), chanfreamento indesejado (figura 2). E para se obter um bom rendimento (produção vs qualidade), existem variáveis a serem controladas, como: a vazão do gás, a velocidade do corte, a energia gerada pela fonte para o corte e a altura da tocha em relação ao metal a ser cortado.



**Figura 1: Ovalização em cortes circulares.**  
**Fonte: Aatoria Própria, 2014.**

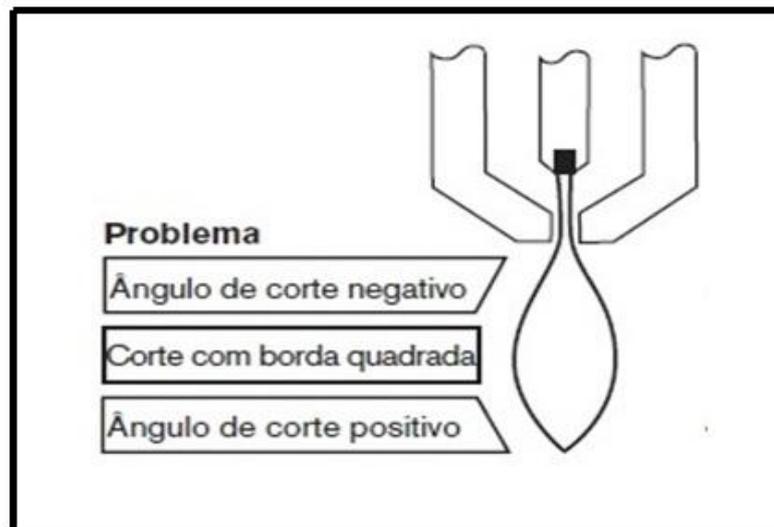


**Figura 2: Chanfreamentos indesejados.**  
**Autoria Própria, 2014.**



**Figura 3: Peças unidas ao final do corte.**  
**Fonte: Aatoria Própria, 2014.**

Dentre todas as variáveis envolvidas em um sistema de corte a plasma, dá-se ênfase nesse projeto ao estudo do desenvolvimento de um dispositivo para a correção da altura da tocha do sistema de plasma. Pois a altura da tocha em relação ao metal pode vir a variar, devido ao fato do sistema a plasma constituir-se de uma grande quantidade de energia liberada em forma de calor, as chapas sofrem deformação descontrolada, podendo ficar onduladas em relação á mesa que a sustenta, sendo assim variam a altura em relação ao bico da tocha. Dessa forma, o dispositivo deve atuar no sistema evitando que a tocha entre em contato com a chapa e ocasione quebras ou desgastes, e principalmente atuando diretamente no sistema permitindo o corte linear sem muitas imperfeições. Na figura 4 é apresentada os efeitos causados no corte quando a altura da tocha é posicionada nas diversas posições em relação ao metal a ser cortado.



**Figura 4: Consequências do posicionamento na altura da tocha.**

**Fonte: Revista da Soldagem, 2008.**

O sistema de corte em que o dispositivo foi testado não tinha sistema de controle de altura, em função disso estava gerando falhas e imperfeições nas peças, ocasionando defeitos no metal e afetando a qualidade do produto final, para isso buscou-se a alternativa de implementar as melhorias no sistema atual, através de modificações tecnológicas e que não afetem em gastos maiores de produção.

O dispositivo foi aprimorado com a tecnologia dos sistemas microcontrolados ATMEGA UNO e utilizará como referência a tensão de arco gerada entre o bico da tocha de plasma e o metal que vai ser cortado. A fonte de plasma deve manter a

energia do corte constante, quando houver variação na altura da tocha ocasionando assim dispersão e perda nas propriedades do arco de plasma, a fonte deve variar a tensão para se adequar ao nível de corrente pré programado, conforme a tensão do arco varia, o dispositivo em questão vai agir na altura da tocha para corrigir o corte.

A demanda por processos mais precisos e a adaptação de mudanças nos equipamentos para se obter a constante melhoria em relação à fabricação dos produtos, faz com que sejam buscadas alternativas para obter melhorias e aprimorar os processos nas indústrias, evitando possíveis perdas em relação a qualidade e ao atendimento da demanda do cliente.

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

Com o advento de novas tecnologias na área da informática e a crescente industrialização, tornou-se necessário o aumento da velocidade em linhas de produção de bens industriais, e a necessidade de investir pesadamente na automatização de diversos processos, principalmente dos processos iniciais de manufatura, sem reduzir a qualidade, pelo contrário aumentá-la.

Desde o surgimento do vapor, a indústria vem se desenvolvendo num processo dinâmico de adaptações e respostas aos mercados aos quais atendem. Em praticamente um século foi constituído várias transformações e avanços tecnológicos que determinaram o desenvolvimento de novas formas de gestão da produção, assim como a concepção de diferentes sistemas produtivos e organizados. (BUENO, 2009).

Na área da manufatura voltada para o corte de chapas metálicas não é diferente. Os processos sempre estiveram evoluindo, os sistemas foram se aprimorando e, com o surgimento de novas tecnologias, esses sistemas ganharam espaço nas indústrias de corte de metais. Dentre tantas técnicas de corte de chapas metálicas podem-se citar os processos mais comumente encontrados no mercado, que são: corte por jato de água abrasivo, corte por feixe de luz, oxicorte, e corte à plasma. Todos tem sua aplicação bem definida, levando em conta a tecnologia aplicada e os custos empregados em cada sistema de corte. Devido ao custo-benefício, os sistemas de corte comumente encontrados são o processo de oxicorte e o processo de corte à plasma.

Atualmente na indústria, o processo de corte a plasma vem substituindo gradualmente o processo de oxicorte. Dentre tantos fatores que contribuem com a tendência do mercado para a utilização dos sistemas de corte a plasma na indústria, podem ser citados os dois principais, a velocidade de produção e principalmente a qualidade do produto final.

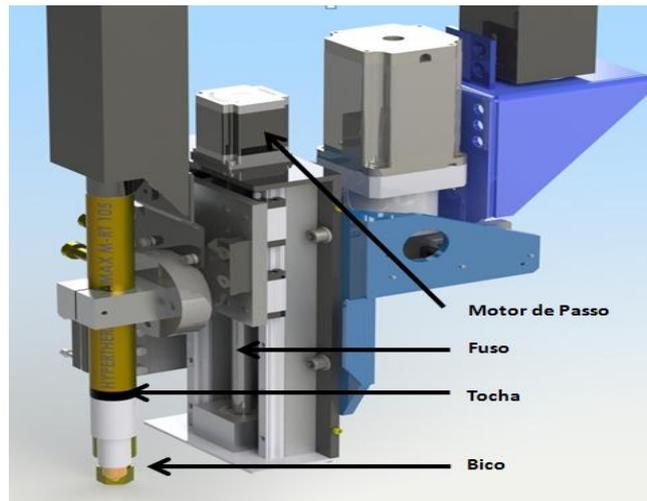
A qualidade do corte está ligada diretamente às características do equipamento, relacionado às variáveis que o equipamento permite manipular e que são de suma importância, como a regulagem do gás, controle da velocidade de corte e controle da altura da tocha. Para isso o sistema de corte a plasma esteve em constante evolução desde seu surgimento, foram introduzidas várias tecnologias para se chegar ao ponto, onde, tornou-se viável o uso do plasma na indústria, visando sempre a velocidade de produção e qualidade.

#### 1.1.1 Delimitação do Tema

Os sistemas de corte a plasma convencionais, utilizam sistemas manuais ou até mesmo pneumáticos para posicionamento da altura da tocha. Porém isso não é suficiente devido aos defeitos que as chapas apresentam, como por exemplo: ondulações geradas na fabricação das chapas e ondulações em função do aquecimento da chapa, pois sistemas convencionais de corte a plasma não tornam possível um controle preciso ao ajuste para a altura da tocha.

O sistema de controle de altura é composto por um sistema motorizado da tocha, conforme a figura 5: um motor de passo e um fuso para a transferência do movimento, e de um dispositivo microcontrolado, que atuará na altura da tocha em função da tensão de arco gerada entre o bico da tocha e o metal em questão a ser cortado.

Existem no mercado dispositivos de controle de altura da tocha em função da tensão de arco do plasma, porém muitos desses equipamentos são dedicados a sistemas fechados, apenas funcionam quando acoplados a equipamentos de mesma marca. São poucos os dispositivos que podem trabalhar de maneira geral e não se encontram facilmente no mercado nacional.



**Figura 5: Motor de Passo e Fuso para transferência de movimento.**

**Fonte: Autoria Própria, 2014.**

## 1.2 PROBLEMA

Desenvolver um sistema automatizado de controle, com intuito de corrigir a altura da tocha do sistema de corte. Será utilizado o sinal de tensão de arco entre o bico da tocha e o metal a ser cortado, o sinal deverá ser processado através de um sistema microcontrolado Arduino UNO.

O dispositivo aplicado à máquina de plasma trará melhorias ao processo e ao equipamento utilizado?

## 1.3 HIPÓTESE

A utilização de um sistema microcontrolado para processar o sinal de tensão de arco, e transferir o sinal para o controlador CNC, afim de, controlar a altura da tocha de um sistema de corte a plasma para gerar melhoras ao processo de corte, acarretando a diminuição dos custos para a produção, visando velocidade de produção e principalmente a qualidade do produto final.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Aprimorar o equipamento de corte à plasma convencional, através da implantação de um dispositivo automatizado para corrigir a altura da tocha durante o processo de corte.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Melhorar o equipamento de corte a plasma já existente.
- Criar um dispositivo através do sistema microcontrolado Arduino Uno.
- Testar o dispositivo nas mais diversas variações de velocidade do equipamento.
- Avaliar as características do corte em função do tempo da vida útil dos consumíveis.
- Projetar, testar e analisar os resultados do projeto.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Conforme os avanços de processo de fabricação dos produtos, a demanda por melhorias em relação à tecnologia utilizada para a produção aumenta, consequentemente trazendo o aumento da qualidade no processo em si.

O projeto visa à diminuição de erros e imperfeições, gerando melhores resultados ao produto final no processo de corte de plasma convencional, através de ajustes tecnológicos ao maquinário.

## 1.6 MÉTODO DA PESQUISA

O procedimento metodológico utilizado é o de abordagem exploratória de estudo de manipulação experimental, trata-se de uma pesquisa aplicada, descritiva e bibliográfica.

O procedimento exploratório de estudo de manipulação experimental é definido como: “Consistem naqueles estudos exploratórios que tem por finalidade manipular uma variável independente. O propósito desses estudos geralmente é demonstrar a viabilidade de determinada técnica ou programa.” (LAKATOS, MARCONI, 2001 p.188-189).

Serão efetuados testes iniciais em bancada simulando a situação real, a fim de evitar danos materiais e evitar que o equipamento fique em estado de teste inicial e que comprometa a produção. Terminados os testes iniciais em bancada, o equipamento entrará em testes práticos, porém ainda simulando a situação real, e por fim o protótipo será testado em situações reais de corte.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 3 capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma explicação do tema da pesquisa bem como suas delimitações e objetivos. No Capítulo 2 faz-se uma revisão da literatura, abordando sobre o desenvolvimento e a utilização dos itens que integram o dispositivo de corte, testes aplicados, e o passo a passo de montagem e simulação dos circuitos de teste utilizados para a aplicação do funcionamento do dispositivo. No capítulo 3, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REVISÃO DA LITERATURA

#### 2.1.1 Plasma

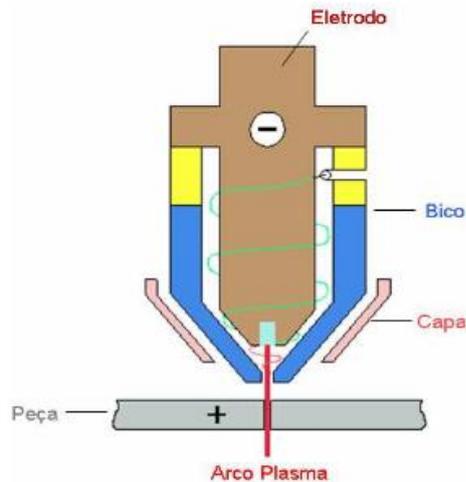
Uma definição comum para o plasma é descrevê-lo como o quarto estado da matéria. Normalmente pensamos em três estados da matéria: sólido, líquido e gasoso. Para um elemento comum, como a água, estes três estados são: gelo, água e vapor. A diferença entre estes três estados está ligada aos seus níveis de energia. Quando adicionamos energia na forma de calor ao gelo, ele derrete e forma água. Ao adicionarmos mais energia, a água evapora-se em hidrogênio e oxigênio na forma de vapor. Ao adicionar mais energia ao vapor, estes gases tornam-se ionizados, criando elétrons livres e íons entre seus átomos, situação propícia para condução de eletricidade. Este gás, eletricamente condutor e ionizado, chama-se plasma.

O processo de corte consiste na utilização do calor liberado por uma coluna de plasma, resultante do aquecimento de um gás, em alta vazão rotacional, como a temperatura liberada na coluna de plasma é alta ao ponto de fundir o material, então o gás em alta vazão remove esse metal fundido, dessa forma é constituído o processo de corte com o plasma.

Através da soldagem à plasma, foi descoberto o corte à plasma na indústria, na figura 6 é apresentado o esquemático de uma tocha de plasma.

O processo de corte por plasma é descrito como sendo “a utilização do calor liberado por uma coluna de plasma, resultante do aquecimento, por meio de um arco elétrico, de um gás em alta vazão rotacional”. Essa substância é transferida ao metal a ser cortado, fundindo a parte do metal em contato com o plasma e o metal líquido é expulso da poça de fusão através da injeção de algum gás em alta vazão. (LIMA, 2006).

A física dos plasmas representa nos dias de hoje um campo vastíssimo de pesquisa, não só no estudo dos fenômenos espaciais, astrofísicos e na fusão nuclear, mas nas aplicações tecnológicas, também conhecido como plasmas tecnológicos.



**Figura 6 : Mecanismos Básicos de uma tocha de plasma.**

**Fonte: Revista da Soldagem (2006).**

Os metais que são cortados pelo plasma não precisam ser pré-aquecidos; somente pequenas áreas das peças são afetadas pelo calor do corte; as máquinas que utilizam o arco plasma podem ser portáteis, etc. (Schmidt, 2003).

O princípio da ação de corte é por fusão do metal base sob a ação de um feixe de plasma produzido por descarga elétrica entre um ânodo e um cátodo através de meio gasoso. O meio gasoso é tipicamente ar comprimido, mas pode ser um gás inerte ou ativo. A escória de corte é removida por jato de ar comprimido. Dependendo da composição do aço, é uma tecnologia econômica para espessuras de ~ 1.5 mm até ~ 25 mm, com precisão de corte de ~ 0.8 a 1.5 mm e tolerância de ~ 0.5 mm. (GORDO, 2006).

### 2.1.2 Placa Arduino

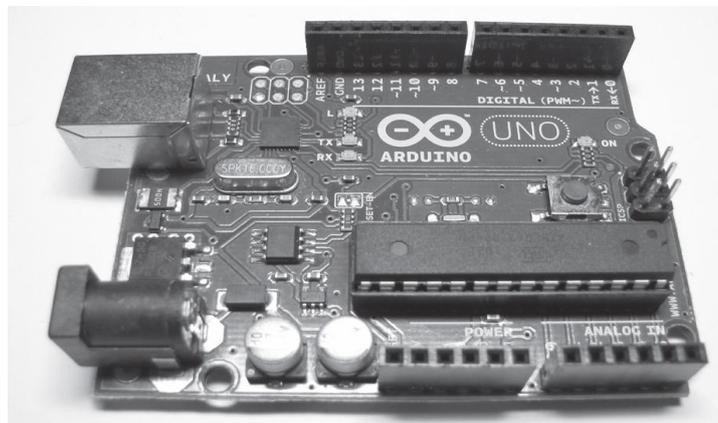
A placa Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR de placa única, com suporte de entrada/saída embutido, e uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em C. O objetivo do projeto Arduino é permitir o desenvolvimento de projetos para diversas aplicações, desde os mais simples aos mais sofisticados, permitindo através do projeto de fonte aberta, facilidade ao usuário.

Em termos práticos, um Arduino é um pequeno computador que você pode programar para processar entradas e saídas entre o dispositivo e os componentes externos conectados a ele. O Arduino é o que chamamos de plataforma de computação física ou embarcada, ou seja, um sistema que pode interagir com seu ambiente por meio de hardware e software (MCROBERTS, 2011).

A placa ARDUINO UNO, é um sistema microcontrolado que em seu interior tem-se um microcontrolador da série ATmega 238, esse microcontrolador de 8 bits possui 6 entradas analógicas e 14 pinos digitais de entrada/saída dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM. A placa ARDUINO UNO, diferencia-se das placas anteriores da série, devido ao fato que já apresenta a conversão de serial para USB para comunicação e gravação dos dados, fato qual é muito relevante se levarmos em conta que a comunicação USB vem substituindo gradativamente a comunicação serial.

Características da placa ARDUINO UNO:

- Tensão de operação 5V;
- Tensão de entrada ( recomendada) 7- 12V;
- Tensão de entrada ( limites) 6- 20V;
- Digital I / O Pins 14 ( dos quais 6 oferecem saída PWM);
- 6 pinos de entrada analógica;
- Corrente DC por I/O de 40 mA;
- Memória Flash 32 KB;
- EEPROM 1 KB;
- Velocidade do clock de 16 MHz;



**Figura 7: Placa Arduino Uno.**

**Fonte: Arduino Básico, 2011.**

O software a ser utilizado para a programação dos comandos utilizados no Arduino, está disponível gratuitamente para download, através do site: <http://www.arduino.cc/>. É um software simples, prático e de fácil manuseio, permitindo desenvolver programas e comandos variados.



**Figura 8: Ambiente de Programação do Arduino.**

**Fonte: Minicurso Arduino, 2012.**

## 2.2 SISTEMA DE CONTROLE DE ALTURA.

Visando a qualidade do produto final em um tempo menor de processamento do produto, foi efetuado a criação de melhorias em um processo existente, através do sistema microcontrolado Arduino.

Pretendeu-se, através de algumas etapas, montar, analisar e testar a programação para avaliar o funcionamento do programa.

O dispositivo vai atuar no processo quando o sistema iniciar o corte, através da captação de um sinal de tensão proveniente do processo de corte da fonte de plasma.

A tensão máxima gerada entre a tocha e a chapa que vai ser cortada, é de aproximadamente 300 Volts e dependerá da espessura do metal que será cortado, porém as fontes utilizadas, que são da marca Hyperterm, oferecem um ponto de tensão reduzida. O valor em média é de 15 Volts.

Quando o corte está sendo efetuado, a tocha situa-se distanciada em aproximadamente 3 milímetros da chapa, parâmetro retirado dos manuais das fontes da marca Hypertherm. Porém, devido às imperfeições que os metais apresentam provenientes de sua fabricação ou deformação das características impostas pelo processo de corte, a tocha em momentos aproxima-se ou distancia-se do metal a ser cortado. Sendo assim, quando a tocha distancia-se ou aproxima-se dos 3 milímetros, a tensão aumentará ou diminuirá, respectivamente.

Analisando as propriedades físicas do microcontrolador que efetuará o processamento do sinal fornecido pelo sistema de corte, chega-se a conclusão de que tanto os 300 Volts que foi gerado no processo, quanto a tensão reduzida fornecida pela fonte danificariam a entrada analógica do microcontrolador, que pelo *datasheet* diz-se que é de no máximo 5 Volts.

O sinal de tensão captado passará por um divisor de tensão, para reduzir o sinal ao limite admitido pelo microcontrolador, de maneira que assim estará pronto para ser processado.

### 2.2.1 Máquina de Corte a Plasma

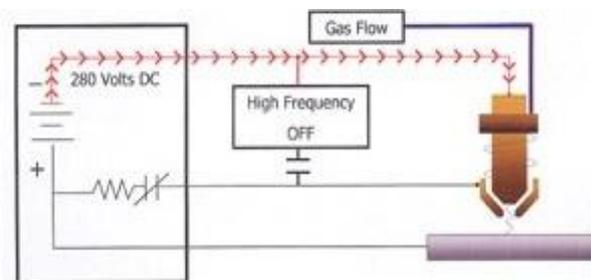
O processo de corte a plasma teve início a partir da década de 50, após testes efetuados com processo de soldagem TIG (gás inerte de Tungstênio), que era muito utilizado na indústria, pois conseguia grande produtividade e acabamento em metais nobres, é um tipo de corte que exige maior complexidade e precisão em sua execução.

A soldagem a plasma é aplicável à maioria dos metais. Entretanto, seu custo relativamente elevado e a maior complexidade do processo (em comparação com GTAW) limitam o seu uso principalmente para aplicações críticas em indústrias de alta tecnologia (indústria aeronáutica e aeroespacial, por exemplo) para as quais a utilização do processo é justificável. Por outro lado equipamentos de plasma desenvolvidos para o corte de materiais estão se tornando cada vez mais usados industrialmente (MODENESI, 2006).

Os engenheiros perceberam que ao comprimir o bocal da tocha do processo de soldagem TIG, concentrava-se mais o jato do arco de plasma, e os resultados do arco de plasma saiam bastante instáveis, a velocidade do gás aumentava, e ao invés de soldar o metal, cortava-o.

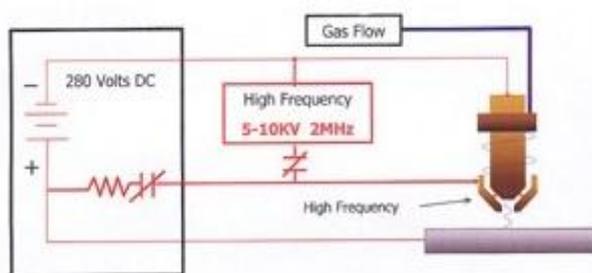
O processo de corte a plasma esteve em constante evolução desde a sua criação, pois no passado o processo de corte a plasma tinha uma reputação duvidosa, devido a curta vida útil dos componentes envolvidos no sistema, o custo, e a dificuldade em efetuar o corte, pois para ativar o arco plasma existem etapas bem definidas, que devem ser executadas sequencialmente.

Para iniciar o processo de corte a plasma é necessário liberar o gás ( figura 9) até que a pressão do mesmo venha ficar estável, facilmente pode ser ajustada essa etapa colocando um regulador de pressão na linha do gás utilizado. No próximo passo (figura 10), um sinal de alta tensão e alta frequência é injetado da fonte de plasma entre o eletrodo e o bico através de um relé, gerando dessa forma um arco elétrico. A corrente do arco é limitada por um resistor, sendo assim o arco ainda não tem energia suficiente para fundir o metal, por isso esse arco inicial é chamado de arco piloto.



**Figura 9: Primeiro passo. Ativação de plasma.**

Fonte:<http://www.hypertherm.com>



**Figura 10: Segundo passo. Ativação de plasma.**

Fonte: <http://www.hypertherm.com>

Como há fluxo de gás entre o eletrodo e o bico, esse gás quando passa pelo arco torna-se ionizado, e passa a conduzir eletricidade. Se o bico da tocha de plasma estiver perto suficiente do metal a ser cortado, o arco vai se prender a esse metal fechando a malha de corrente pelo positivo da fonte de plasma. Na fonte de plasma existe um sensor para monitorar a energia entregue ao sistema, quando esse sensor detecta corrente através do arco piloto, envia o sinal pra fonte para abrir o relé do sinal de alta tensão e alta frequência, e depois disso a fonte CC principal é quem mantém a energia necessária par a executar o corte.

Segundo (LIMA, 2008) “Em 1968 surge a primeira grande inovação, a injeção de água entre o bico e um bocal frontal, com o objetivo de ampliar a vida útil dos consumíveis e na qualidade” de corte se mantém entre os principais métodos do corte na indústria metal mecânico.

Para melhorar a vida útil dos consumíveis, principalmente nos processos com o uso do oxigênio como gás de plasma, em 1990 são incorporadas sequências lógicas nos sistemas plasma com ajustes específicos de corrente e vazão e pressão de gás nos intervalos de início e final de corte, conhecido como tecnologia LongLife. Esta tecnologia conta ainda com o aprimoramento do projeto do eletrodo. Com um inserto de rânio de menor diâmetro, amplia-se a capacidade de refrigeração do eletrodo (LIMA, 2008).

Entretanto hoje com as tecnologias empregadas nos sistemas de corte a plasma, tanto no próprio sistema de corte como seu uso empregado em grande

escala na manufatura, o sistema de corte à plasma se mantém entre os principais métodos de corte na indústria metal mecânica.

As variáveis envolvidas no corte podem afetar a qualidade das soldas a serem realizadas nas peças, a exatidão e os custos de produção (MATSUMOTO, 1988).

O sistema de corte a plasma é empregado de 2 formas, manualmente e automaticamente. O processo manual ocorre quando há a necessidade do operador atuar diretamente no sistema, já que é ele mesmo que vem a operar a tocha, expondo-se à fuligem gerada no sistema e às imperfeições que podem ser geradas por conduzir a tocha com as mãos como: falta de experiência com a função que vai ser efetuada, manter constante a angulação da tocha durante o corte; a velocidade do corte, a linearidade do corte, e principalmente a altura da tocha que é fator de suma importância para o acabamento das peças, e da vida útil dos componentes envolvidos no processo de corte. A outra forma de conduzir o sistema de corte é de modo automático, onde faz-se o uso de sistemas mecanizados nos eixos “X” , “Y” e “Z”, empregados com sistemas modernos CNC.

Sistemas industriais modernos são constituídos por uma combinação de dispositivos avançados de hardware e software, os quais frequentemente trabalham de forma colaborativa a fim de atingir seus objetivos finais. Esse modelo indiscutivelmente aprimora a qualidade e estende a capacidade de produção (PLOTTEGHER, 2005).

Os equipamentos industriais tiveram um acentuado crescimento nos últimos anos, melhorando em muito sua performance, (produtividade, equipamentos mais compactos, etc, e muito disso se deve ao fato do advento da computação.

Antes do advento da computação os equipamentos eram limitados a poucas funções, ocupando grande espaço físico, pequenos equipamentos demandavam de altos níveis de potência para atividades simples e principalmente o seu custo se tornava inviável.

A computação é um corpo de conhecimentos formado por uma infraestrutura conceitual e um edifício tecnológico onde se materializam o hardware e o software. A primeira fundamenta a segunda. A teoria da computação tem seu desenvolvimento próprio e independente, em boa parte, da tecnologia. Essa teoria baseia-se na definição e construção de máquinas abstratas, no estudo do poder dessas máquinas na solução de problemas (FILHO, 2007).

Em especial dá-se ênfase aos sistemas de controle CNC (Controle Numérico Computadorizado), pois a partir da criação desse sistema tornou-se possível elevar a velocidade, melhorar a precisão, diminuir a intervenção humana nos processos e até mesmo integrar várias etapas da manufatura em um mesmo equipamento.

O CNC (Controle Numérico Computadorizado) é um controlador utilizado na programação de máquinas industriais, podem ser elas simples ou complexas, pois o controle CNC permite o controle de vários eixos simultaneamente.

A tecnologia CNC teve seu surgimento na experiência de uma pequena empresa fabricante de hélices e rotores de helicópteros, “*Parsons Corporation*” que em 1946 havia experimentado colocar uma forma rudimentar de controle por números em uma máquina de usinagem convencional, ligando esta máquina a um computador que era alimentado por informações via cartões perfurados. A Força Aérea Americana ao reconhecer um possível grande avanço na fabricação de aviões e material bélico contratou a Parsons e patrocinou estudos e desenvolvimento do controle numérico, e assim planejaram e executaram as adaptações de controle numérico para uma máquina ferramenta convencional da Cincinnati (fabricante na época de máquinas ferramenta convencionais e atualmente um dos maiores fabricantes de Máquinas CNC), e deste modo criaram o protótipo de uma máquina CNC que foi demonstrado em 1953 no ‘MIT’ Instituto de Tecnologia de Massachusetts. (SILVA, 2011).

Os sistemas de usinagem a CNC (Controle Numérico Computadorizado) são ferramentas fundamentais na indústria de manufatura atual devido a sua capacidade de atender variadas demandas por produtos. Isto ocorre porque os sistemas podem ser reprogramados de modo que uma mesma máquina possa realizar a usinagem de um grande número de tipos de peças diferentes. (HARBS, 2013).

O que torna os sistemas CNC ferramentas essenciais na indústria da manufatura, é o fato de atender as mais variadas tarefas em um mesmo equipamento, pois os comandos podem ser reprogramados, e também devido ao fato dos controladores serem flexíveis tanto em tempo de produção quanto a manipulação dos mais diversos tipos de materiais, a precisão das atividades e o desempenho em velocidades elevadas.

## 2.2.2 CONTROLADORES CNC BASEADOS EM PC

A Industrialização é um processo antigo na humanidade. Ainda durante a idade média, novas técnicas marcaram o avanço dos meios de produção e de produtividade. Mas isso não quer dizer que houvesse indústrias como conhecemos atualmente. O progresso passou por várias fases tecnológicas. Técnicas mais aprimoradas de agricultura, artesanato e principalmente de manufatura deram suas contribuições para o desenvolvimento pleno da indústria.

Nos últimos anos tem-se observado no mundo uma crescente utilização de máquinas CNC acionadas por controladores de baixo custo baseados em PC. Para realizar tal integração é necessário adequar corretamente os sinais elétricos de comunicação entre o controlador CNC e a máquina por meio de circuitos eletrônicos (GESSER, 2010).

Porém equipamentos que utilizam sistemas CNC de ponta custam muito caro, ficando inviável para o pequeno empresário que deseja começar sua produção e possui poucos recursos. Sendo assim, surgiram os controladores CNC baseados em PC.

Os controladores CNC baseados em PC vieram para atender a demanda de pequenos empresários, que tem por objetivo iniciar suas atividades com equipamentos precisos, automatizados, e principalmente com o custo acessível.

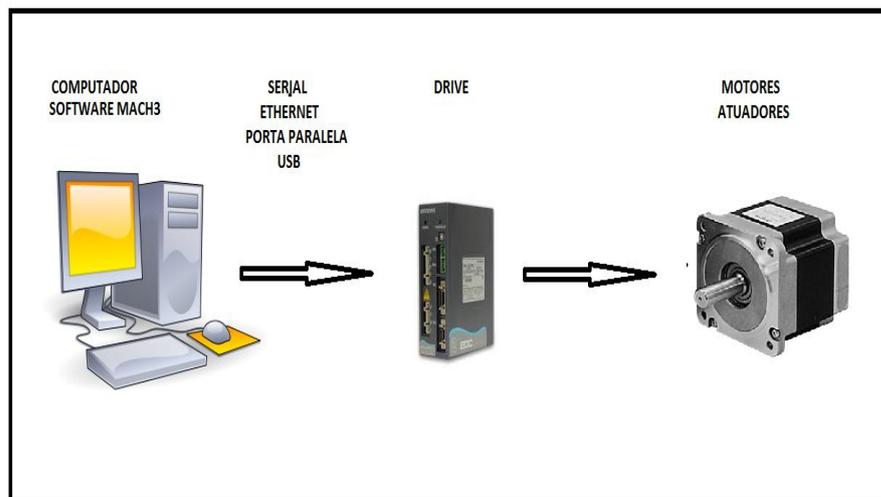
(CONTE, 2010) A crescente utilização do PC (*Personal Computer*) no ambiente produtivo e a evolução de sistemas de aquisição de dados são fatores que contribuem para o desenvolvimento e aplicação de sistemas de monitoramento de máquinas. Os sistemas de monitoramento proporcionam informações sobre o estado de determinada variável do equipamento, este estado é utilizado como base para a tomada de decisões que visam adequar o comportamento da máquina para uma condição pré-determinada ou mesmo visando o estudo do equipamento inserido no processo produtivo com a finalidade de otimização do mesmo.

Para obter um sistema CNC baseado em PC básico, é necessário o uso de um microcomputador, onde será instalado o software que será programado o código das atividades a serem realizadas, dessa forma, os dados serão enviados por meio de uma interface podendo ser elas das mais diversas formas: serial, USB, porta paralela, ethernet, entre outras.

Conforme a figura 5 pode-se visualizar o esquemático de um sistema sendo atuado com sinais provenientes de um controlador CNC

O que torna o sistema CNC baseado em PC importante, são as diversas formas com que podem ser adaptadas, de acordo com a realidade para utilização, e a eficiência, pois pode acionar de 3 a 5 eixos simultaneamente. Possibilitando maior funcionalidade e com pouco investimento, e podendo até mesmo adaptar e transformar equipamentos antigos de ferramentas de corte mecânicos, em ferramentas controladas por CNC.

Existem vários softwares que gerenciam o sistema CNC, os mais comuns encontrados no mercado são o Turbo CNC e o Mach 3, desenvolvido e distribuído pela ArtSoft.



**Figura 11: Esquema Básico de um sistema de controle CNC.**

**Fonte: Autoria Própria, 2014.**

Existem vários softwares que gerenciam o sistema CNC os mais comuns encontrados no mercado são o Turbo CNC e o Mach 3 desenvolvido e distribuído pela ArtSoft.

### 2.2.3 Mach 3

O Mach 3 é um pacote de softwares que tem seu funcionamento em um PC, dessa forma tornando o PC o controlador de máquinas CNC. São inclusos em seus pacotes os perfis de torno CNC, fresadora CNC e máquinas de corte a plasma, embora o investimento seja pequeno.

Cada vez mais a indústria necessita de ferramentas flexíveis, com possibilidade de adaptação a diferentes tarefas. Tal fato é relevante, pois assim se evita gastos com aquisições de novos sistemas, além de redução no treinamento de mão-de-obra. Neste contexto, o Mach 3 desponta como uma excelente opção de controle de baixo custo para fresadoras, torno e robôs manipuladores cartesianos (CARVALHO, 2008).

Via interface paralela do PC, o Mach 3 se comunica com os drivers, já que estes devem aceitar sinais de pulso e direção, porém praticamente todos os drivers de motores de passo trabalham dessa forma. O Mach 3 controlará até 6 eixos simultaneamente, coordenando seus movimentos circulares ou a interpolação circular em 2 eixos. O Mach 3 se comunica com drivers através da porta paralela do computador.

No início quando a IBM criou seus primeiros computadores, a ideia era conectar uma impressora à interface paralela, porém levando em conta a facilidade que essa interface impõe para acionamento de outros periféricos, com o passar dos anos a porta paralela foi utilizada para muitas outras funções. Um esquema das funções da porta paralela pode ser visto na figura 12.

Todos os sinais de saída para o Mach 3 e para entrada são sinais binários (isto é, uns e zeros). Estes sinais são as tensões fornecidas pelos pinos da saída ou fornecidas aos pinos de entrada da porta paralela. Estas voltagens são medidas relativas a linha de 0 volts do computador, que é conectada aos pinos 18 a 25 do conector da porta paralela (ARTSOFT, 2008).

Os pinos genericamente são reconhecidos, como visto na figura 6, porém para o Mach 3, eles são vistos apenas de duas formas: pinos de entrada e pinos de saída, pois no Mach 3 o usuário pode arbitrar da forma que quiser, desde que se obedeça a diferença entre entrada e saída. A interface paralela fornece 5 pinos de entrada e 12 pinos de saídas.

Tanto os sinais de entrada quanto os sinais de saídas vão interagir com o meio externo, sejam eles por meio de botões, relés, diretamente com os drivers, etc.

Se conectados corretamente, não há risco nenhum para o sistema, o problema é que os drives acionados podem chegar a trabalhar com correntes com níveis de dezenas de Ampéres.

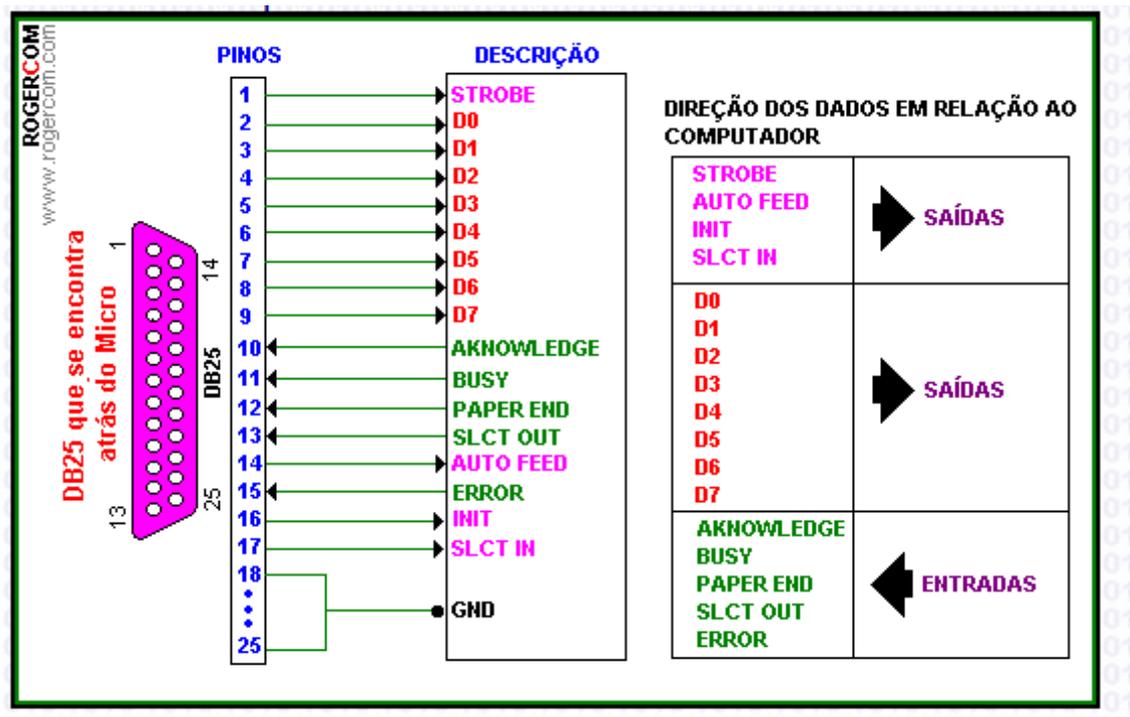


Figura 12: Funções da Porta Paralela.

Fonte: ROGERCOM, 2013.

O problema maior é se houver um curto circuito acidental, pois os circuitos integrados que compõem a interface da porta paralela são construídos com a tecnologia TTL.

Em circuito TTL's, qualquer tensão entre 0 e 0.8 volts são chamados de "Lo" e toda tensão entre 2.4 e 5 volts são chamados de "Hi". Conectar qualquer tensão negativa ou qualquer nível de tensão acima de 5 volts a uma entrada TTL irá queimar a saída. A porta paralela foi construída originalmente usando circuitos TTL (ARTSOFT, 2008).

Para evitar o possível problema, é instalada uma placa isoladora entre a porta paralela e o circuito externo, essa placa é constituída de circuitos fotoacopladores.

O Mach3 CNC é um software com custo acessível que oferece otimização total para o processo, pois apresenta características que permitam que:

- O processo pode ser assistido na tela do computador enquanto, o trabalho é efetuado;
- O processo pode ser simulado, evitando assim possíveis problemas que podem ser corrigidos antes do acionamento do equipamento;
- As telas podem ser otimizadas, podendo ser visualizados em tempo real os parâmetros pré-programados pelo programador;
- As funções podem ser otimizadas utilizando-se do editor de códigos em visual basic;
- A criação de diferentes perfis de equipamento acionados pelo mesmo computador como: fresa, torno, corte à plasma, etc;

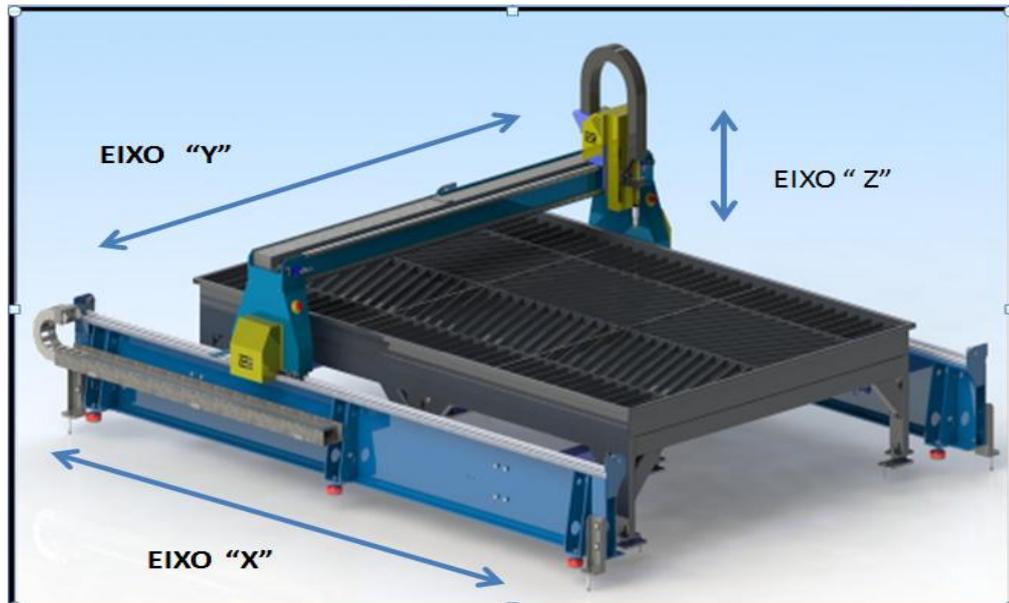
#### 2.2.4 Sistema de Corte à Plasma CNC

Os sistemas de corte à plasma CNC, são sistemas compostos por uma fonte de plasma, por um software CNC, um sistema microcomputadorizado, pela infra estrutura mecânica e suas partes móveis mecanizadas. Uma configuração clássica de um sistema de corte a plasma CNC “X”, “Y” e “Z”, pode ser visto na figura 13.

O sistema computadorizado (PC ou sistema dedicado) recebe o código, realiza o processamento, e através de uma interface manda os sinais para os drivers de acionamento dos motores, que por sua vez envia através de condutores os sinais para os motores.

Cada na mesa de corte a plasma CNC tem suas funções bem definidas. O eixo “X” tem sua trajetória de projeto mais longo que os outros eixos, no eixo “X” que se encontra a parte móvel com maior carga em relação às outras duas, pois é no

eixo “X” que está situado o pórtilo, parte móvel onde é fixado o suporte da tocha e a própria tocha. O eixo “Y” que se desloca perpendicularmente ao eixo “X”, no eixo “Y” se encontra todo o sistema mecanizado da tocha. Por fim o eixo “Z” é o eixo que distancia e aproxima a tocha em relação à mesa.



**Figura 13: Sistema de Corte à Plasma.**

**Fonte: TW- Soluções Industriais, 2013.**

Para o projeto dos eixos “X” e “Y” a preocupação é apenas com as dimensões físicas que o sistema vai abranger, preocupa-se apenas no início de cada corte, pois os limites desses eixos podem ser programados em função das dimensões das peças a serem cortadas, e das limitações físicas do equipamento, porém com o eixo “Z” não se tem apenas essas preocupações, pois o eixo “Z” controla a altura da tocha, já que a altura é fator de suma importância para a segurança da estrutura física da tocha, da vida útil dos componentes que compõem a tocha, e principalmente para a qualidade do corte.

Há vários fatores que contribuem para um bom acabamento dos cortes de metais proveniente das mesas CNC de plasma, por exemplo: a pressão do gás, a velocidade do corte, a vida útil dos consumíveis, o sistema de motorização dos eixos e principalmente a altura da tocha em relação ao metal que será cortado. Dentre os itens citados, como por exemplo, a pressão, em muitos casos torna-se inviável

investir em equipamentos que venham a controlar a vazão rotacional do gás que está sendo usado, pois teria que levar em questão a altura e a velocidade com que a tocha de corte se movimenta.

Dessa forma o controlador Mach3 fornece alguns sinais para que o controle seja feito. As variáveis que podem ser manipuladas em um sistema convencional de CNC controlado com o Mach3 são: a velocidade com que é realizado o corte e a altura com o qual é realizado.

Os defeitos mais comuns em metais cortados com mesas de plasma são os chanfros gerados da má configuração do sistema em si, e todas as situações citadas acima contribuem diretamente para evitar esse problema. No presente trabalho será abordada apenas a variável altura. Será estudado um dispositivo que vai atuar no sistema em função da tensão de arco gera no processo de corte, o dispositivo vai captar o sinal diretamente da fonte de plasma, processar o sinal e enviará os sinais através da interface paralela do microcomputador, onde estará instalado o Mach3 CNC.

#### 2.2.5 Dispositivo de controle de altura da Tocha

Visto que são muitas as variáveis para obter um bom acabamento nas peças obtidas através do corte à plasma, e aumentar a vida útil dos consumíveis, com o passar do tempo foram empregadas várias manobras: regulagem do gás (pressão x vazão), velocidade de deslocamento da tocha, corrente elétrica e a altura da tocha em relação à peça ser cortada. Das técnicas citadas dá-se ênfase nesse trabalho a variável altura, onde será desenvolvido um dispositivo de controle de altura da tocha.

O dispositivo de controle de altura é composto de:

- Sistema microcontrolado Arduino: onde será captado o sinal de tensão reduzido e efetuará o processamento, e então enviará o sinal para o PC;
- Display LCD: será a interface para a visualização dos parâmetros programáveis do dispositivo, permite visualizar em tempo real a intensidade do sinal recebido do sistema em plasma;
- Botões: utilizado para programar e alterar os valores dos parâmetros;
- LED: interface visual para indicar a atual situação do processo;

### 2.2.6 Divisor de tensão

O ponto de partida para o desenvolvimento do dispositivo, surgiu da necessidade de manter fixa a altura da tocha em relação ao metal a ser cortado, sabendo-se que há variação de tensão à medida que a tocha aproxima-se ou distancia-se do metal, a Hyperterm oferece nos manuais das fontes de plasma uma tabela onde são apresentados os parâmetros a serem seguidos em função do tipo de metal a ser cortado, dentre eles a tensão a ser seguida, conforme a figura 14.

As fontes de plasma Hyperterm 105 trabalham em um regime máximo de aproximadamente 300 Volts, porém em todos os tipos de materiais ao qual a fonte é indicada, essa tensão não ultrapassa de 180 Volts.

**Corte de 105 A protegido (aço-carbono)**

Faixa de fluxo de ar – ls/min/scfh	
Quente	217 / 460
Frio	250 / 530

Sistema métrico

Espessura do material	Distância da tocha à obra	Altura de perfuração inicial		Retardo na perfuração	Configurações de melhor qualidade		Configurações de produção		
		mm	%		Velocidade de corte	Tensão	Velocidade de corte	Tensão	
mm	mm	mm	%	segundos	mm/min	V	mm/min	V	
6	3,2	6,4	200	0,5	4140	144	5090	145	
8					3140	145	3870	145	
10				0,75	2260	145	2790	145	
12					1690	145	2060	148	
16					1,0	1060	149	1310	149
20						780	152	940	152
25		Partida pela borda			550	159	580	158	
30					370	162	410	161	
32					350	166	370	161	
35					290	168	320	165	
40	190				173	210	170		

**Figura 14: Hyperterm Powermax 105 Sistemas de Corte a Plasma.**

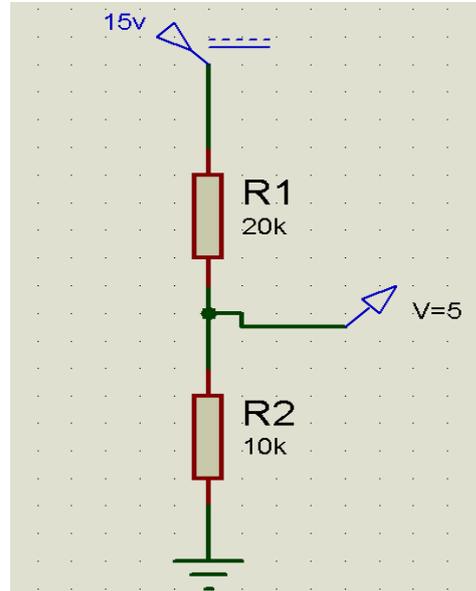
**Fonte: Manual do Operador, 2014.**

Através da variável definida, o próximo passo seria implementar mais uma etapa para captar o sinal de tensão, já que o sistema pode chegar a gerar a tensão de 300 Volts, e os limites de tensão do microcontrolador chegam próximos a 5 Volts,

surgiu a necessidade de reduzir a tensão e adequar para uma tensão que seja admissível pelo microcontrolador utilizado.

Após os primeiros testes, foi sentida a dificuldade de trabalhar com a tensão que era considerada perigosa, apresentando riscos físicos e materiais, foi entrado em contato com o fabricante da fonte para tirar algumas dúvidas, através do fabricante, foi informado que a fonte oferece um ponto de tensão reduzida proporcional à tensão gerada entre a tocha e o metal.

A tensão reduzida obedece à proporção de 20:1, ou seja, no ponto de tensão reduzida, o limite máximo de tensão fornecida pela fonte de 300 volts chegará no máximo em 15 volts, já que a intensidade do sinal de tensão se encaixa nos valores de tensão extra baixa, o que não apresenta riscos humanos. Porém ainda não estaria resolvido o problema da compatibilidade dos níveis admitidos pelo microcontrolador, surgiu à necessidade de reduzir para 5 volts, ou seja, dividir em 3 vezes o valor da tensão reduzida. Foi implementado um divisor de tensão, figura 15, respeitando os limites de potência dos resistores de  $\frac{1}{4}$  de Watt.



**Figura 15: Divisor de Tensão**

**Fonte: Autoria Própria, 2014.**

Inicialmente os testes com o dispositivo foram efetuados em *protoboard*. Foi verificado os limites de tensão de entrada da analógica e constatado que pode variar de 0 a 5 volts, com precisão de 10 bits, ou seja, varia proporcionalmente na função 0

Volts = 0 decimal e 5 Volts = 1024 decimal, proporção usada para os cálculos no escalonamento do valor da tensão.

### 2.2.7 Processamento do sinal de tensão

Tendo modificado o sinal original de tensão para um valor admissível pelo microcontrolador, o passo seguinte seria injetar esse sinal na entrada do sistema microcontrolado. Os sistemas microcontrolados Arduino Uno fornecem 6 entradas analógicas com resolução de 10 bits, e 14 entradas/ saídas digitais que também podem trabalhar no modo PWM.

Levando em conta que o valor da resolução é de 10 bits, ou seja, quando a tensão na entrada for 0 Volts, o registrador analógico interno indicará 0 unidade de bit, e quando a tensão de entrada for 5 Volts o registrador indicará 1024, sendo assim, é necessário via código, realizar o escalonamento para o valor de engenharia “tensão”, na seguinte proporção (tabela 1):

Unidade de Bit	Valor Escalonado (volt)
0	0
1024	300

**Tabela 1: Proporção dos valores (entrada analógica x tensão real)**

**Fonte: Autoria própria,2014**

Obedecendo a seguinte equação:

$$\mathbf{Xvolts = (300*Y)/1024;}$$

Onde:

**Xvolts:** valor escalonado do valor de tensão;

**Y:** valor do registrador analógico interno, proporcional ao sinal de tensão na entrada analógica;

O valor escalonado é guardado dentro de variáveis programadas via código em uma linguagem muito parecida com a linguagem C, na verdade alguns autores retratam linguagem, para programar Arduino como um dialeto da linguagem C. A partir dessas variáveis o valor é enviado para o display LCD, onde poderá ser visualizado o valor do processo.

### 2.2.8 Controle de altura da tocha

A base do Controlador de altura tem como referência a tensão de arco gerada entre o bico da tocha e o material a ser cortado, os valores de tensão, como já foi mencionado, é retirada da folha de dados do manual do fabricante da fonte, por isso o parâmetro principal a ser configurado no dispositivo é o *SetPoint* de tensão, que varia conforme o tipo de metal a ser cortado, do bico utilizado e da velocidade de corte. O propósito do controlador é monitorar a tensão atual e manter a tensão do arco no *Setpoint*, intervindo no processo sempre que essa tensão sair dos limites programados, por isso foram definidos os parâmetros para programar o dispositivo de controle de altura:

- **Setpoint:** Valor em que o dispositivo deve manter a altura da tocha em função da tensão, que por sua vez é retirado da folha de dados do manual do fabricante;
- **Limite:** É o valor limite de tensão (tanto para mais quanto para menos), que o controlador entende como aceitável e não intervém no processo.
- **Tempo:** É o valor em segundos, para que o controlador detecte que houve início no corte, e então venha a iniciar o controle;

O tempo de detecção de início do corte é muito importante, pois há etapas onde o sistema de corte dispara o plasma apenas para marcar o metal, para iniciar o corte ou para trabalhos futuros, como furações, então nesse momento a altura da tocha não pode ser modificada, pois ela pode vir a se chocar com o metal e vir a ser danificada. O tempo começa a contar assim que o valor de *set point* é alcançado, e então ao término do tempo, o controlador começa a atuar no sistema.

Para controlar a altura da tocha, faz-se necessário o dispositivo de controle disponibilizar 3 saídas digitais, que serão interligadas à porta paralela do PC, que por sua vez necessita estar instalado o programa CNC Mach 3.

Os sinais do THC (*torch heigth controller*) devem ser corretamente referenciados (pinos x função), que são previamente alterados na interface do *software*. Os sinais são *THC low*, *THC high* e *THC on*, onde:

**THC low:** Sinal digital de 5 Volts, que será enviado do dispositivo quando a tensão do corte for menor que o limite aceitável;

**THC high:** Sinal digital de 5 Volts, que será enviado do dispositivo quando a tensão de corte for maior que o limite aceitável;

**THC on:** Sinal digital de 5 Volts, que será enviado do dispositivo quando a tensão do corte for maior ou igual à tensão do *Setpoint* após o término do tempo de detecção do corte;

Para realizar a simulação e o desenho do circuito, utilizou-se um *software*, sendo uma ferramenta útil que permite o desenho de circuitos, empregando uma forma gráfica na qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes, e realizar a simulação do seu funcionamento, sem o risco de ocasionar algum dano para os circuitos. A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficos que representam os sinais obtidos na simulação.

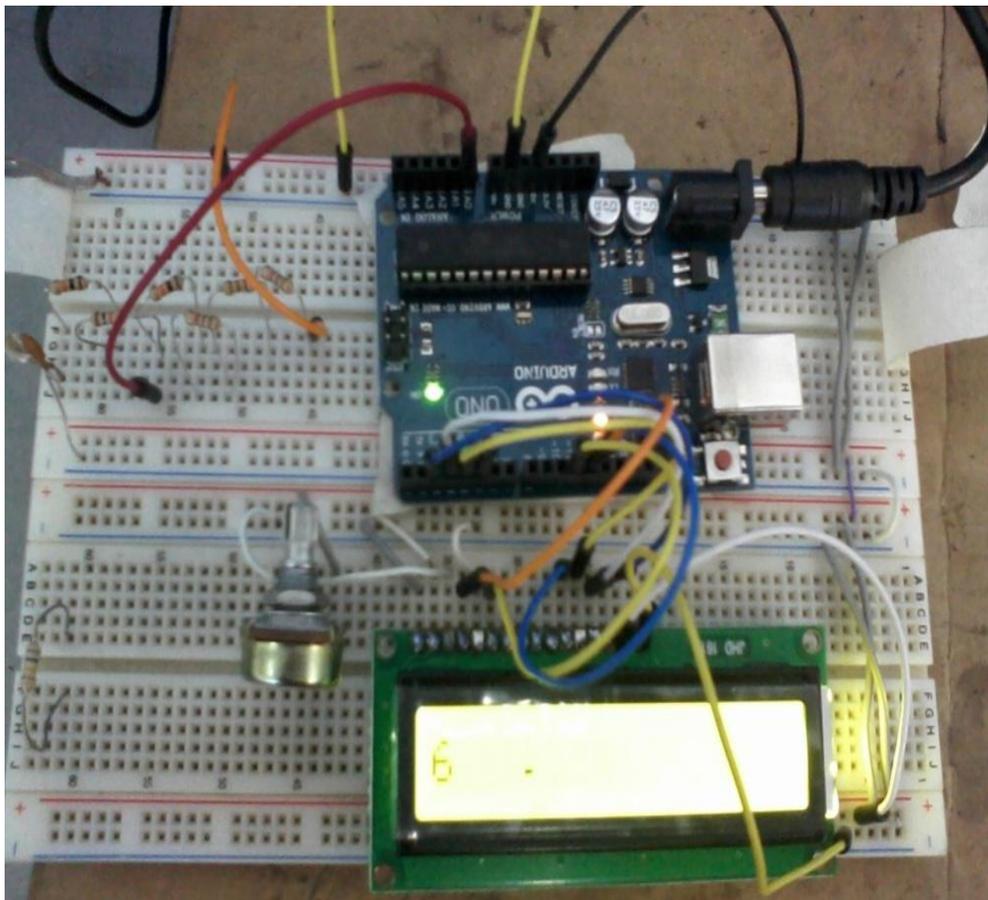
### 2.3 Testes Aplicados Virtualmente

A fim de evitar danos materiais ao equipamento de corte a plasma, pois inicialmente não se tinha conhecimento total da performance do dispositivo de controle de altura, os testes inicialmente foram aplicados em bancada. Para fazer as conexões dos componentes, foi utilizado um *protoboard*, condutores para fazer as conexões elétricas, foi utilizado um potenciômetro, alimentado através de uma tensão de 5 Volts para que fosse possível a simulação da tensão que foi injetada através da entrada da analógica, conforme demonstra a figura 16.

O próximo passo foi de escrever parte do código (figura 17), onde é captado o sinal, escalonando e utilizando artifícios matemáticos de comparação, para definir os limites de tensão que são admissíveis. Toda vez em que o limite é ultrapassado, tanto para valores superiores quanto aos inferiores, as saídas do microcontrolador são colocadas em nível alto, podendo ser visualizadas através da energização dos

led's, com a tensão aplicada de 5 Volts, utilizando sempre um voltímetro para a certificação de que os valores eram reais.

Na figura 18 é apresentado um esquemático do funcionamento do dispositivo de controle de altura bem como seus limites de tensão e atuação das saídas. No ponto superior do gráfico, o traço em cor vermelha representa a variação da tensão em função do tempo, as linhas de "set point", "limite inf." e "limite sup." representam os limites de tensão, os algarismos "1", "2", "3" e "4" representam os pontos houve comutação nos estados das saídas. No ponto inferior do gráfico estão representados os sinais de saída, *THC on*, *hig* e *low*.



**Figura 16: Simulação da Programação**

**Fonte: Própria, 2014.**

```

sketch_feb07b $

main()
{
x = analogRead(0); // capta o valor do sinal do registrador analógico.
// e armazena na variavel "x".
x1= ((x*5)/1023); // armazena em "x1" o valor ja escalonado de tensão.

if (x1 > 3.5) // se a tensão for maior que o limite superior
{
digitalWrite(LD1,HIGH); // energiza saída do led de limite superior
}

if (x1 < 2.5) // se a tensão for menor que o limite inferior
{
digitalWrite(LD2,HIGH); // energiza saída do led de limite inferior
}

if (2.5 < x1 < 3.5) // se a tensão estiver entre os limites inferior e superior
{
digitalWrite(LD2,LOW); // mantém os led's desenergizados
digitalWrite(LD1,LOW); // mantém os led's desenergizados
}
}

```

Figura 17: Programação de Testes.

Fonte: Autoria Própria, 2014.

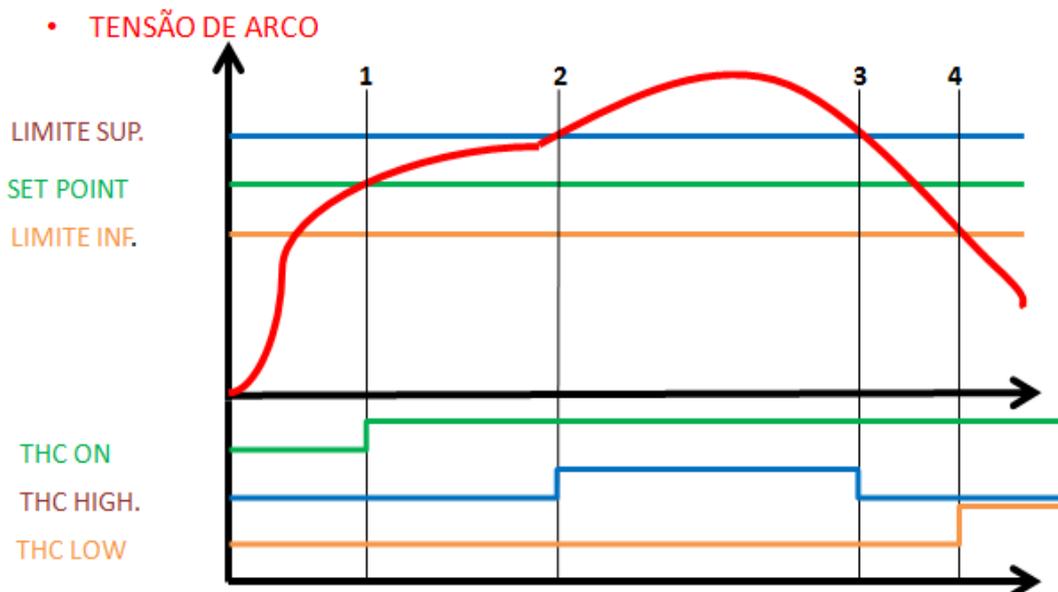


Figura 18: Esquemático da atuação dos sinais para o THC.

Fonte: Própria, 2014.

Do ponto de vista operacional, o protótipo funcionou normalmente, obedecendo limites impostos pelo código, alternando os estados dos led's sempre

que os limites foram ultrapassados. Porém houve muita dificuldade ao efetuar a montagem no *proto-board*, pois esse tipo de conexão está sujeito a muitas variáveis de erros, entre elas: a má conexão, e o difícil manuseio dos componentes, entre outros fatores.

Após o primeiro contato prático com dispositivo, conhecido e testado as devidas conexões elétricas, arbitrado as saídas e entradas do microcontrolador, houve a necessidade de aprimorar o protótipo.

Para resolver as falhas das conexões no *proto-board*, e com o intuito de obter uma melhora no protótipo, foram adicionados os componentes em uma matriz de contato, utilizando condutores para realizar as conexões elétricas, porém todos componentes foram soldados á matriz de contato. Foi adicionado o display LCD, para a visualização do valor de tensão. Dessa forma, houve grande evolução nos testes, pois não ocorreu mais os problemas com conexões elétricas, porém os limites de tensão implementados nos testes, ficavam confinados aos valores arbitrados na programação do dispositivo, e qualquer mudança só poderia ser feita carregando um novo programa no microcontrolador.

Para dar autonomia nos testes, e para posteriormente implementar uma IHM ao dispositivo, foi adicionado botões, para que o operador do dispositivo possa interagir com o processo, modificando os valores através dos botões e para que os valores possam ser visualizados no display. Figura 19.

### 2.3.1 Teste Real do Circuito através do Protótipo

Inicialmente foi necessário realizar as configurações do *software* Mach3, ou seja, habilitar a função *TCH*, função qual permite com que o *software* venha obedecer os sinais de controle de altura, quando entrar em regime de corte, já que, a partir desse detalhe a porta paralela automaticamente arbitra 3 entradas para que possa haver a conexão do sistema de controle de altura. Os sinais são THC ON, TCH HIGH e TGH LOW, figura 20.



Figura 19: Circuito montado em uma Matriz de Contato.

Fonte: Autoria Própria, 2014.

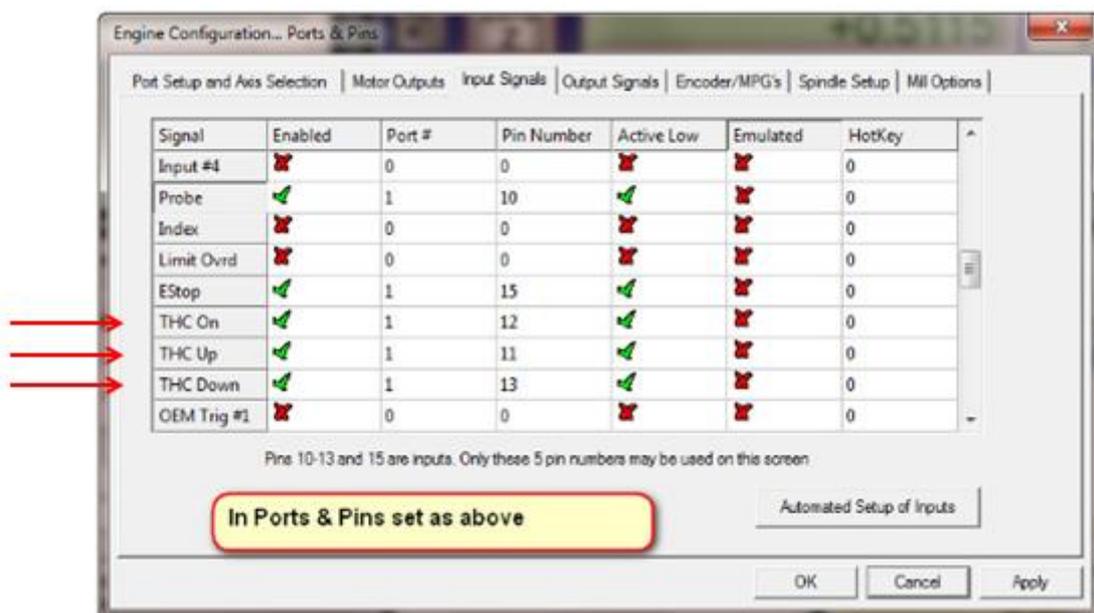


Figura 20: Configuração dos pinos para habilitar a função de THC.

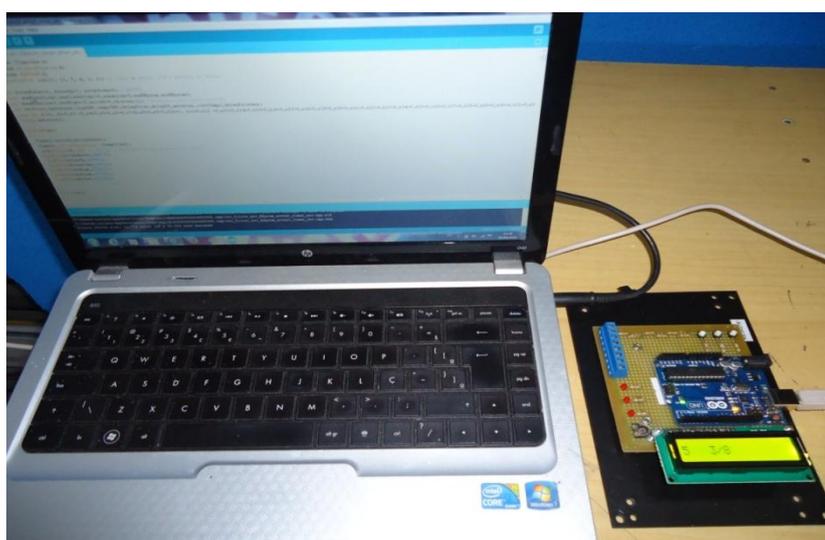
Fonte: Autoria Própria, 2014.

Fazendo uso de um potenciômetro, foi possível testar o controle da tocha, mesmo com o sistema de corte a plasma desligado, pois com a variação do

potenciômetro, foi possível simular a tensão de entrada do sistema analógico, sendo assim, foi possível acompanhar o sistema de tocha subindo e descendo, sempre que os limites de tensão estavam excedidos. O sistema de controle de altura entra em funcionamento sempre que a tensão de referência é alcançada e o tempo programado é ultrapassado, a partir desse detalhe, sempre que os limites de tensão forem excedidos o sistema da tocha é acionado, e permanecem continuamente sempre que o sinal estiver ativo.

Não há variação na velocidade de deslocamento da tocha, independente se a variação da tensão entre a tocha e o metal a ser cortado seja rápida ou lenta, pois o controle é digital, verdadeiro ou falso, conseqüentemente, o sistema não trabalha em função da variação da tensão/tempo. Na verdade essa é uma limitação do sistema do sistema CNC Mach3, esse detalhe deve-se ao fato do sistema comunicar-se via interface paralela do PC, pois o PC não consegue interpretar sinais de tensão com variação no tempo através da interface paralela.

Para um maior aproveitamento do tempo hábil para os testes, foi necessário instalar os equipamentos relativamente perto do sistema de corte à plasma, foi utilizado um notebook conectado diretamente ao protótipo, afim de não perder tempo com deslocamento sempre que fosse necessário efetuar alguma mudança. Figura 21.



**Figura 21: Comunicação do protótipo a um computador.**

**Fonte: Autoria Própria, 2014.**

Como o sistema de corte a plasma Hyperterm permite cortes de chapas de +/- 1mm à aproximadamente a 25mm, foi escolhido uma medida de chapa intermediária de aço carbono no valor de ¼”, também devido a velocidade de corte estar situado entre os extremos do sistema de corte a plasma. Nos primeiros cortes o sistema foi acionado manualmente e em linha reta, afim de simular a situação mais simples e que oferece menor risco ao sistema de corte, já que se trata de componentes do ponto de vista financeiro como caros, e do ponto de vista operacional muito mais simples que os cortes que exigem movimentação circular na interpolação dos eixos, visto que esse apresenta muito mais falhas no termino do corte.

Os valores de referência para inicio do corte foram retirados do manual do fabricante, que fornece uma tabela com os valores, então o sistema foi parametrizado com o valor de *set point* de 123 Volts e velocidade de corte de 130 polegadas/min, e arbitrado com valor de limite de tensão de 5 Volts, ou seja, o sistema vai se corrigir sempre que a tensão de corte for menor 118 Volts para valores menores, e quando a tensão de corte for maior que 128 Volts para valores maiores.

No fim dos primeiros testes chegou-se a conclusão que o sistema ficava muito instável, ou seja, o sistema ficava a todo instante do corte se corrigindo, por consequência a tocha ficava subindo e descendo. Como se tratava de um corte em deslocamento linear, não acarretou muitas imperfeições ao corte.

Foi então constatado que os limites de tensão estavam muito próximos do *set point*, já que uma pequena variação na altura entre o bico da tocha e o metal gera um valor superior a 5 Volts, foi necessário aumentar o valor dos limites, foi arbitrado o valor de 10 Volts. Quando retomados os testes certificou-se que o sistema se manteve estável e sempre que necessário o sistema atuar na correção valor, foi observado que houve movimentação significativa na altura da tocha, e quando a tensão situava-se dentro dos limites a tocha permanecia parada.

Próximo passo foi testar efetuando cortes circulares. Os cortes circulares são tipos de corte que apresentam maior variação de falhas, devido à interpolação dos eixos, ou seja, o eixo x e y trabalhando simultaneamente, e quanto menor for o raio a ser contornado, maior a probabilidade de geral falhas no metal a ser cortado. Ao fim do teste com cortes circulares verificou-se uma pequena melhora em relação ao corte sem o sistema de correção, pois sempre que os limites de tensão eram

excedidos o sistema atuava no processo, porém, os cortes circulares obtidos através do corte à plasma sempre apresentaram dificuldade em manter a qualidade no produto final, pois exige maior resolução dos sistemas empregados no corte, os motores de passo teriam que ser substituídos por servo motores, a tocha seria de uma especificação diferenciada da que hoje é empregada no sistema, o que acarretaria muito no acréscimo ao valor do equipamento, e até mesmo o sistema de corte à plasma poderia ser substituído por um sistema de corte à laser.

### 2.3.2 Teste Final do Protótipo

A fim de saber como sistema se comportaria quando colocado em condições extremas de trabalho, situação muito difícil de encontrar em condições normais de corte, foi posicionado o metal à ser cortado em ângulos variados, levando em conta que o sistema de corte vai partir com o metal inclinado, fato que exige com que o sistema inicie rapidamente a correção. Na Figura 22, foi simulada uma situação em que a tocha parte do ponto superior se deslocando para o sentido inferior.



**Figura 22: Simulação da Tocha iniciando através do ponto superior.**

**Fonte: Autoria Própria, 2014.**

Partindo do princípio que seria utilizado o mesmo tipo de metal, e utilizados os mesmos parâmetros (velocidade e *setpoint* de tensão), valores quais são utilizados em condições normais de corte de aço carbono ¼”, foi iniciado normalmente o corte linear.

Inicialmente, o sistema mostrou-se totalmente instável, pois é necessário ultrapassar o tempo de início de ativação de sistema de controle de altura, porém quando o tempo era ultrapassado, já era tarde demais, a tocha já estava afastada suficiente a ponto de perder o arco e vir a desligar o sistema de corte. Foi necessário modificar todos os parâmetros do controlador de altura, inclusive alterar a velocidade do sistema em geral, para que se obtivesse um corte mais estável, e que o sistema acompanhasse suavemente a descida constante da tocha no decorrer do corte.

Na situação seguinte o sistema foi colocado em uma situação contrária, ou seja, o sistema terá que percorrer o caminho inverso, percorrer o corte linear, porém no sentido de baixo para cima, Figura 23. Essa situação é uma situação perigosa do ponto de vista do manuseio dos componentes da tocha, pois se o sistema não corrigir rapidamente a tocha pode vir a se chocar com o metal a ser cortado e vir a ser danificada. Foi então reduzido o tempo para o sistema entrar em ação assim que é detectada a tensão de referência, reduzido à velocidade de corte para 65 pol/min.

No início dos testes, foi necessário em várias ocasiões acionar o botão de emergência, evitando assim que o bico da tocha viesse a chocar-se com o metal.

Um das manobras utilizadas para resolver o problema, foi reduzir para 5 Volts os limites de tensão, para que uma variação mínima na altura da tocha o sistema venha a se corrigir, outra manobra foi reduzir ainda mais a velocidade de deslocamento da tocha para 50 pol/min. Para esse teste tivemos resultados muito parecidos com o corte linear tomado no sentido contrário.



**Figura 23: Corte linear em sentido inverso.**

**Fonte: Autoria Própria, 2014.**

### 3 CONCLUSÃO

Foram muitas as dificuldades encontradas ao decorrer do desenvolvimento do dispositivo, pois inicialmente não se tinha conhecimento algum do funcionamento do equipamento a ser simulado, foram tomadas algumas estratégias; como arbitrar valores de limites de tensão, fato qual mudou logo de início, pois só com os testes pode ser visto que uma pequena variação na altura da tocha em relação ao metal a ser cortado, gera uma variação considerável na tensão gerada entre o bico da tocha e o metal.

Verificou-se que o sistema não respondeu adequadamente quando trabalhando em velocidades acima de 6000 mm/min, valor qual é metade do valor máximo que o equipamento de corte a plasma foi projetado. Constatou-se que o sistema corrige pequenas variações no decorrer do processo, variações que são consideradas comuns no processo de corte como: ondulações nas chapas metálicas devido ao aquecimento gerado pelo próprio processo de corte a plasma, e as pequenas deformações provenientes da fabricação e transporte das chapas metálicas; conseqüentemente pode-se analisar quando foram efetuados testes com o posicionamento do metal a ser cortado, em um grau elevado em relação à mesa, onde as peças são posicionadas para o corte.

Comprovou-se que não é possível corrigir mudanças abruptas na altura da tocha, como por exemplo, um degrau na chapa, ou uma variação acentuada inclinação do metal a ser cortado. Os próprios testes comprovaram isso.

Foram efetuados testes com as mais diversas espessuras de chapas metálicas, dessa forma conclui-se que para cada tipo de chapa a ser cortada necessita que sejam alterados os valores, *set point*, limites de tensão, e o tempo para o início da atuação do dispositivo. As características das chapas metálicas são muito diferentes uma das outras em função da sua composição e espessura, acarretando assim perda de tempo hábil de produção sempre que for trocado o metal a ser cortado, pois é necessário parar a produção e reprogramar o dispositivo.

Constatou-se que houve um grande crescimento no conhecimento do processo de corte de metais com o plasma, a proximidade com o equipamento devido aos testes, permitiu a criação de uma tabela de valores de *set point* e dos limites de tensão, pois os testes provaram que há diferença na parametrização do dispositivo em função da espessura da chapa metálica a ser cortada.

### 3.1 Trabalhos Futuros

Para dar continuação aos testes, os problemas até então verificados devem ser corrigidos. Novamente simulados em bancada antes de ser colocado em um teste real, afim de que sejam evitadas perdas materiais, e a perda no tempo hábil do sistema em produção.

Para o problema de o dispositivo estar limitado á baixa velocidade do sistema de corte, será adotada outra linguagem de programação, será utilizado o *Assembly*. Visto que a programação em *Assembly* torna o programa mais complexo e extenso, porém o programador tem total controle, linha por linha do código. Essa ideia é justificada pela maneira como foi conduzida a primeira programação do protótipo, pois foi feita a estratégia, de que, toda vez que havia necessidade de captar o sinal da entrada analógica, era necessário escrever as linha de código para tal. Isso acarreta em perda de tempo hábil, pois dessa maneira o programa executa sequencialmente as linhas de instruções. Como a tensão na entrada analógica é peça fundamental no sistema de controle de altura, deve-se efetuar a leitura em todo o momento, ou seja, a leitura da porta analógica deve correr paralelamente ao resto do programa. Fazer uso das interrupções dos *timers* é uma saída, pois define um valor de tempo fixo, afim de que, sempre que esse tempo for ultrapassado, o programa pula para realizar a rotina da interrupção, ou seja, definiu-se um tempo mínimo para que se faça a leitura da porta analógica; sabendo que esse tempo é limitado pelo tempo de *scan* das portas analógicas do microcontrolador, que está na ordem dos milisegundos, tempo suficiente para corrigir o erro do atual protótipo.

Analisando o diferente comportamento na correção da altura da tocha, quando ela necessita atuar para cima e para baixo, será criado diferentes valores de limites de tensão. Conclusão tirada dos testes em que o corte era iniciado com as peças inclinadas em relação à mesa, pois os parâmetros programados para a subida da tocha, não funcionavam quando a tocha descia, e vice versa.

Para resolver o problema do tempo perdido sempre que necessitava trocar o material a ser cortado, as fórmulas serão criadas para cada tipo de material a ser cortado bem como as diferentes espessuras dos materiais. Essas fórmulas serão gravadas na *EEPROM* do microcontrolador, pois dessa forma o microcontrolador

pode ser desligado e mesmo assim não perde o valor dos parâmetros, e sempre que quiser esses parâmetros podem ser modificados.

## REFERÊNCIAS

ARTSOFT. **Mach 3 Controle de CNC A instalação do software e Configuração.** 2008. Disponível em: < [http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3\\_Br\\_Instala%C3%A7%C3%A3o\\_Configura%C3%A7%C3%A3o.pdf](http://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3_Br_Instala%C3%A7%C3%A3o_Configura%C3%A7%C3%A3o.pdf) > 17 jan. 2014.

BUENO, Adauto Farias; OLIVEIRA, Rodrigo Alessandro de. **SISTEMA VOLVO DE PRODUÇÃO: UMA EVOLUÇÃO NA MANUFATURA AUTOMOBILISTICA OU UMA TENTATIVA FRACASSADA DE PRODUÇÃO SOCIOTÉCNICA?** XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Salvador, Bahia. 2009.

CARVALHO, Renon Steinbach; DUTRA, Jair Carlos; BONACORSO, Nelso Gauze. **IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLADOR CNC DE BAIXO CUSTO EM MANIPULADOR ROBÓTICO PARA SOLDAGEM.** V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Salvador/ Bahia. Ago. 2008. Disponível em: [http://www.labsolda.ufsc.br/site/publicacoes/artigos/2008\\_conem\\_renon.pdf](http://www.labsolda.ufsc.br/site/publicacoes/artigos/2008_conem_renon.pdf) 17 jan. 2014.

CONTE, Erick Gustavo Del; Schützer, Ing Klaus; HELLENO, André Luis. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE AVANÇO NO MONITORAMENTO DE DADOS DO CNC.** 2010. Unimep. Disponível em:< <http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/4mostra/pdfs/396.pdf> > 16 jan. 2014.

FILHO, Clézio Fonseca. 2007. **“A historia da computação” O CAMINHO DO PENSAMENTO E DA TECNOLOGIA.** Porto Alegre, 2007. Disponível em: < <http://www.pucrs.br/edipucrs/online/historiadacomputacao.pdf> > 17 jan. 2014.

GESSER, Felicio J; CHEREM, Laryssa P; BONACORSO, Nelso G; et.al. **Desenvolvimento de uma Interface de condicionamento de sinais empregada na automatização de máquinas por controladores CNC baseados em PC.** XVIII Congresso Brasileiro de Automática. Bonito-MS, ago 2010.

GORDO, J.M; CARVALHO, I.S; SOARES, C. Guedes. **Potencialidades de Processos Tecnológicos Avançados de Corte e União de Aço em Reparação Naval.** Lisboa, Edições Salamandra, 2006.

HARBS, Eduardo; JARENTCHUK, Guilherme; HERMAN, Gabriel; et.al. **CNC SERVOACIONADO ADERENTE ÀS NORMAS ISSO 14649 E IEC 61499.** 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. Rio de Janeiro,

mai 2013. Disponível em: <<http://www.grima.ufsc.br/papers/COBEF2013-0429.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

LAKATOS, Eva Maris; MARCONI Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo, Atlas, 2001.

LIMA, Erasmo. **Corte à plasma**. Revista da Soldagem ABS. Editora Associação Brasileira de Soldagem. Ano 2, nº 9. pág. 18-26. 2006.

LIMA, Erasmo G. **Corte à Plasma**. Revista da Soldagem. Ano 2, nº 9. 2008. Disponível em: <[http://www.baw.com.br/media/1364/sup\\_3\\_Artigo\\_Corte\\_Plasma.pdf](http://www.baw.com.br/media/1364/sup_3_Artigo_Corte_Plasma.pdf)>. Acesso em: 4 set. 2013.

MATSUMOTO, J. **Effects of plasma cut surfaces on the quality of aluminum alloy welds**, *Welding International*. nº4, pag. 322-342. 1988.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. Novatec Editora, São Paulo, 2011.

MINICURSO ARDUINO. Disponível em : <[http://www.inf.ufes.br/~erus/arquivos/ERUS\\_minicurso%20arduino.pdf](http://www.inf.ufes.br/~erus/arquivos/ERUS_minicurso%20arduino.pdf)>. Acesso em: 16 fev. 2014.

MODENESI, Paulo J. Marques, VILANNI, Paulo. **Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte, fev 2006.

PLOTEGHER, Silvio Luiz; FERNANDES, Marcio Merino. **Raciocínio Baseado em Casos Aplicado a um Sistema de Diagnóstico Remoto**. Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2005.

PORTAL METÁLICA. **O processo de corte de metais por plasma**. 2011. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/o-processo-de-corte-de-metais-por-plasma>>. Acesso em: 17 fev. 2014.

SCHIMIDT, B. **Plasma Arc Cutting Machine Selection and Techniques**. Vol.82, nº2, pag. 24-27. 2003.

SILVA, Lindomar Andrades da, ZANIN, Maicon Jair. **Montagem de Fresa CNC.** Trabalho de Conclusão de Curso, 2011. UTFPR-Medianeira.

TW- Soluções Industriais. Disponível em: <<http://www.twsi.com.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2014.