

**EDILSON HENRIQUES CALÓ**

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS PROCESSOS DE CORTE  
PLASMA E LASER NO MATERIAL ASTM A36 NA ESPESSURA DE 12 mm**

**São Caetano do Sul  
2013**

**EDILSON HENRIQUES CALÓ**

**ESTUDO COMPARATIVO DA EFICIÊNCIA ENTRE OS PROCESSOS DE CORTE  
PLASMA E LASER NO MATERIAL ASTM A36 NA ESPESSURA DE 12 mm**

Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação em Engenharia de Soldagem, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para a obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Edson Urtado

**São Caetano do Sul**

**2013**

Caló, Edilson Henriques

Estudo comparativo da eficiência entre os processos de corte plasma e laser no material ASTM A-36 na espessura de 12 mm comparando os processos plasma e laser / Edilson Henriques Caló. São Caetano do Sul, SP: IMT-CEUN, 2013.  
42p.

Monografia — Engenharia de Soldagem do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

Orientador: Prof. Edson Urtado

1. Corte Laser 2. Corte Plasma 3. Produtividade

## **AGRADECIMENTOS**

A todos os que colaboraram diretamente e indiretamente para conclusão deste trabalho e minha formação, a Magno Peças que disponibilizou seus equipamentos para que fossem executados os estudos, aos professores, colegas e funcionárias da Pós Graduação da Mauá do curso de Engenharia de Soldagem por todo o apoio e companheirismo neste período.

## RESUMO

Este estudo tem como finalidade apresentar os resultados do processo de corte laser e plasma em chapas planas. Além, da comparação de sua eficiência no processo produtivo de peças com espessuras de 12 milímetros, consideradas grossas para o processo de corte a laser. As velocidades de corte entre os processos chegam a ter uma diferença de mais de cem por cento. Levando em consideração uma peça com volume mensal de alta produção e com maquinas somente com dois turnos disponíveis, o resultado da produtividade faz toda a diferença. Toda atenção é pouca na definição do processo de corte para uma nova peça, porque neste momento se não for avaliado o processo num todo e somente considerado as teorias criadas no inicio da evolução do corte a laser, todas as peças acima de seis milímetros serão direcionadas para o processo de corte a plasma, adicionando processos posteriores sem necessidade e aumentando o seu tempo de produção.

Palavras chave: Corte Laser, Corte Plasma, Produtividade.

## ***ABSTRACT***

This study has as purpose present the results of the process of cutting laser and plasma in flat plates, beyond compare their efficiency in the production process of parts with thicknesses of 12 mm thick, considered for the cutting process the laser. The cutting speeds between the processes come to have a difference of more than one hundred per cent. Taking into consideration a part with monthly volume of high production and with machines with only two shifts available, the result of productivity makes all the difference. All attention is low in the definition of the cutting process for a new part, because at the moment if not evaluated the process in a whole and only considered the theories created in the beginning of the evolution of laser cutting, all parts of six millimeters will be directed to the process of plasma cut, adding later processes without need and increasing your production time.

Keyword: Laser Cutting. Plasma Cutting. Productivity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Transformação de Estado.....	12
Figura 2: Fonte de Plasma com Corte Manual .....	13
Figura 3: Fonte de Plasma com Corte Manual .....	14
Figura 4: Maquina de Corte CNC.....	15
Figura 5: Velocidade Correta .....	16
Figura 6: Baixa Velocidade .....	16
Figura 7: Alta Velocidade .....	16
Figura 8: Chapa com diâmetro Interno.....	17
Figura 9: Esquema ilustrativo de um laser de rubi .....	18
Figura 10: Laser é luz .....	19
Figura 11: Esquema simples de um laser de CO2 .....	21
Figura 12: Ressonador de um laser de CO2 3200W.....	22
Figura 13: Mesa de corte dimensão de 1500 x 3000 mm.....	22
Figura 14: Carro de Movimentação X,Y,Z.....	23
Figura 15: Maquina de corte laser de 3200W .....	24
Figura 12: Estrias regulares .....	24
Figura 13: Estrias com curva no topo inferior do corte .....	25
Figura 14: Aspecto esquemático de uma superfície de corte .....	25
Figura 15: Processo de Oxicorte.....	28
Figura 16: Maquina de Corte Jato de água .....	29
Figura 17: Trator BR 50 .....	30
Figura 18: Item Acabado.....	31
Figura 19: Desenho do Item em Estudo.....	31
Figura 20: Espessura do item Corte Plasma.....	32
Figura 20: Variação no diametro do Corte Plasma.....	32
Figura 21: Variação no diametro do Corte Plasma.....	33
Figura 22: Deformação no diametro do Corte Plasma .....	33
Figura 23: Espessura do item Corte Laser.....	34
Figura 24: Variação no diametro do Corte Laser.....	34
Figura 25: Variação no diametro do Corte Laser.....	35
Figura 26: Item conforme desenho .....	35
Figura 27: Item sem Usinagem .....	36
Figura 28: Nesting processo de corte plasma .....	36
Figura 29: Tempo do item corte laser .....	37

Figura 30: Velocidade de Corte .....	38
Figura 31: Tempo de Operação .....	39
Figura 32: Comparativo de Processo .....	39
Figura 33: Analise de Carga Hora .....	40
Figura 34: Analise de Carga Hora .....	40

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 PROCESSOS DE CORTE.....	10
2.1 PROCESSO DE CORTE PLASMA.....	11
2.1.1 O QUE É PLASMA .....	11
2.1.2 O PLASMA NA INDUSTRIA.....	12
2.1.3 QUALIDADE DO CORTE PLASMA .....	15
2.1.4 CORTE DE DIAMETROS INTERNOS .....	17
2.2 PROCESSO DE CORTE LASER.....	18
2.2.1 DESCOBERTA DO LASER .....	18
2.2.2 COMO SE FORMA O LASER.....	19
2.2.3 TIPOS DE LASER .....	20
2.2.4 LASER DE CO2.....	20
2.2.5 SISTEMA DE CORTE LASER NA INDUSTRIA .....	21
2.2.6 FORMAÇÃO DA SUPERFICIE DE CORTE.....	24
2.2.7 PRINCIPAIS PARAMETROS DE CORTE.....	25
2.2.8 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA SUPERFÍCIE DE CORTE .....	26
2.3 OUTROS PROCESSOS .....	27
2.3.1 OXICORTE .....	27
2.3.2 JATO DE ÁGUA.....	28
3 MÉTODO – AVALIAÇÕES DO PROCESSO DE CORTE LASER E CORTE PLASMA .....	30
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	38
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	41
REFERÊNCIAS .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa apresentar através de pesquisa bibliográfica e estudo de caso os processos de corte de metais em chapas planas, com foco no processo de corte laser e plasma. Após a apresentação do processo de corte, o foco principal do estudo de caso é abordar as características obtidas em cada processo para que seja avaliado adequadamente o melhor método para fabricação da peça. Observando que a velocidade do corte a plasma é o dobro da velocidade do corte a laser na avaliação de uma peça com espessura de 12 mm, considerada chapa grossa a ser cortada no processo de corte laser, observando também a angularidade do corte plasma em diâmetros próximo a espessura do material, que pode influenciar na qualidade. Analisando se é correto afirmar que o laser somente é viável para chapas finas ou esta questão é um mito. Este tema foi escolhido através de uma discussão muito antiga na indústria, que até hoje reflete quando se trata de desenvolver um novo produto e o mesmo seja composto de chapas acima de 6,00 mm de espessura. Quando isto ocorre, os processos que vem em mente são o corte plasma ou oxicorte, mas será observado neste caso, que muitas vezes são agregados processos adicionais, aumentando o tempo de produção, ocasionando redução de produtividade e perda de recursos. Neste estudo de caso, será apresentado os resultados obtidos durante o acompanhamento da fabricação de uma peça modelo, em forma de gráficos e imagens.

## 2 PROCESSOS DE CORTE

Processos de corte são as operações mais comuns no processamento de metais planos empregados para preparar chapas para as etapas posteriores de processamento e montagem de diversos produtos finais. Alguns processos apresentam particularidades que podem influenciar, no dimensional e no custo do produto final. Por este motivo deve ser avaliado o processo ideal que irá garantir seus devidos dimensionais solicitados no projeto com o melhor custo.

### 2.1 PROCESSO DE CORTE PLASMA

No início dos anos 50, foi descoberto que as propriedades do arco aberto, como usado para a soldagem TIG, poderiam ser largamente modificadas, sendo assim seria possível uma grande inovação na indústria o Corte Plasma e desta forma seria possível cortar qualquer metal condutor de eletricidade principalmente os metais não ferrosos que não podem ser cortados pelo processo de oxi-corte. Naquela época a indústria estava encontrando grandes dificuldades principalmente para o corte do aço inoxidável e o alumínio.

#### 2.1.1 O QUE É PLASMA

Conforme Lima, 2008 “uma definição comum de plasma é descrevê-lo como o quarto estado da matéria”. Sempre teve-se em mente que a matéria estaria dividida em três estados: Sólido, líquido e gasoso. Para um elemento comum como a água, estes três estados são o gelo a água e o vapor, a diferença entre estes estados são as ligações aos seus níveis de energia, quando adicionamos energia na forma de calor ao gelo, ele derrete formando água e ao adicionarmos mais energia, a água evapora-se em hidrogênio e oxigênio na forma de vapor, que por sua vez com novo acréscimo de energia ao vapor, estes gases tornam-se ionizados. Esse processo de ionização faz com que esses gases se tornem condutores de eletricidade e este gás, eletricamente condutor e ionizado chama-se plasma. Há outros exemplos de plasma em nosso meio e alguns exemplos claros deste fenômeno são as estrelas incluindo o Sol, estes são formados inteiramente de plasmas de altíssima temperatura e densidade, e ainda estima-se que 99 % da matéria existente no universo estejam no estado de plasma.

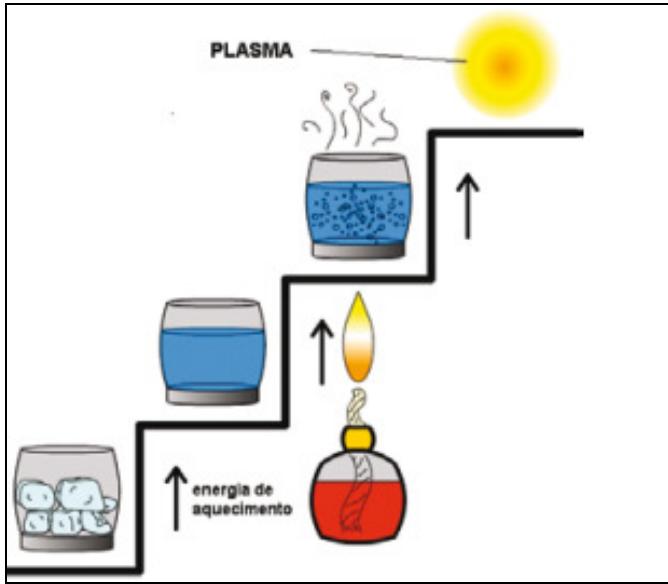


Figura 1: Transformação de Estado

FONTE: Baw,2013

### 2.1.2 O PLASMA NA INDUSTRIA

O corte plasma é um processo que emprega um plasma gasoso, ou seja, um gás ionizado que é formado a partir de uma fonte de alimentação. Esta fonte de CC e sua tensão de circuito aberto está entre 240 a 400 VCC, que gera a partida do arco entrando em contato com o gás, energizado de tal forma que se ioniza e se transforma em plasma, todo este fenômeno ocorre na tocha através desta descarga de energia que é direcionada ao eletrodo e o mesmo cria uma centelha que energiza o gás formando o arco plasma. Neste momento o mesmo é direcionado a um pequeno orifício calibrado e através deste orifício torna-se possível obter uma concentração de energia com alta temperatura, desta forma é possível fundir e cortar materiais metálicos, sendo assim o metal fundido é expulso pela energia cinética do jato de gás. Através de uma fonte de energia fica fácil de avaliar que quanto maior for sua corrente maior será nossa capacidade de corte em relação à espessura do material e sua velocidade. Os sistemas mais utilizados na indústria são o de corte manual e mecanizado. O corte manual é muito simples e de fácil operação, os sistemas mais modernos possuem o bocal isolado eletricamente o que permite que o operador apoie a tocha na peça ou utilize uma régua ou gabarito para guiar o corte e as fontes inversoras são preferidas devido a sua portabilidade. O corte manual é largamente utilizado nas mais diversas aplicações, desde cortes em chapas finas até grandes espessuras como as de estruturas metálicas, o plasma apresenta vantagens devido à flexibilidade da tocha, facilidade de operação, velocidade de corte e menor deformação das chapas.



Figura 2: Fonte de Plasma com Corte Manual

FONTE: Baw,2013

O corte mecanizado é todo aquele onde um sistema automático manipula a tocha de plasma. Os sistemas podem ser simples como uma “tartaruga” ou até os mais complexos manipulados e comandados por CNC. Os sistemas manuais podem ser adaptados para trabalhar no método mecanizado e devem ser respeitados os limites de aplicação recomendados pelo fabricante do sistema para este método. Geralmente a capacidade de corte dos sistemas manuais é reduzida à metade para o corte mecanizado, esta redução não está relacionada diretamente com a capacidade da fonte e sim pelo aquecimento progressivo da tocha. Como no plasma a velocidade reduz sensivelmente com o incremento da espessura, em chapas mais espessas o tempo de corte é grande devido a baixa velocidade e esta é a principal razão de se limitar a espessura para se garantir uma velocidade razoável e permitir a refrigeração adequada da tocha.

Os sistemas mecanizados dedicados geralmente possuem tochas refrigeradas por líquido refrigerante. O líquido é guiado na parte interna do eletrodo permitindo um jato exatamente na parte traseira do rafnio – parte que fica no estado líquido durante o corte.

Um sistema básico mecanizado é constituído por 5 partes principais, conforme mostrado na figura 3:

1. Fonte de Energia
2. Console de Ignição – Alta Frequência
3. Console de controle de gás

4. Tocha plasma
5. Conjunto de Válvulas



Figura 3: Fonte de Plasma com Corte Manual

FONTE: Baw,2013

Este conjunto é parte integrante de uma célula ou máquina de corte. A qualidade do corte, bem como o desempenho da célula depende da combinação, interação e características dos componentes como: Sistema de Corte Plasma (figura 3), Comando CNC, Controle de altura (eixo Z) e Sistema de movimentação X-Y. A figura 4 mostra um exemplo de máquina de corte com comando CNC e seus componentes.

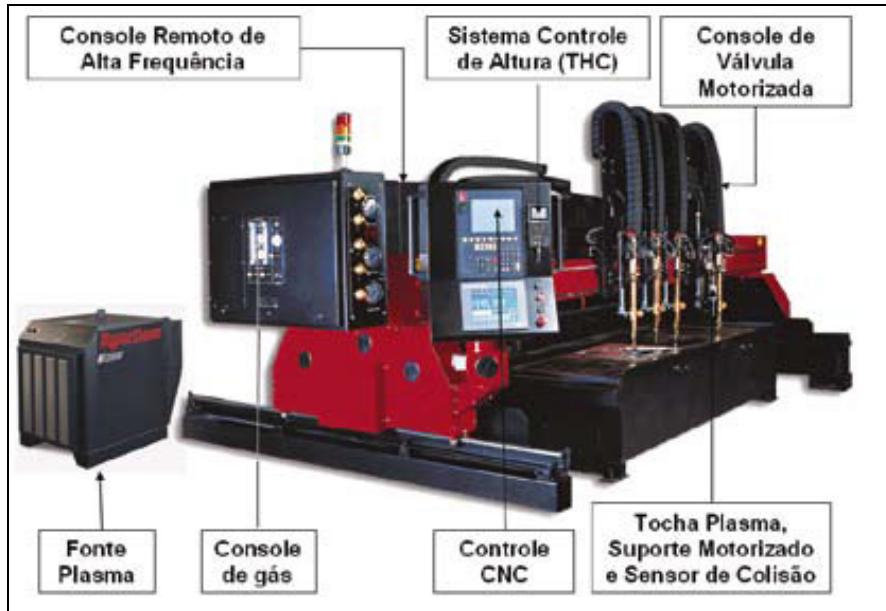


Figura 4: Maquina de Corte CNC

FONTE: Baw,2013

### 2.1.3 QUALIDADE DO CORTE PLASMA

Para avaliar as peças cortadas termicamente, deve embasar-se em normas, desta forma consegue-se determinar os limites de aceitação do processo e assim definir as tolerâncias admissíveis. Para este processo aplica-se a norma Standard EN ISO 9013. Os fatores mais considerados para avaliar a qualidade de corte são: o desvio angular e a rugosidade. Outros fatores que podem também ser considerados na qualidade do corte, são as linhas de arraste e formação de escória. Utilizar as linhas de corte é um excelente caminho para determinar a velocidade correta, mas tende-se estar muito atento se é viável a sua utilização no processo. As linhas devem geralmente, acompanhar o corte aproximadamente de 10 a 15 graus, quando as linhas estão mais verticais, a velocidade está muito baixa, quando as linhas estão mais alinhadas, a velocidade está muito alta. Estas alterações serão mostradas nas figuras abaixo.

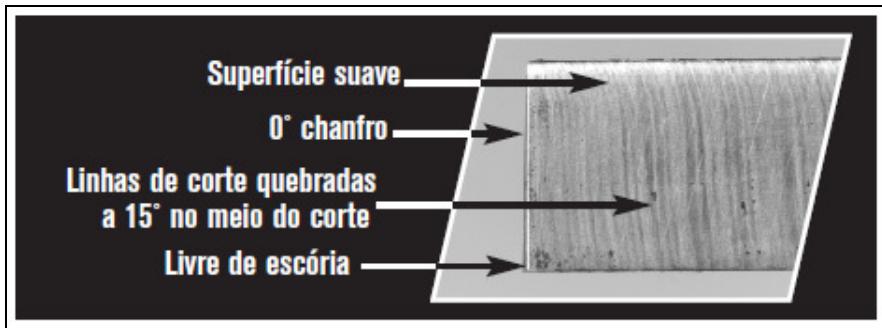


Figura 5: Velocidade Correta

FONTE: Hypertherm,2002

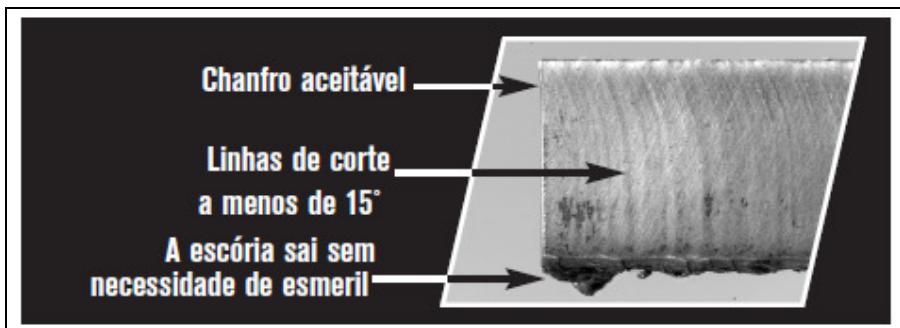


Figura 6: Baixa Velocidade

FONTE: Hypertherm,2002

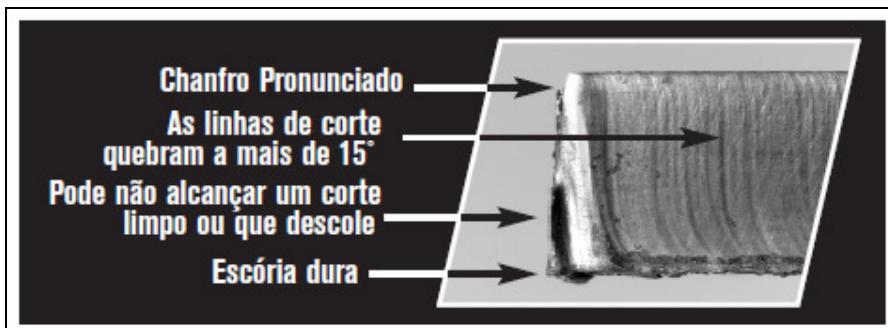


Figura 7: Alta Velocidade

FONTE: Hypertherm,2002

#### 2.1.4 CORTE DE DIÂMETROS INTERNOS

Um dos maiores desafios para o processo de corte plasma é fabricar itens com diâmetros internos próximos a espessura do material a ser cortado, sendo assim existem alguns fatores a serem considerados, e serão citados alguns deles.

Para plasma de alta definição, chapas acima de 3 mm, utiliza-se 1,5 vezes a espessura do material.

Para o plasma convencional, chapas de 3 mm até 12 mm, utiliza-se 2 vezes a espessura do material. Acima de 12 mm utilizar 1,5 vezes a espessura do material.

Lembrando que toda atenção é pouca quando se trata de diâmetros internos no corte plasma e os mesmos devem ser feitos no sentido anti-horário para um melhor controle do arco, desta forma o lado chanfrado do corte vai ficar no miolo, ou seja sucata, conforme observado na figura 8.

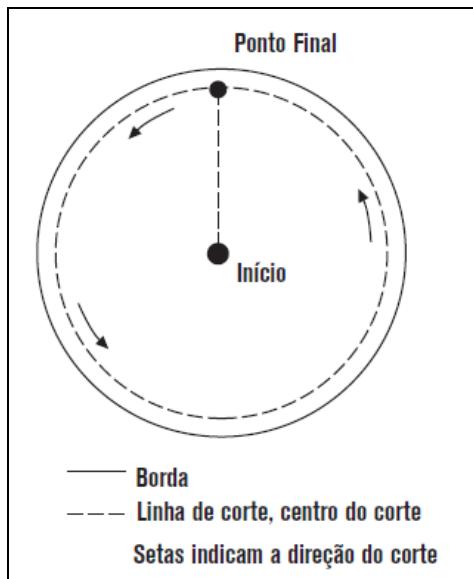


Figura 8: Chapa com diâmetro Interno

FONTE: Hypertherm, 2002

## 2.2 PROCESSO DE CORTE LASER

Desde o início da década de 70, com o desenvolvimento dos lasers de potência, a utilização destes no corte não tem parado de crescer. O corte por laser tornou-se o processo de corte preferencial para muitas empresas, com base nas altas velocidades de corte e na exactidão do processo. Os equipamentos destinados a este fim permitem obter peças de geometria complexa, acabamento de superfícies praticamente livre de rebarbas na região de corte e rapidez na execução de peças.

### 2.2.1 DESCOBERTA DO LASER

Os primeiros trabalhos de investigação que conduziram à invenção do feixe laser foram realizados por *Albert Einstein* em 1917. Tratava-se então do estudo dos fenómenos físicos de emissão espontânea e estimulada subjacentes ao princípio do funcionamento do laser. Os trabalhos de *Bohr* e *Planck* permitiram formular a teoria da mecânica quântica, componente essencial a compreensão do modo de funcionamento do laser. O primeiro laser foi construído em Julho de 1960, por *Theodore Maiman*, que trabalhava nos laboratórios de investigação de Hughes. Tratava-se de um laser de estado sólido de rubi, excitado por uma lâmpada fluorescente de vapor de mercúrio e filamento helicoidal, sendo possível observar na figura 9.

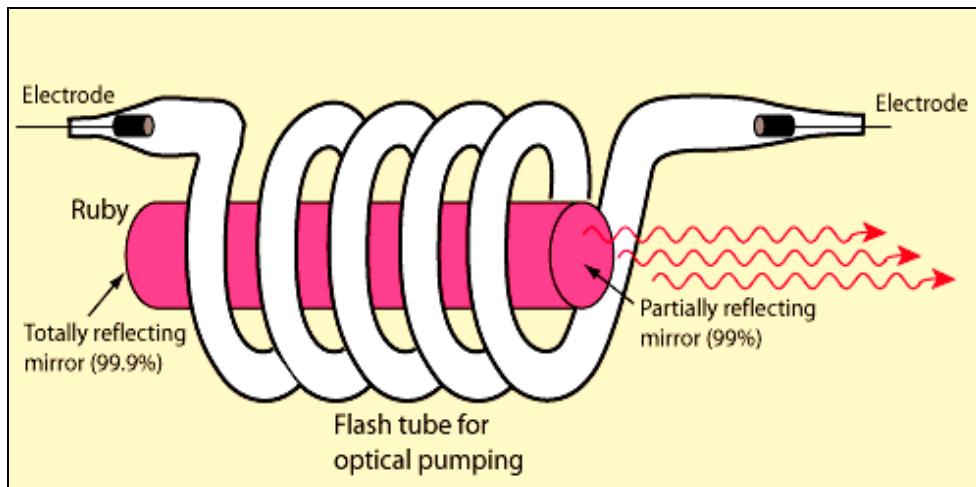


Figura 9: Esquema ilustrativo de um laser de rubi

FONTE: Silva, 2008

Poucos meses depois, em Dezembro de 1960, surgiu o primeiro laser de estado gasoso. Tratava-se de um laser He-Ne desenvolvido por *Javan, Bennett e Harriot*. Só alguns anos mais tarde aparecia o laser de CO<sub>2</sub> desenvolvido por *Patel*.

A era do laser tinha chegado e desde então, os equipamentos e a tecnologia não têm parado de se desenvolver. As primeiras aplicações industriais dos lasers surgem no início da década de 70 com os lasers de gás. Atualmente existem inúmeros tipos de fontes de lasers: lasers de estado sólido, gasoso e líquido, cada qual com as suas características que justificam a sua aplicação para determinado fim.

## 2.2.2 COMO SE FORMA O LASER

LASER, acrônimo de “Light Amplification by Simulated Emission of Radiation” (amplificação da luz por emissão estimulada de radiação), é hoje em dia sinônimo de máxima eficiência e qualidade de processamento de materiais. É um dispositivo que emite radiação luminosa através do bombeamento efetuado por uma fonte de energia apropriada a um meio ativo. Este meio é escolhido de modo a ocorrer uma emissão estimulada. O uso do laser pode ser entendido mais facilmente se imaginarmos o que acontece quando focalizamos raios de sol através de uma lente, para produzir uma fonte concentrada de energia, na forma de calor, sobre uma folha de papel como é possível observar na figura 10. Embora desse método resultem apenas buracos queimados no papel, ele nos mostra que a luz é realmente uma fonte de energia com potencial condições de ser processada e explorada do ponto de vista industrial.

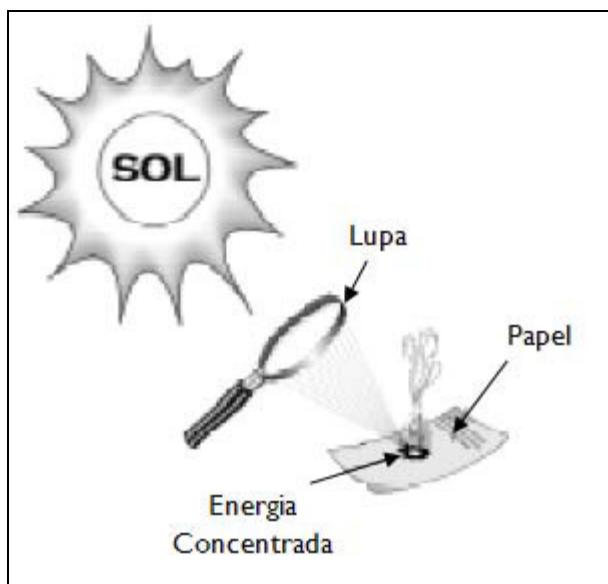


Figura 10: Laser é luz

FONTE: Silva, 2008

O laser é um sistema que produz um feixe de luz concentrado, obtido por excitação dos elétrons de determinados átomos, utilizando um meio ativo que pode ser sólido, líquido ou gasoso. Este feixe de luz produz intensa energia na forma de calor. Para a obtenção do laser é necessário acrescentar ao meio ativo a um sistema óptico adequado, a cavidade ressonante, constituída por dois espelhos, posicionados nas extremidades do meio ativo e coaxial a ele, perpendicularmente à direção em que o feixe é emitido.

### 2.2.3 TIPOS DE LASER

O corte de chapas por laser tem a vantagem de produzir superfícies de corte com enorme precisão e muito menor distorção em relação a outros processos como o oxicorte e o arco em plasma por exemplo. Além de constituir um processo muito mais rápido, o laser tem ainda a vantagem de produzir uma reduzida zona afetada pelo calor (ZAC). Entre os vários tipos de lasers, os mais comuns são sem dúvida o laser de CO<sub>2</sub> e o laser Nd: YAG.

### 2.2.4 LASER DE CO<sub>2</sub>

O laser CO<sub>2</sub> é o tipo de laser mais comum e adequado para o processamento de materiais, sobretudo nas aplicações que exijam elevada densidade de potência, isto é feixes com elevada qualidade. Este tipo de laser utiliza como meio ativo uma mistura de carbono (CO<sub>2</sub>), hélio (He) e nitrogênio (N<sub>2</sub>) em concentrações de aproximadamente 6, 10 e 84% respectivamente. Cada um dos compostos, enunciados anteriormente, desempenha uma função, sendo ela a seguinte:

*CO<sub>2</sub>*: emissora de radiação;

*He*: é responsável simultaneamente pelo arrefecimento e pela manutenção da inversão da população;

*N<sub>2</sub>*: ajuda a excitar as moléculas de CO<sub>2</sub> para o nível de energia mais elevado.

Funciona com lentes que focam o feixe, possibilitando um feixe de potência superior em relação a outros tipos de laser, atingindo potências até 50 kW e oferecendo uma eficiência de

cerca de 5 à 10%. Os lasers de CO<sub>2</sub> emitem radiações com comprimentos de onda de 10,6 μm e produz potências (densidade) de 10 W/mm<sup>2</sup>.

O feixe produzido é luz infravermelha, o que significa que não é visível a olho humano, sendo frequente a permuta para um feixe de baixa potência visível ao olho humano durante o processamento da peça, para o seu alinhamento. Este tipo de laser produz espessuras ZAC e distorções de 0,5 mm.

Os raios laser de CO<sub>2</sub> são transmitidos à peça por espelhos e ópticas transmissíveis. Os sistemas de laser de CO<sub>2</sub> necessitam de cuidados de manutenção como a limpeza e o realinhamento das lentes. Na figura 11 temos uma demonstração de onde é criado o laser.

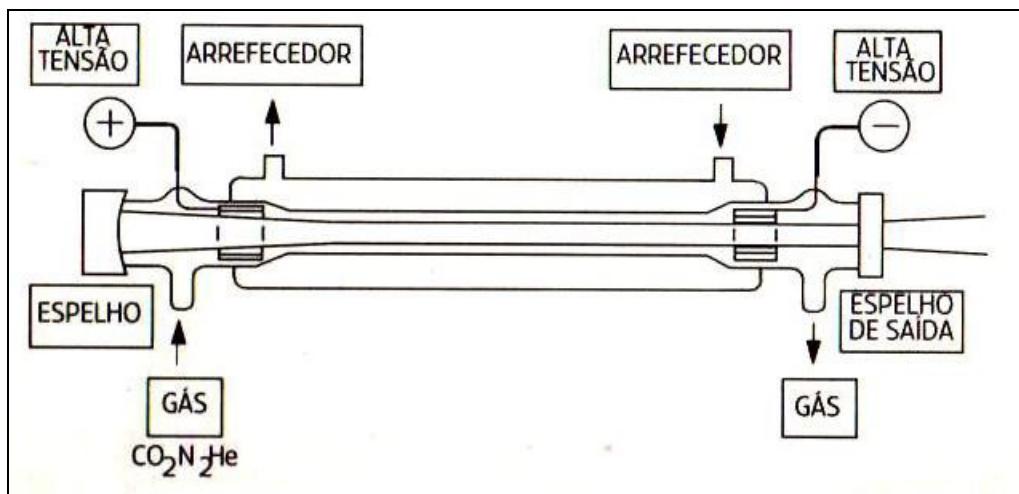


Figura 11: Esquema simples de um laser de CO<sub>2</sub>

FONTE: Silva,2008

## 2.2.5 SISTEMA DE CORTE LASER NA INDUSTRIA

Um sistema laser é constituído por uma fonte laser e por um equipamento que permite deslocamentos relativos do feixe e da peça a cortar, o equipamento mais comum é constituído por três partes:

O *laser* que é a fonte de radiação coerente com potência suficiente e características adequadas ao trabalho de corte pretendido, conforme figura 12 podemos avaliar um essonador de 3200W de potencia, que tem capacidade de corte até 20 mm de espessura.



Figura 12: Ressonador de um laser de CO<sub>2</sub> 3200W

FONTE: O próprio autor.

Uma *mesa* sobre a qual é colocado o material a cortar sob a forma de chapa, normalmente estas mesas são com dimensão de 1500 x 3000 mm conforme figura 13.



Figura 13: Mesa de corte dimensão de 1500 x 3000 mm

FONTE: O próprio autor.

Um *sistema de interligação* entre os dois elementos anteriormente referidos, que encaminha o feixe desde a saída até ao material e permita a movimentação relativa nos eixos X, Y, Z entre este e o feixe conforme figura 14.



Figura 14: Carro de Movimentação X,Y,Z

FONTE: O próprio autor.

Nas máquinas de corte por laser, o material a ser cortado normalmente encontra-se em forma de chapa, embora existam máquinas que se destinam ao corte de tubos. No caso em estudo, o equipamento de corte por laser destina-se ao corte de material sob a forma de chapa. O corte por laser realiza-se do seguinte modo: inicialmente é colocado na mesa de trabalho o material a cortar sob a forma de chapa; a cabeça de corte movimenta-se sobre a chapa na direção longitudinal e transversal, estes movimentos são transmitidos por motores lineares, pela cabeça de corte flui o gás de assistência que tem por função entre outras a de remover o material fundido e óxidos da região de corte.

Nas máquinas de corte por laser é possível cortar chapas de aço ao carbono até 20 mm de espessura. Ao contrário do que acontece no corte de chapas de alumínio que é bem menor, até

8 mm de espessura, isto devido a tendência do alumínio a reflectir a luz. Abaixo foto de uma maquina de corte laser de 3200W de Potencia.



Figura 15: Maquina de corte laser de 3200W

FONTE: O próprio autor.

## 2.2.6 FORMAÇÃO DA SUPERFICIE DE CORTE

O mecanismo básico responsável pelo corte por laser consiste no aquecimento acima da temperatura de fusão e vaporização na frente de corte. O material fundido é expelido para baixo ou para trás na frente de corte por ação de um jato de gás de assistência, aplicado coaxialmente. Sobre as superfícies observam-se estrias, a sua disposição e geometria é geralmente regular, e linhas dispostas verticalmente quase paralelas ao feixe laser. Correspondendo a um bom corte com pressões de gás relativamente baixas e velocidades de corte inferiores à velocidade máxima conforme ilustrado na figura 12.

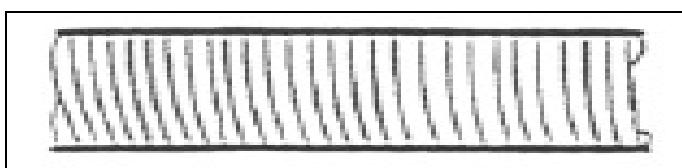


Figura 12: Estrias regulares

FONTE: Silva,2008

Em padrões mais complexos em que as linhas são curvas no topo inferior do corte. Este é um corte obtido com pressões de gás elevadas e velocidades próximas da velocidade máxima conforme ilustrado na figura 13.

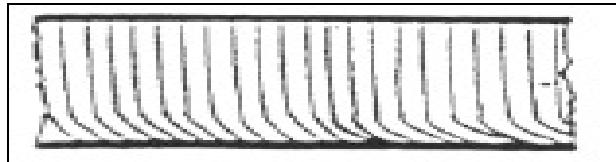


Figura 13: Estrias com curva no topo inferior do corte

FONTE: Silva,2008

As estrias resultam da oscilação de frente relativamente à linha de interação do feixe com o material, devido ao sobreaquecimento do metal fundido na frente de corte. Isto combinado com a existência de O<sub>2</sub> resulta um movimento da zona fundida à frente do feixe laser devido à Reação exotérmica. No arrefecimento o material fundido solidifica deixando estas irregularidades na superfície.

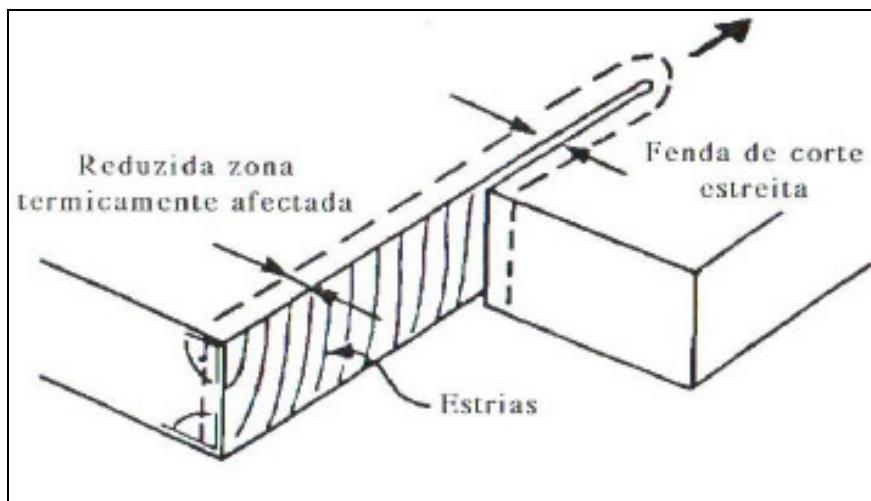


Figura 14: Aspecto esquemático de uma superfície de corte

FONTE: Silva,2008

## 2.2.7 PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CORTE

Quando se pretende efetuar um corte por laser, deve-se considerar inúmeros parâmetros, dentro dos quais se destacam: feixe laser, potência, modo de funcionamento (contínuo ou pulsado), comprimento de onda da radiação, lentes, etc. Do ajuste dos parâmetros acima referidos resultam as seguintes considerações: velocidade de corte, gás de assistência, material (características, refletividade, espessura, entre outros).

## 2.2.8 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA SUPERFÍCIE DE CORTE

Existem inúmeros fatores que assumem particular importância pela influência que exercem na qualidade das superfícies de corte, dentro dos quais é possível destacar os seguintes:

*Potência da radiação incidente:* é um fator determinante da densidade de energia introduzida no material. Assim a potência deve ser determinada de modo a que a energia introduzida seja suficiente para executar o corte, para fundir todo o material no sentido da espessura, sem contudo, fundir uma quantidade exagerada o que implica um aumento a largura de corte e da extensão da ZAC. Em geral, o aumento da potência permite cortar com velocidades maiores, mantendo a qualidade de corte inalterada, ou cortar materiais de maiores espessuras. Uma vez que a potência do feixe é associada a velocidade e a espessura do material, esta deve ser escolhida de modo a garantir um corte de boa qualidade;

*Comprimento de onda da radiação laser:* como referido anteriormente, os lasers de CO2 são os mais habitualmente utilizados no corte, tendo um comprimento de onda igual à 10,6 μm;

*Modo de funcionamento:* o corte pode ser executado em modo contínuo ou em modo pulsado, seleccionando-se o modo em função do material a cortar. O modo pulsado tem como vantagens principais permitir obter elevadas potências de pico e melhorar a qualidade de corte em peças de geometria complexas e com ângulos vivos;

*Polarização do feixe:* a absorção da luz depende da relação entre a orientação do plano da superfície e o plano de vibração dos campos elétricos e magnéticos das ondas de radiação laser. A quantidade de corte otimizada consegue-se com o feixe polarizado paralelo à direção de corte. Contudo, a maior parte das peças a cortar têm geometrias complexas, daí a necessidade de usar um feixe polarizado circular que permite ter as mesmas características de absorção independentemente da direção de corte;

*Ópticas de focalização:* habitualmente utilizam-se lentes convergentes para focalizar o feixe numa mancha de pequenas dimensões. A distância focal da lente é um parâmetro importante do componente óptico, uma vez que quanto menor for a distância focal, menor é o diâmetro do feixe no ponto focal e menor a largura de corte obtido. Tipicamente, utilizam-se lentes de distância focal igual a 2,5" para cortar materiais de espessuras inferior a 1 mm, 5" para materiais de espessura entre 1 e 15 mm e de 7,5" para espessuras inferiores;

*Modo, simetria e estabilidade do feixe:* estas são três características do feixe particularmente importantes no corte. Em corte são preferíveis laser de TEM00 que permitem ser focados em lentes até diâmetros muito pequenos no ponto focal, concentrando-se energia no centro do feixe, evitando bordas queimadas e larguras de corte grandes. Geralmente utilizam-se lasers de fluxo axial lento que permitem melhores características de feixe em termos de simetria e estabilidade;

*Posição do ponto focal:* o ponto focal deve ser mantido na superfície da peça conseguindo-se aí uma maior densidade de potência e portanto, um corte mais eficaz;

*Velocidade de corte:* é definida consoante potência do feixe e a espessura a cortar, velocidades muito elevadas tendem a produzir estrias na superfície de corte, rebarbas na parte posterior da superfície atingida pela radiação e até mesmo a impossibilidade de realizar o corte. Velocidades baixas, por outro lado, produzem um aumento da ZAC e um decréscimo na qualidade de corte;

*Gás de assistência:* desempenha múltiplas funções no processo de corte, sendo as principais às de proteger as lentes do sistema óptico, expelir o material da frente de corte, arrefecer as superfícies cortadas e aumentar a velocidade promovendo reações exotérmicas que fornecem energia adicional ao processo de corte.

## 2.3 OUTROS PROCESSOS

### 2.3.1 OXICORTE

Oxicorte é um processo de corte de metais através da reação de combustão localizada e contínua entre um jato de oxigênio puro, agindo sobre um ponto do metal previamente aquecido à sua temperatura de ignição por uma chama oxi-combustível, e o ferro contido nesses metais. Esta combustão produz óxidos de ferro que junto com uma pequena região próxima do metal não oxidado funde, sendo arrastada pela ação mecânica do jato de oxigênio de corte, a largura estreita e progressiva de metal removido promove a separação das partes e esta largura é chamada de sangria (ou kerf).

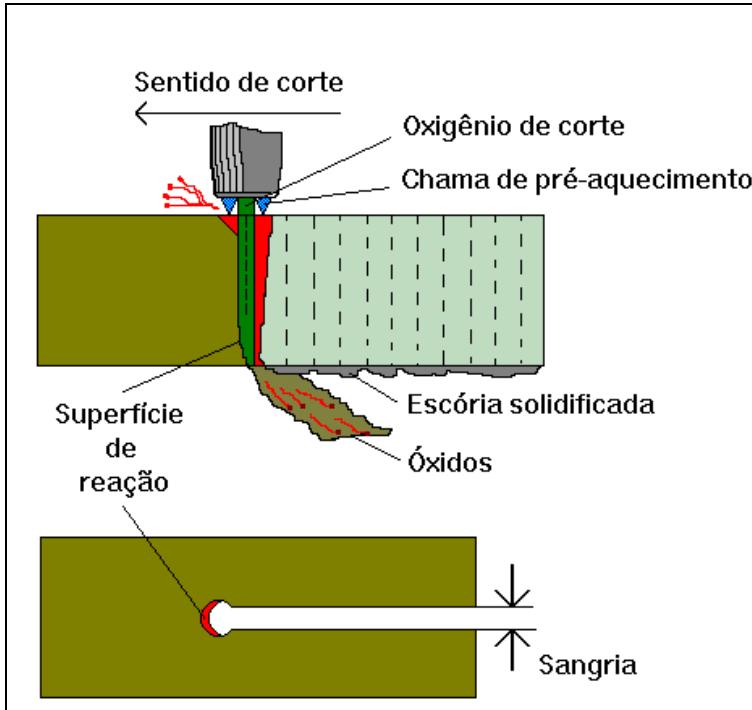


Figura 15: Processo de Oxicorte

FONTE: Notas de Aula, 2011

### 2.3.2 JATO DE ÁGUA

A energia necessária ao corte de materiais é obtida através de altíssima pressurização da água, formando um jato intenso focalizado por um pequeno orifício de diamante. Há duas etapas principais envolvidas no processo de corte a jato d'água: primeiro, a bomba de altíssima pressão ou o intensificador pressuriza a água corrente a níveis de pressão de até 60.000 psi (4.137 bar) para produzir a energia necessária ao corte. Em seguida, a água é focalizada através de um orifício de diamante para formar um intenso jato cortante, o jato se move à velocidade Mach 3, três vezes superior à velocidade do som, dependendo de como a pressão da água é exercida. O processo é aplicável a jatos somente d'água e abrasivos equipamentos automáticos – CNC, Robô a pressão da bomba do jato de água pode chegar até 120.000 PSI.

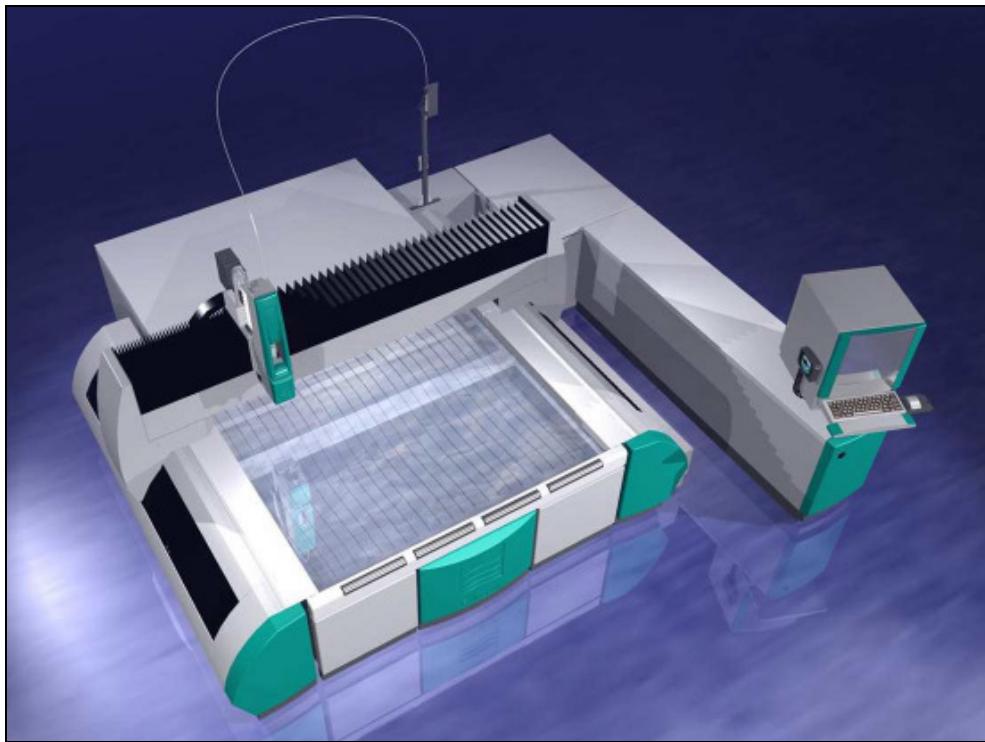


Figura 16: Maquina de Corte Jato de água

FONTE: Notas de Aula, 2011

As vantagens deste processo são:

- Corte com excelente acabamento;
- Não afeta a estrutura metalúrgica do material (ZAC);
- Pode cortar outros materiais como borracha, mármore, compósitos, etc;
- Pode cortar até 300mm de espessura.

### **3 MÉTODO – AVALIAÇÕES DO PROCESSO DE CORTE LASER E CORTE PLASMA .**

Abaixo iremos avaliar o processo adequado para a peça em estudo. Essa peça é utilizada na montagem de um trator agrícola modelo BR50 fabricante CNH, o mesmo é montado na parte debaixo da cabine de operação e é responsável por suportar a escada do operador. Essa peça tem uma demanda mensal de aproximadamente 600 por mês, hoje ele é fornecido no processo de corte a laser, mas até então não sabemos se este processo é o mais viável economicamente. Por este motivo iremos iniciar o estudo de caso. Segue abaixo figura 17 trator BR 50.



Figura 17: Trator BR 50

FONTE: O próprio autor.

Abaixo temos a figura 18 para que possamos avaliar a peça acabada. Devemos observar os diâmetros maiores e os menores para que possamos definir o melhor processo, lembrando que o estudo esta sendo feito na chapa principal que iremos detalhar a frente.



Figura 18: Item Acabado

FONTE: O próprio autor.

Na figura 19 devemos observar os diâmetros e suas tolerâncias. Um outro detalhe muito importante é a espessura do material, pois o processo de corte esta totalmente ligado a espessura.

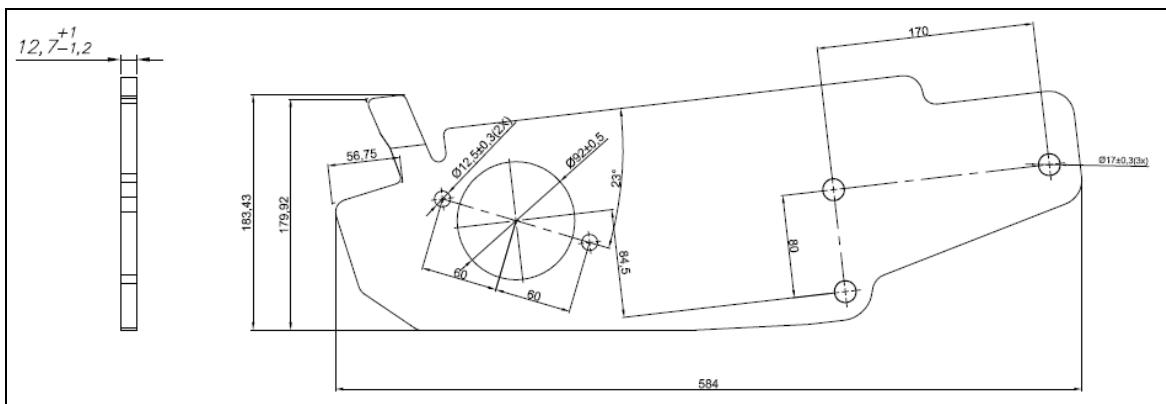


Figura 19: Desenho do Item em Estudo

FONTE: O próprio autor.

Nas figuras abaixo iremos detalhar os processos executados neste estudo de caso, lembrando que todos os processos foram executados conforme normas e especificações do fabricante do equipamento. E como podemos observar quanto mais próximo ou menor que a espessura do material for o diâmetro, maior é a dificuldade de corte, em alguns processos como por exemplo o corte plasma, não é possível de executarmos a relação de um para um como iremos observar nas figuras abaixo, mas devemos levar em consideração que sua velocidade é muito maior que a do corte a laser e por este motivo iremos comparar a eficiência de processo da peça acabada no corte a laser e plasma, mais usinagem para as furações.



Figura 20: Espessura do item Corte Plasma

FONTE: O próprio autor.



Figura 20: Variação no diâmetro do Corte Plasma

FONTE: O próprio autor.

Nesta figura 21 podemos observar a variação de diâmetro comparando com a figura 20.



Figura 21: Variação no diametro do Corte Plasma

FONTE: O próprio autor.

Abaixo podemos observar as deformações decorrentes ao processo de corte plasma.



Figura 22: Deformação no diametro do Corte Plasma

FONTE: O próprio autor.

Na figura abaixo podemos observar que a espessura do material é maior que um dos diâmetros solicitado em desenho.



Figura 23: Espessura do item Corte Laser

FONTE: O próprio autor.



Figura 24: Variação no diâmetro do Corte Laser

FONTE: O próprio autor.

Nesta figura 24 podemos observar a variação de diâmetro comparando com a figura 25 e podemos concluir que se o item for fabricado no processo de corte a laser, não é necessário outra operação posteriormente.



Figura 25: Variação no diametro do Corte Laser

FONTE: O próprio autor.



Figura 26: Item conforme desenho

FONTE: O próprio autor.

Abaixo vamos avaliar o item sem os diâmetros menores e com sobremetal no diametro maior para usinar.



Figura 27: Item sem Usinagem

FONTE: O próprio autor.

A figura abaixo é referente ao nesting do processo de corte plasma e devemos observar o tempo de corte que está em destaque, e dividirmos pela quantidade de trinta peças para que possamos obter o tempo de processo por peça.

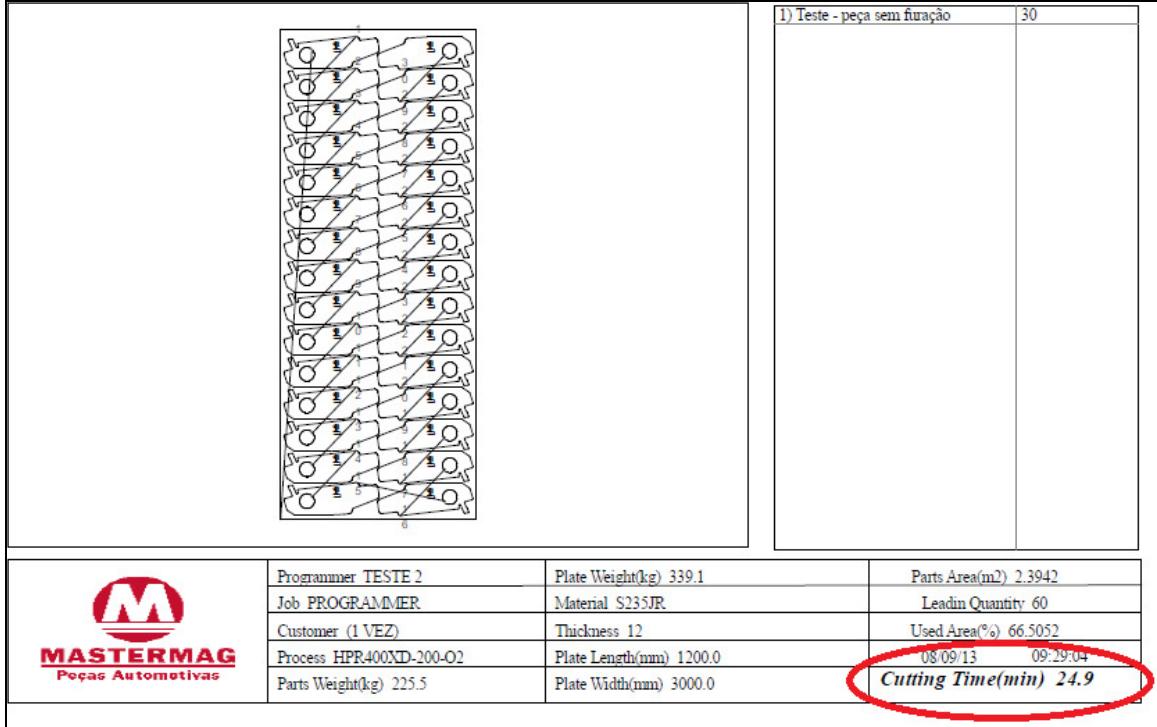


Figura 28: Nesting processo de corte plasma

FONTE: O próprio autor.

<b>INFORMACAO PECA INDIVIDUAL</b>	
NUMERO DA PECA:	1
DESENHO NUMERO:	SE40299.GEO
NUMERO DO DESENHO:	SE40299.GEO
NOME DO CLIENTE:	
NUMERO:	30
DIMENSOES:	583.999 x 198.133 mm
SUPERFICIE:	78726.21 mm <sup>2</sup>
NOME DA REGRA:	1P
NUMERO SUBPROGRAMA:	SP1Teste_1
TEMPO DE OPERACAO:	2.08 min (PierceLine: 1.93 min)
COMPRIMENTO DE CORTE:	2077.73 mm
PESO:	7.849 kg
NUMERO DE PONTOS DE PENETRACAO	7
TEMPO DE PENETRACAO	26.60 (PierceLine: 16.80) s
NOME DO FICHEIRO DE GEOMETRIA:	J:\Corte-laser\ASTM-A36\12.7\SE40299.GEO

Figura 29: Tempo do item corte laser

FONTE: O próprio autor.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

No gráfico abaixo podemos avaliar as velocidades de corte em milímetros por minuto.

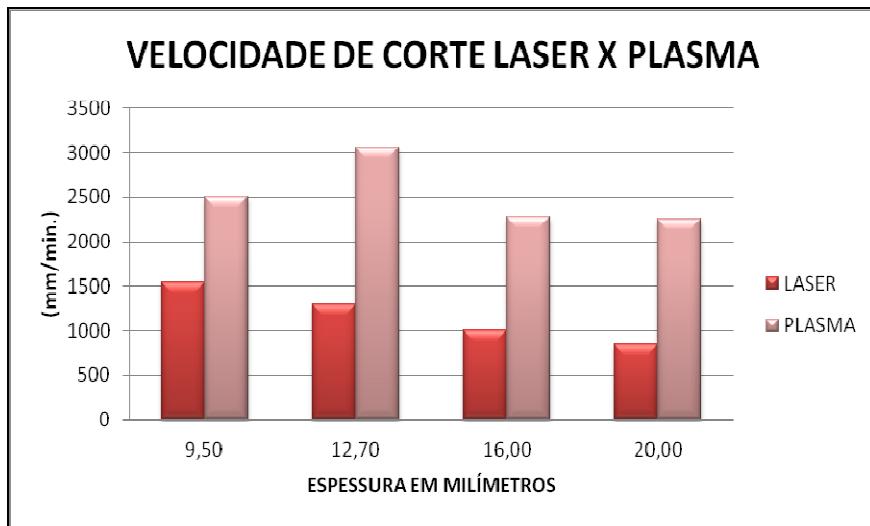


Figura 30: Velocidade de Corte

FONTE: O próprio autor.

Na figura 31 podemos verificar os tempos de processo de cada operação e conforme dados abaixo podemos observar que a velocidade de corte plasma é bem maior que a do laser, porém temos que agregar mais uma operação de usinagem para podermos garantir as tolerâncias exigidas conforme desenho.

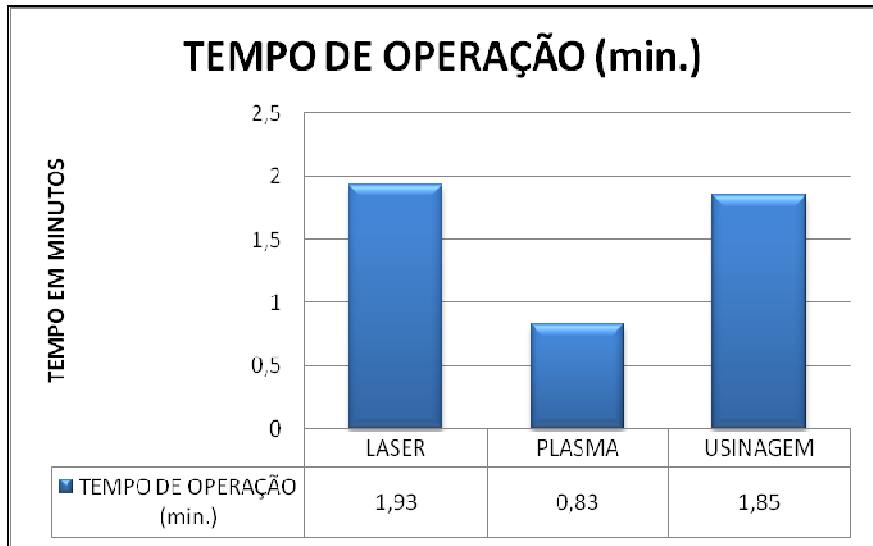


Figura 31: Tempo de Operação

FONTE: O próprio autor.

Como podemos observar na figura 32, o processo de corte a plasma com a operação adicional de usinagem é maior que o tempo do processo de corte a laser.

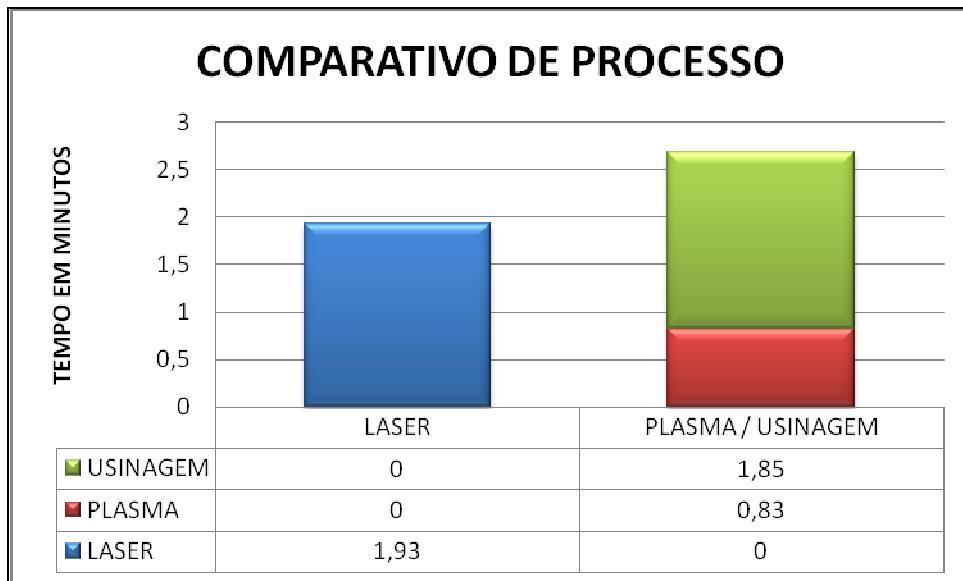


Figura 32: Comparativo de Processo

FONTE: O próprio autor.

Na figura 33 mostra o diferencial de horas para produção do lote mensal e podemos avaliar que o processo de corte a laser seria muito mais eficiente no quesito de produtividade.

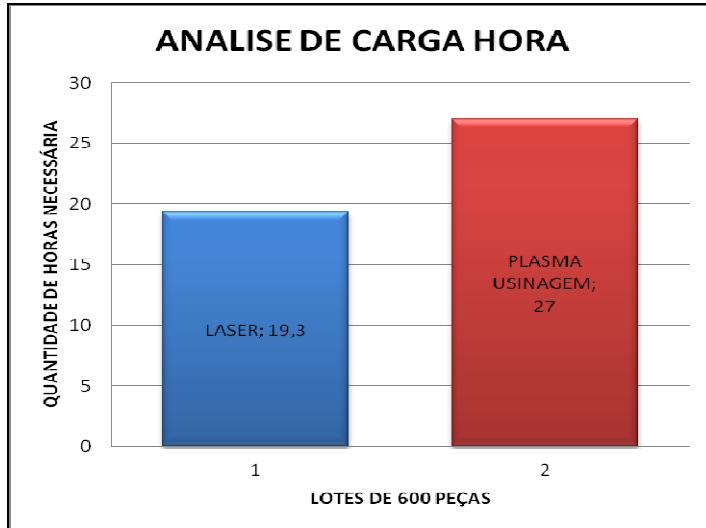


Figura 33: Analise de Carga Hora

FONTE: O próprio autor.

Conforme figura 34 abaixo, conseguimos avaliar a produção mensal de cada peça, levando em consideração 364 horas de trabalho que são referentes a dois turnos e podemos avaliar que o diferencial de produção chega a ser 27,98 por cento maior no processo de corte a laser.

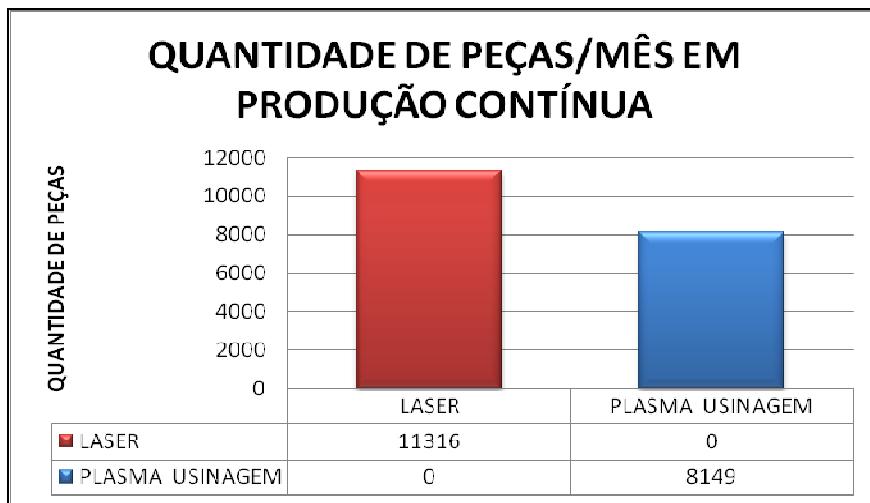


Figura 34: Analise de Carga Hora

FONTE: O próprio autor.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após avaliarmos os números acima podemos afirmar que os processos de corte em metais devem ser bem observados, pois ficou evidenciado que uma peça de 12 mm de espessura é mais viável de ser fabricada no corte a laser do que no corte plasma. Esta peça no processo de corte a plasma, teria uma variação no seu dimensional dentro das tolerâncias admissíveis no quesito comprimento e largura, mas não atenderia as tolerâncias de furação, sendo assim, teríamos que agregar uma operação no centro de usinagem e neste caso aumentaria muito o nosso tempo de movimentação da peça em nossa produção, impactando diretamente no tempo de fabricação do produto final. No gráfico acima, observamos o impacto de tempo quando agregado no processo a operação de usinagem, sendo que no mesmo só foi considerado tempo de operação de um centro de usinagem e não a movimentação do item.

Com este estudo tivemos a oportunidade de avaliarmos que o processo de corte a plasma tem a sua velocidade muito maior que do corte a laser em espessura de chapas grossas. Mas nem sempre a velocidade de processo é tudo, pois no estudo acima verificamos que este processo para furações que são muito próximas a sua espessura ou com tolerâncias apertadas, o corte plasma não é viável, e no corte a laser com as novas tecnologias de mercado podemos obter furações com até quarenta por cento menor que a espessura do material, garantindo tolerâncias bem próximas de seu nominal que atenderia o processo da peça acima. No processo de corte a laser suas velocidades são maiores que o plasma em espessuras finas e por este motivo criou-se o mito, que o processo só era viável para baixas espessuras. Outro ponto muito forte no corte a laser é a sua repetibilidade de processo e seu acabamento nas bordas cortadas, que não é necessário sofrer outras operações, como por exemplo, rebarbação, que é muito comum no processo de corte a plasma. A variação de repetibilidade no corte a plasma varia muito, devido ao seu corte depender totalmente de consumíveis e os mesmos terem sua vida útil muito curta e por este motivo muitas vezes dependem do conhecimento e atenção do operador e conforme este desgaste vai ocorrendo suas tolerâncias vão aumentando e cada vez mais sua angularidade e rebarba.

## REFERÊNCIAS

ERASMO G. LIMA. **CORTE A PLASMA.** 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: 21 out. 2012.

HYPERTHERM. **Guia de referência.** Brasil, 2002.

SILVA, Maria Ermelinda Ribeiro Da. **INSTALAÇÃO, TESTE E LANÇAMENTO EM EXPLORAÇÃO.** 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.