

## Processo de corte em máquinas laser

Aline Beatriz Bartz (FAHOR) [ab001147@fahor.com.br](mailto:ab001147@fahor.com.br)

Dinéle Izabel da Silva (FAHOR) [ds001124@fahor.com.br](mailto:ds001124@fahor.com.br)

Tatiane Wünsch de Figueredo (FAHOR) [tw000901@fahor.com.br](mailto:tw000901@fahor.com.br)

Carla Beatriz Spohr (FAHOR) [carla@fahor.com.br](mailto:carla@fahor.com.br)

### Resumo

*A necessidade de se manter no mercado competitivo, e entregar os produtos com qualidade e no prazo prometido ao cliente, formam o foco das empresas atuais; nas indústrias metal mecânica principalmente, as máquinas de corte laser estão no topo das listas de investimentos, pois agilizam o processo de entrega, e conseqüentemente aumentam a produtividade. Este artigo apresenta um estudo sobre a formação do raio laser segundo a notação científica. Com base nessas informações e necessidades, foi realizado um estudo de caso sobre a aplicação do raio laser nas indústrias em máquinas de corte a laser. A composição, formação, aplicação, vantagens e desvantagens do raio laser são alguns dos temas que serão abordados no presente artigo.*

*Palavras chave: Laser, Indústria, Corte a Laser.*

## 1. Introdução

Máquinas e equipamentos cada vez mais eficientes que atendam aos atuais níveis de exigência e qualidade estão nas listas de prioridades das indústrias, permitindo que as empresas sejam competitivas no mercado, com baixos custos de produção, ou seja, redução de itens não conformes, redução no tempo de fabricação e aumento de produtividade.

Existem vários processos mecânicos de fabricação que envolve o corte e conformação de chapas metálicas, como corte com jato de água, oxicorte, plasma e o corte a laser. Neste ultimo, é possível encontrar fortes ligações teóricas e práticas com a física (GOLLMANN, 2010).

Com base nisto, o presente artigo tem por objetivo principal apresentar e relacionar este processo, o corte a laser, com alguns conceitos físicos como: velocidade de corte, potência da formação do laser, intensidade de corte, entre outros que serão mencionados no decorrer do estudo.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1 Raio Laser

“O nome Laser é uma sigla formada pelas letras iniciais das palavras *Light amplification by stimulated emission of radiation*, que em português quer

dizer: amplificação da luz por emissão estimulada da radiação” (TELECURSO 2000).

Segundo Vasconcellos (2001) Charles Townes descobriu o Maser (radiação estimulada de comprimento de onda de 1 cm) que foi o precursor do laser.

Vasconcellos (2001) diz que Townes “pretendia produzir microondas mais curtas do que aquelas utilizadas nos radares da Segunda Guerra Mundial e teve a idéia de utilizar moléculas e a radiação estimulada (conceito introduzido por Einstein em 1917), delas proveniente”.

A autora complementa que “foi Theodore Maiman que em 1960 conseguiu fazer funcionar o primeiro laser sólido, feito a partir de um cristal de rubi, e foi Javan a produzir o primeiro laser a gás, a partir de uma mistura dos gases nobres Hélio e Neônio”.

Amoros (2008) explica o raio laser como sendo “um sistema que produz um feixe de luz concentrado, obtido por excitação dos elétrons de determinados átomos, utilizando um veículo ativo que pode ser um sólido (o rubi) ou um líquido (o dióxido de carbono sob pressão)”.

Vasconcellos (2001) ressalta que a descoberta do raio laser “foi baseada numa variedade de idéias e fatos que se originaram em diferentes ramos da física e da engenharia, mas principalmente em fenômenos da física atômica e molecular que não podem ser explicados pela física clássica”.

Bagnato (2001) cita de forma resumida as características do raio laser, dizendo que a “luz laser é monocromática, de alta intensidade, direcional e coerente”.

“O laser por definição é um dispositivo que amplifica a luz através de estimulação da radiação. Na prática, um laser é geralmente usado como uma fonte ou gerador de radiação. O gerador é construído adicionando um mecanismo de retorno em forma de espelhos para amplificar a potência da luz” (LENGYEL *apud* GONÇALES, 2007).

Segundo Leinwoll *apud* Gonçalves (2007), “Theodore Maiman utilizou um cristal de rubi em que a cor era determinada pela quantidade de cromo existente no óxido de alumínio.

O autor explica que “o rubi de maser de Maiman tinha 0,05% de cromo o que deixava o cristal levemente rosado. Maiman utilizou um cilindro de rubi rosa com um diâmetro entre 0,5 e 1 cm com um comprimento de 2 a 10 cm, com as faces limites desse cilindro paralelas e com um grande grau de precisão”.

Ele complementa que “o rubi era irradiado por um flash geralmente por alguns milissegundos com uma energia de 1000 a 2000 joules. A maioria da energia era dissipada com o calor. Uma fração dessa energia, geralmente, era emitida pelo flash em radiação de verde a azul, a qual era absorvida pelo rubi”.

“Essa energia gerava a excitação dos fótons e o rubi afunilava a energia sendo absorvida sobre uma larga faixa do espectro eletromagnético. A radiação emerge coerentemente através da superfície parcialmente reflectante do rubi” (LENGYEL *apud* GONÇALES, 2007).

Na Figura 1 está ilustrado o aparelho desenvolvido por Theodore Maiman.

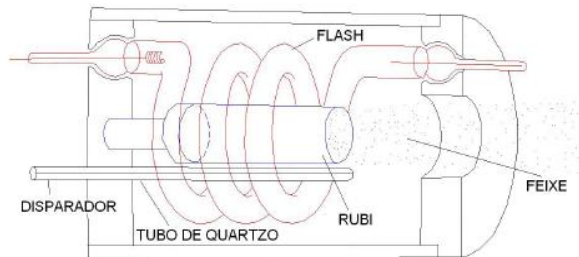


Figura 1 – Laser de Rubi.

Fonte: Adaptado de LENGYEL 1966

Caldas *apud* Gonçalves (2007) diz que “o princípio de funcionamento do laser envolve o fornecimento de energia a certos materiais adequados, provocando assim uma descarga desta energia na forma de radiação desejada”. O autor complementa que “a cor de um laser é determinada com grande exatidão pela natureza do corpo emissor e pelas características de excitação”.

## 2.2 Relações com a Física

Júnior e Pécora (1999) dizem que “a luz laser consiste em ondas que apresentam um comprimento de onda específico e que corresponde à distância entre dois máximos e dois mínimos, medida na direção em que a onda está se movimentando”.

Os autores complementam que “a frequência é a quantidade de ondas que passam por um determinado ponto durante o tempo de um segundo. As radiações eletromagnéticas são caracterizadas por sua frequência, comprimento de onda e energia. A frequência é dada pela equação  $f = c/\lambda$  onde  $f$  é a frequência,  $c$  é a velocidade da luz e  $\lambda$  é o comprimento de onda”.

Segundo Bagnato (2001) “a energia do fóton emitido está relacionada com seu comprimento de onda. Assim, quando queremos construir um laser que emita luz com determinado comprimento de onda, deveremos escolher um meio que apresente átomos com elétrons em níveis cujo espaçamento tenha justamente a energia do feixe de luz que desejamos obter”.

Bagnato (2001) ressalta que “antes de iniciar-se a ação do laser, é preciso que tenhamos a maioria dos átomos com elétrons em seus estados excitados”.

Ele complementa que “para que os elétrons saltem para seus níveis mais energéticos, é preciso fornecer energia. Esse é o trabalho de uma fonte externa de energia, que é a segunda parte principal do laser”.

O autor conclui sua explicação dizendo que “a terceira parte importante do laser é a cavidade ótica ou ressonador. Sua função é justamente a de fazer com que os fótons que emergem do sistema voltem para ele, produzindo mais e mais emissão estimulada.

Finalizando a explicação ele diz que isso é feito por meio de espelhos que são colocados nas extremidades dessa cavidade e provocam a reflexão dos fótons de volta à amostra, esse esquema pode ser visualizado na Figura 2.

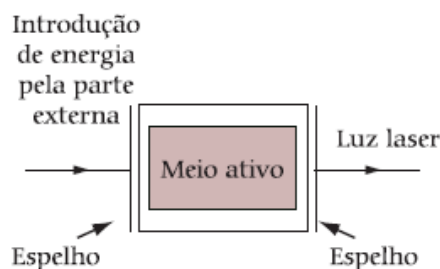


Figura 2 – Esquema simplificado das partes que constituem um laser.

Fonte: Bagnato – Os fundamentos da luz laser

Segundo Júnior e Pécora (1999) “a potência de saída do aparelho de laser é medida, normalmente, em Watts, da mesma forma que em uma lâmpada comum”. Ele complementa que a potência, é a grandeza que mede a rapidez com que um trabalho é realizado, ou a rapidez com que a energia é transformada.

Eles ressaltam que “um laser de 10 watts tem potência suficiente para furar um livro”. Segundo Brugnera-Júnior & Pinheiro *apud* Júnior e Pécora (1999) “a energia do laser é amplificada e condensada ao contrário de uma lâmpada de 10 watts, pois essa luz é difusa e espalha-se em várias direções”.

Júnior e Pécora (1999) complementam que “a densidade de potência é a concentração fotônica em dada unidade de área. A concentração fotônica é descrita em Watts e a área em centímetro quadrado.  $DP = W/cm^2$ ”.

Conhecer a pressão sobre a área aplicada, durante o processo de corte a laser, também é muito importante. Segundo o site Brasil Escola “a pressão P é a relação entre o módulo de força F e o valor da área A na qual essa força é aplicada”, conforme a fórmula a seguir:

$$P = F/A \text{ (N/m}^2\text{)}$$

### 2.3 O laser na indústria

Segundo o site Inside the Factories “atualmente pode-se verificar a aplicação do Laser em áreas completamente diversificadas, tais como: Processamento de Materiais (soldagem, corte, tratamento térmico superficial,

usinagem e gravação), Controle dimensional, Medicina, Odontologia, Entretenimento, Telecomunicações, etc”.

Isto vem ao encontro com o que o Telecurso 2000 cita que “na indústria, essa tecnologia é usada na soldagem, no tratamento térmico e no corte de metais”.

Segundo o Telecurso 2000 a demanda pela utilização do processo de corte a laser nas indústrias aumenta de maneira significativa, a fabricação de itens, de maneira rápida, correta e com ótima qualidade são necessidades primordiais para a permanência das indústrias no mercado, o processo de corte a laser, busca auxiliar as empresas, pois possibilita a fabricação de lotes de peças em poucos minutos, sem tirar a qualidade do produto final. As principais vantagens deste processo estão relacionadas à:

- Alta precisão;
- Excelente qualidade da superfície cortada;
- Níveis mínimos de deformação, emissões de fumos e ruídos;
- Mínima Zona Termicamente Afetada (ZTA);
- Alta velocidade de corte;
- Extrema versatilidade ao processar uma imensa variedade de materiais;
- Sistema automatizado que possibilita o corte de figuras geométricas complexas com 2D ou 3D.

O Telecurso 2000 complementa que em contrapartida, algumas desvantagens são apresentadas no processo:

- Alto Investimento;
- Liberação de Produtos Tóxicos;
- Formação de óxido;
- Utilização de maior espaço físico.

O autor ressalta que trabalhar com os materiais adequados é essencial para garantir a eficiência deste processo. Os mais utilizados são:

- Aços Carbono;
- Aços Galvanizados;
- Aços Inoxidáveis;
- Alumínio e suas ligas;
- Titânio;
- Plásticos e Acrílicos;
- Borrachas e Compósitos;

- Madeira;
- Papel, Couro e Tecidos;
- Vidros e Quartzos.

Segundo o Telecurso 2000, entre os aços carbono, normalmente são utilizados os que possuem percentuais de carbono mais baixos, como o 1010, 1020 até o 1045, são materiais que resistem ao calor, sem grandes danificações nas propriedades mecânicas.

Relacionados à espessura dos materiais cortados podem variar de 1 a 20 mm de espessura, dependendo do material escolhido para o corte. Chapas de aço carbono possuem poucas alterações na dureza do material; portanto são mais resistentes ao calor do corte. Enquanto que materiais como cobre e alumínio, por serem bons condutores de calor e refletirem a luz, permitem um corte em chapas de no máximo 6 mm de espessura – Figura 3 (TELECURSO 2000).

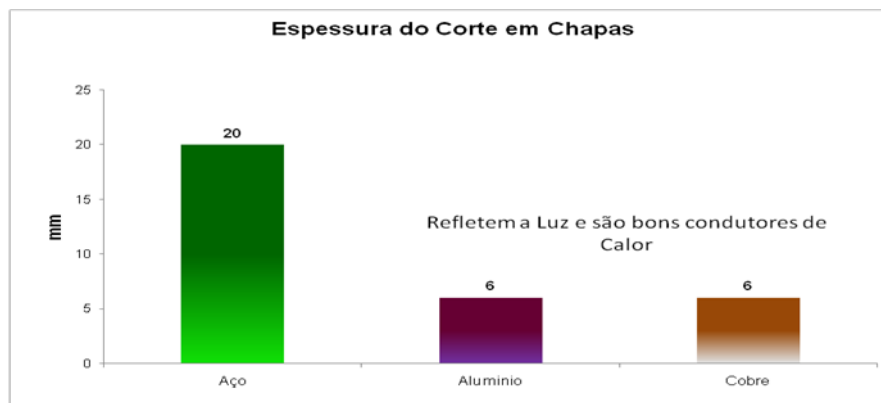


Figura 3 – Espessura dos principais materiais para corte a laser.

O Telecurso 2000 também ressalta que “o tipo mais comum de laser usado na indústria utiliza o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como veículo ativo. Outros gases, como o nitrogênio (N<sub>2</sub>) e o hélio (H), são misturados ao dióxido de carbono para aumentar a potência do laser”.

“A incidência de um feixe de laser sobre um ponto da peça é capaz de fundir e vaporizar até o material em volta desse ponto. Desse modo, é possível furar e cortar praticamente qualquer material, independentemente de sua resistência mecânica” (TELECURSO 2000).

Em outro momento o Telecurso 2000 cita que “o grande inconveniente do laser é que se trata de um processo térmico e, portanto, afeta a estrutura do material na região de corte”.

## 2.4 Processo de corte em máquinas a laser

Segundo o site Trumpf “as capacidades de corte, ou seja, as espessuras das chapas metálicas que podem ser trabalhadas dependem basicamente do tipo de material e da potência do laser a ser empregado”.

Urtado, Lima e Baino (2008) comentam que “a principal característica do corte por Laser é a pequena área de sangria (material removido), menos que 10% da sangria dos processos Oxicorte e Plasma, o que confere ao Laser uma elevada precisão, alta velocidade de corte, principalmente em espessuras finas”.

Conforme Gollmann (2010), o raio laser é um sistema que produz um feixe de luz concentrado, obtido por excitação dos elétrons de determinados átomos. No processo de corte a laser, um dispositivo chamado soprador (turbina) que gira a 900hz, faz circular CO<sub>2</sub> dentro de uma câmara, onde existem dois eletrodos ligados a uma fonte de alta-tensão.

Ele diz que esses eletrodos criam um campo elétrico que aumenta a energia do gás (CO<sub>2</sub>) dentro da câmara e em razão desse acréscimo, os elétrons dos átomos que formam o CO<sub>2</sub> se excitam e mudam de nível orbital, passando a girar em níveis mais externos.

Gollmann (2010) complementa que após algum tempo, os elétrons necessitam voltar ao seu nível energético original e nesse retorno, é preciso eliminar a energia extra adquirida. O autor ressalta que existem duas maneiras de se perder energia: por colisão e por emissão espontânea. No primeiro caso, quando o elétron se choca com outro, sua energia é consumida.

Gollmann (2010) diz que na emissão espontânea, ocorre uma liberação de energia na forma de luz. Esta luz emitida estimula a emissão contínua, de modo que a luz seja amplificada. Para o processo de corte a laser industrial, a energia é liberada em forma de luz. A imagem abaixo mostra os elétrons ganhando energia, e liberando-a em forma de fótons.

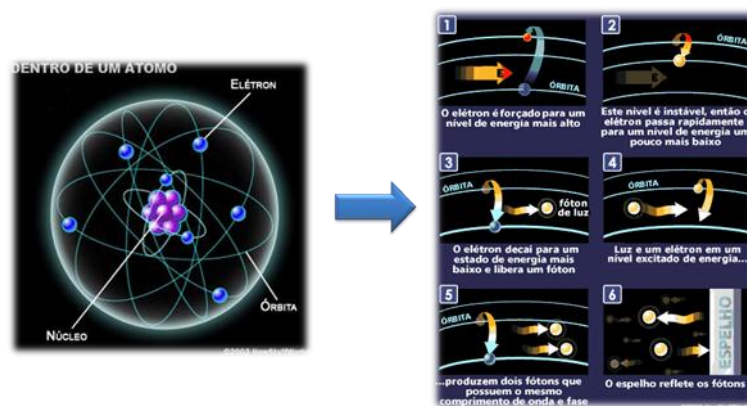


Figura 4 – Esquema apresentando o ganho e liberação de energia dos elétrons.

Fonte: Como tudo Funciona (web site).

A luz gerada pela mudança de nível energético dos elétrons é guiada e novamente amplificada por espelhos, quando chegar ao cabeçote da máquina laser, a luz é concentrada através de lentes num único ponto, chamado: foco, este direcionamento da luz laser, ocorre em um diâmetro inferior a 0,25mm (GOLMANN, 2010).

A Figura 5 mostra o caminho percorrido pelo gás na câmara, e os eletrodos ligados a ela, responsáveis por gerar o campo elétrico. O telescópio do feixe mostra a luz sendo amplificada por espelhos, na Figura 6, uma continuação do caminho percorrido pelo laser, até chegar ao foco.

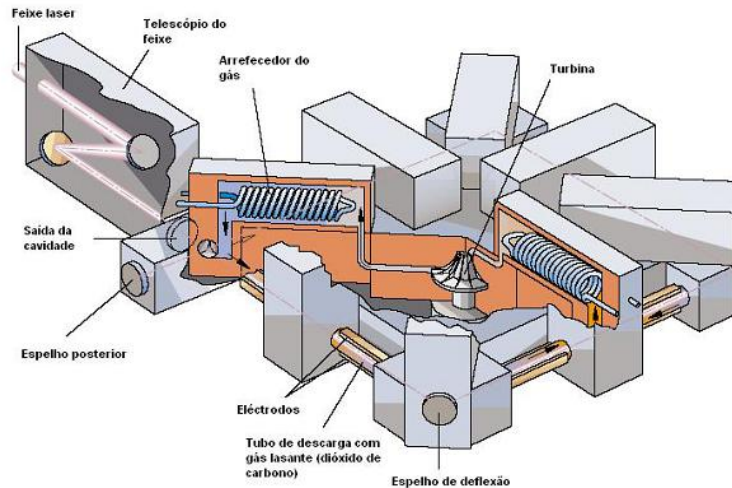


Figura 5 – Processo de formação do raio laser.

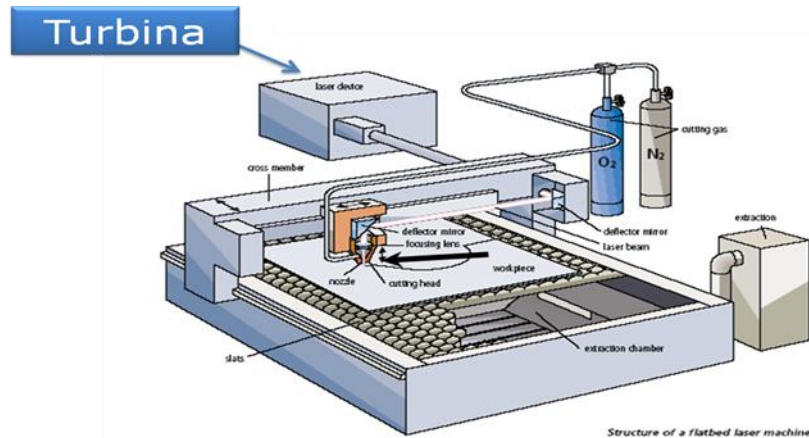


Figura 6 – Processo de formação do raio laser.

Este processo de corte combina o calor do raio focado com a mistura de gases, distribuídos em percentuais.

O laser estudado utiliza os gases: dióxido de carbono empregado na emissão do laser, o Nitrogênio que auxilia a excitação das moléculas (gás de assistência), e o Hélio na dissipação do calor gerado pelo campo elétrico. Estes gases combinados são capazes de produzir uma potência que chega a 5.000 watts por centímetro quadrado, capaz de vaporizar a maioria dos metais.

Os percentuais utilizados estão distribuídos no gráfico abaixo (Figura 7). Ao realizar a distribuição dos gases, é necessário atenção, pois a soma destes deverá ser igual a 100%.



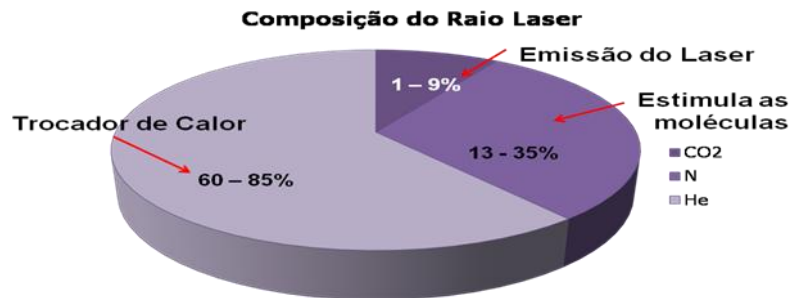


Figura 7 – Gráfico com os percentuais dos gases utilizados para o corte a laser.

### 2.4.1 Parâmetros do processo de corte

Segundo Golmann (2010) para desenvolver o processo de corte a laser, existem vários parâmetros que são alterados conforme o tipo e espessura do material utilizado. Os principais são:

- Velocidade de corte: varia principalmente em função da espessura do material a ser cortado. À medida que a espessura aumenta, a velocidade do corte diminui. Valores muito elevados de velocidade tendem a produzir estrias na superfície de corte, rebarbas na parte posterior da superfície atingida pela radiação e até mesmo impossibilidade de realizar o corte.

Velocidades baixas, por outro lado, produzem um aumento da zona termicamente afetada e um decréscimo na qualidade do corte. O gás de assistência deve ter vazão suficiente para remover o material fundido, proveniente do corte.

- Posição do foco: este parâmetro define a distância focal da lente, geralmente de 5”;

- Gás de corte: o gás de corte é responsável por expulsar o material fundido;

- Potência e intensidade do laser: a potência de uma máquina a laser, geralmente é especificada em Watts.

### 3. Métodos e Técnicas

O artigo foi desenvolvido primeiramente com a realização de pesquisas bibliográficas, sobre o tema mencionado, onde se buscou maior aprofundamento teórico sobre o assunto. Os temas pesquisados foram: raio laser, relações do raio laser com a física, o laser na indústria e o processo de corte em máquinas laser.

A segunda fase está direcionada a interpretação da aplicação e utilização do raio laser e a sua relação com a física.

A última etapa foi composta pela análise, separação e organização de dados, de forma que estes fossem apresentados de forma coerente, em vista disso, obteve-se um destaque maior no estudo de processo de corte em máquinas laser.

Essa pesquisa está classificada segundo a área científica exploratória de acordo com Gil (2002) que diz que “estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de idéias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado”.

A natureza da pesquisa é científica original que é a “pesquisa realizada pela primeira vez e contribui para a evolução da ciência” (GIL, 2002).

Neste estudo foi utilizada forma de abordagem qualitativa onde “as informações obtidas não podem ser quantificáveis e os dados obtidos são analisados indutivamente” (GIL, 2002).

#### 4. Resultados e discussões

Ao analisar alguns parâmetros de uma máquina de corte a laser, é possível verificar na prática a teoria apresentada até então. Os próximos tópicos do artigo estão relacionados a estas análises.

##### 4.1 Potência, Velocidade de corte e Espessura

Os parâmetros coletados para análise de uma máquina a laser estão na tabela abaixo (Quadro 1).

Espessura (mm)	Potência do Laser (Watt)	Potência Consumida (kW)	Velocidade		Bico Ø (mm)	Gas Corte	Gas Pres. (bar)
			max. (m/min)	min. (m/min)			
1	1.000	36,5	8,5	6	1	O <sub>2</sub>	4
1,5	1.000	36,5	7,4	5,2	1	O <sub>2</sub>	4
2	1.250	37,3	6,2	4,3	1	O <sub>2</sub>	4
2,5	1.250	37,3	5,4	3,8	1	O <sub>2</sub>	4,5
3	1.500	38,2	4,6	3,2	1	O <sub>2</sub>	4,5

Quadro 1 – Parâmetros de uma máquina de corte a laser.

Relacionado à velocidade de corte, é possível verificar que quanto maior a espessura do material, menor a velocidade de corte, inversamente a velocidade, a potência da máquina para efetuar o corte aumenta à medida que a espessura aumenta (Quadro 2).

ESPESSURA (mm)	Potência do Raio Laser (Watt)	Potência Consumida Máquina (kW)	Velocidade de Corte max. (m/min)
1	1.000	36,5	8,5
1,5	1.000	36,5	7,4
2	1.250	37,3	6,2
2,5	1.250	37,3	5,4
3	1.500	38,2	4,6

Quadro 2 – Parâmetros para análise de algumas informações de velocidade e potência em relação à espessura do material.

A variação da velocidade em função do aumento da espessura é possível verificar melhor no gráfico abaixo (Figura 8), observa-se que a linha do

gráfico (velocidade de corte do laser), tende a cair, enquanto a espessura da chapa cortada aumenta (de 1 a 6 mm).

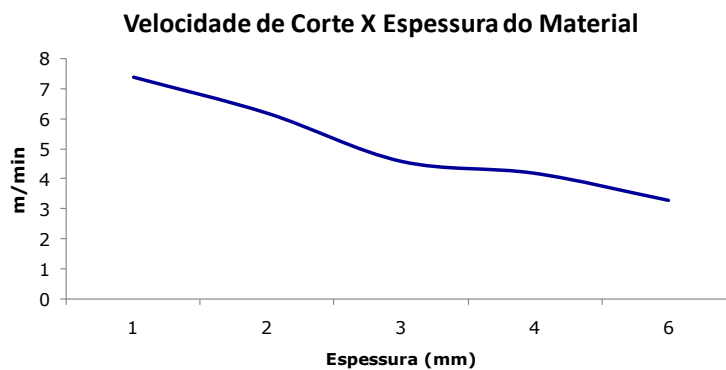


Figura 8 – Gráfico para melhor visualização da variação da velocidade em função da espessura.

## 4.2 Intensidade do Raio Laser

Utilizando as informações coletadas, é possível verificar a intensidade da potência do raio laser, na área atingida pelo mesmo. A imagem abaixo (Figura 9) apresenta os dados utilizados para desenvolvimento do cálculo, como o diâmetro do feixe de luz, não fornecido junto com os outros parâmetros da máquina, utilizou-se para fins de cálculos, o diâmetro igual a 0,2mm (valor, sugerido pelo técnico do processo de corte a laser).

$$\text{Intensidade do Laser} = \frac{\text{Potência do Feixe}}{\text{Área Irradiada}}$$

$$\text{Intensidade do Laser} = \frac{1000 \text{ W}}{0,03 \text{ mm}} = 35.000 \text{ W/mm}^2$$

*Obs.:* para fins de cálculo utilizamos o Diâmetro do Feixe = 0,2mm

Potência do Laser (Watt)	
1.000	1.000
1.250	1.250
1.500	1.500

Figura 9 – Desenvolvimento do cálculo de intensidade da potência à área irradiada.

Analisando o cálculo, verifica-se que quanto maior a área irradiada, menor a intensidade do raio laser. Para o desenvolvimento deste cálculo o conhecimento do diâmetro do feixe de luz final, é de extrema importância, quanto menor o diâmetro, mais concentrado será o feixe, e, portanto maior a intensidade na área irradiada.

## 5. Conclusões

Com este artigo pode-se obter um maior conhecimento sobre o raio laser, seu surgimento e suas aplicações, deste modo, permitindo a visualização da importância deste fenômeno físico nos processos industriais, principalmente a precisão e agilidade que a utilização do raio laser proporciona.

Portanto, foi de grande valia o estudo e elaboração deste artigo, pois possibilitou maior aprofundamento e entendimento de como é o funcionamento

de máquinas de corte a laser, proporcionando maior interesse e conseqüente aprendizado sobre o assunto em questão.

Finalmente, é importante salientar que os benefícios do raio laser estão cada vez mais presentes no dia-a-dia, e esta tecnologia têm facilitado muitos processos, tanto industriais como em diversas áreas, dessa forma, estudos relacionados com o laser estão sendo desenvolvidos cada vez mais para a melhoria contínua dos produtos que chegam ao cliente final.

## 6. Referências

AMOROS, Roberto Torres. **Avaliação de Tensões Residuais em Chapas Planas de aço carbono, destinadas a processos de corte a laser, pelo método da anisotropia planar.** Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.lactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/RobertoAmoros.pdf>> Acesso em: 25 set. 2011.

BAGNATO, Vanderlei S. **Os fundamentos da luz laser.** São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num2/a02.pdf>> Acesso em: 03 jul. 2011.

BRASIL ESCOLA. **Pressão e Pressão atmosférica.** Web site. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/fisica/pressao-pressao-atmosferica.htm>> Acesso em: 25 set. 2011.

INSIDE THE FACTORIES. **Corte a laser.** Disponível em: <<http://insidethefactories.blogspot.com/2010/12/corte-laser.html>> Acesso em: 25 jun. 2011.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002. cap. 4, p.41-56.

GONÇALES, Rodrigo. **Dispositivo de varredura laser 3D e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis.** São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/dis.../MESTRADORodrigoGoncales.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2011.

GOLLMANN, Paulo Fernando. **Aplicação do processo de corte a laser com ênfase no fornecimento de peças livres de óxidos.** Horizontina, 2010. Trabalho de Conclusão de Curso- FAHOR.

JÚNIOR, Aldo Brugnera e PÉCORA, Jesus Djalma. **Noções elementares sobre a física dos lasers.** São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.forp.usp.br/restauradora/laser/fisica.html>> Acesso em: 01 jul. 2011.

TELECURSO 2000. **Corte com laser.** Aula 62.

TRUMPF. **Corte, uma das principais aplicações do laser no setor metal-mecânico.** Disponível em: <[http://www.br.trumpf.com/101\\_news28509.html](http://www.br.trumpf.com/101_news28509.html)> Acesso em: 02 jul.2011.

URTADO, Edson; LIMA, Erasmo e BAINO, Fernando. **Comparativo entre a produtividade e custo operacional dos processos térmicos oxicorte, plasma e laser, para cortar o material aço carbono entre as espessuras de 6 a 25 mm.** São Paulo, 2008. Disponível em: <[www.infosolda.com.br/new\\_site/getFile.php?t=d&i=24](http://www.infosolda.com.br/new_site/getFile.php?t=d&i=24)> Acesso em: 03 jul. 2011.

VASCONCELLOS, Elza. **O laser.** São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/fisica/fisica13.htm>> Acesso em: 02 jul. 2011.