



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA MELHORIA DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE MATERIA PRIMA DE UMA MÁQUINA DE CORTE A LASER UTILIZADA NO SETOR AUTOMOTIVO

Fábio Aguilar da Silva, fabioag@oi.com.br¹

Douglas Matias Araújo Alvarenga, douglas.alvarenga@hotmail.com¹

Marcell Filho da Silva Ferreira, eng.marcellferreira@gmail.com¹

Paulo Roberto Cetlin, pcetlin@demec.ufmg.br¹

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antonio Carlos 6627, Campus da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 31270-901

Resumo: Para atender ao crescimento da produção de automóveis ocorrida ao longo dos anos fez-se necessário não somente maior agilidade nas linhas de montagem, mas também a atualização constante de tecnologia nos setores que suportam a produção. Os setores responsáveis pela manutenção, instalação e modificação industrial das linhas de produção investem cada vez mais em tecnologias mais modernas. Dentre essas tecnologias está a utilização do corte a laser para chapas que além da alta produtividade possibilitam a obtenção de peças com bom acabamento e repetibilidade. Esta máquina, embora apresentasse grande produtividade no processo de corte em si, perdia competitividade produtiva e causava desperdícios de material e de tempo devido ao seu sistema de alimentação de matéria prima, separação de produto final e sucata e manutenibilidade em geral. Foram estudadas as variáveis e características do processo de corte a laser, sistemas e subsistemas da máquina através da literatura e pesquisa de campo com operadores, mantenedores e stakeholders para entendimento das reais necessidades e limites de operação. Foi desenvolvida uma metodologia para a melhoria da máquina de corte laser procurando tornar sistêmica a alimentação de matéria prima obtendo uma máquina mais sustentável com a redução de desperdícios de matéria prima, além da redução de tempo de máquina parada (setup) sem aumento exacerbado dos insumos energéticos. Procurou-se avaliar os impactos das alterações e analisar os riscos com o objetivo de garantir a segurança operacional de acordo com a legislação estabelecida pela norma regulamentadora NR-12. O artigo avalia a percepção de atendimento a necessidade do novo sistema de alimentação e obteve elevação de aproximadamente 100% em relação a situação original da máquina e 7% em relação ao melhor modelo apresentado no mercado entre os fabricantes de produtos equivalentes.

Palavras-chave: Sistema de Alimentação de Matéria Prima, Máquina de Corte a Laser, Setor Automotivo

1. INTRODUÇÃO

O processamento de corte a laser envolve vários sistemas e por consequência outros componentes que não somente os envolvidos diretamente na geração do laser. O sistema de geração do laser não pode por si mesmo garantir o sucesso da aplicação no processo de corte. Um sistema completo de uma máquina de corte a laser é composto por fonte de energia, sistema de gestão de gás, sistema de condução do laser até o ponto de utilização, sistema ótico para focalização, sistema de gás secundário, aparelho de monitoramento da potência, equipamento para movimentação da coluna de laser com sistema de monitoramento e garantia do posicionamento, sistema de segurança, equipamento de monitoração do laser no ponto de trabalho, sistemas programáveis para posicionamento automático da peça a ser trabalhada e controle programável para guiar o laser. Para funcionamento perfeito da aplicação, todas as partes do sistema devem ser desenvolvidas e escolhidas cuidadosamente (Ready, 1997).

Dentro deste conceito, serão analisados nesse artigo os efeitos dos processos laterais (não necessariamente ligados ao processo de fabricação, transporte e interação do laser com a matéria prima) que podem dificultar a competitividade satisfatória da máquina, embora a mesma apresente grande produtividade no processo de corte em si.

2. CORTE A LASER

2.1. História do Laser

Os primeiros estudos que embasam a fundamentação teórica sobre laser, sigla em inglês para as iniciais de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Amplificação de Luz por Radiação Estimulada), foram postulados por Einstein (Faro, 2006; Silva, 2008), que por volta de 1917 propôs, no estudo da teoria de fótons, a existência do fenômeno físico de emissão de radiação estimulada amplificada.

Nos anos 1940 e 1950, foram desenvolvidas teorias de grande importância para o surgimento do laser. Em 1940, uma das condições requeridas para amplificar a radiação por emissão estimulada, a teoria da inversão de população, foi descrita pelo russo Valentin A. Fabrikant (Ion, 2005). No início dos anos 1950 o precursor direto do Laser, o *Maser*, acrônimo em inglês para *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, foi inicialmente anunciado por Charles H. Townes (Ion, 2005).

No início da década de 1960, Maiman demonstrou operacionalmente o primeiro laser (Allen, 1969). De seus estudos resultou a emissão estimulada em rubi através de excitação pulsada. A “tecnologia” laser começou a ser aplicada para cortes no final da década de 1970 utilizada principalmente para corte de chapas de metal (Liu, 1989).

2.2. Geração do Laser CO₂

O CO₂ é uma molécula tri-atômica linear com eixo de simetria ao longo dos núcleos e plano de simetria perpendicular ao eixo de simetria (Injejan, 2011) e possui três principais modos de vibração (Injejan *et al.*, 2011; Dahore *et al.*, 2008), a saber: deslocamento simétrico dos átomos, criação de momento dipolo através de dobramento da molécula e deslocamento assimétrico dos átomos (Injejan *et al.*, 2011; Dahore *et al.*, 2008).

A mistura convencional de gases para obtenção do laser é 6% de CO₂, 10 % de He e 84 % de N₂. O N₂ tem três características especiais que o tornam muito importante. Primeiramente ele é facilmente excitado por energia elétrica, muito mais que o próprio CO₂, segundo, o N₂ tem características de manter mais a energia, decaindo de nível principalmente com a colisão com outras moléculas e terceiro, a energia armazenada pelo N₂ pode ser facilmente transferida através de ressonância da vibração do N₂ e o modo de vibração de deslocamento assimétrico dos núcleos do CO₂ (Injejan *et al.*, 2011). O hélio é adicionado para elevação da potência de saída (Dahore *et al.*, 2008) além do aumento da remoção de calor, estabilização da descarga do laser pela retirada de heterogeneidades (Injejan *et al.*, 2011) e pela manutenção da inversão de população (Faro, 2006).

A Figura 1 apresenta o fluxo simplificado de emissão de laser CO₂. A corrente elétrica energiza o nitrogênio que através de ressonância com o modo de vibração assimétrico transfere energia para o CO₂. Esse modo de vibração é o nível energético mais alto do CO₂ e no decaimento deste para outro nível de energia ocorre a liberação do laser, caso decaia para o nível de energia do modo vibracional simétrico, libera-se laser a 10,6 µm, caso decaia para o dobramento o laser terá 9,6 µm. Porém, a radiação laser a 10,6 µm é a mais forte (Dahore *et al.*, 2008) sendo considerado então, o comprimento de onda característico do laser CO₂. Esse comprimento de onda está localizado no infravermelho do espectro, ou seja, não é visível a olho humano.

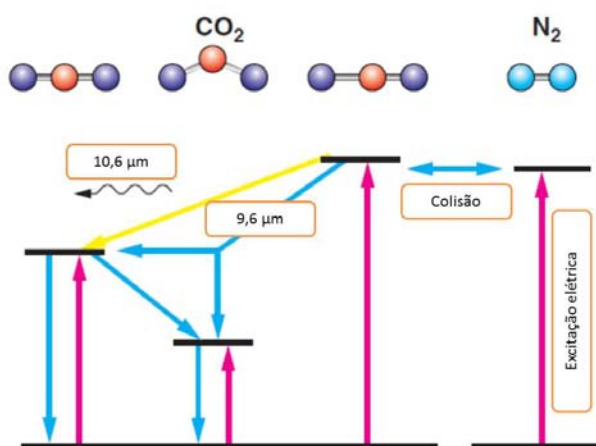


Figura 1. Fluxo simplificado de emissão de Laser CO₂ (Injejan, 2011; Dahore, 2008)

2.3. Mecanismo de Corte a Laser

Em relação a outras fontes de calor para corte de materiais, o laser se destaca pelo corte com alta eficiência, observar que a largura do corte é muito menor em comparação com o processo de oxicorte por exemplo. Além disso, o corte é feito em alta velocidade e alta qualidade que pode inclusive pode propiciar um corte em processo único em grande variedade de materiais, metálico ou não, e de formas complexas as mais variadas (Liu, 1989).

O processo utilizado para o corte a laser pode variar de acordo com as características dos materiais. Para materiais com baixa condutividade, exemplo do tecido, utiliza-se a vaporização direta pela energia do laser, em materiais com alta condutividade e características não reativas, exemplo do aço inox, o material se liquefaz com utilização do laser e expulsa a poça de material liquefeito com utilização de jato de gás secundário. Materiais reativos de alta condutividade utilizam o laser para aquecer o material e iniciar a reação exotérmica com gás oxidante. O processo de corte a laser em chapas de aço é caracterizado, similarmente ao oxicorte, por 2 mecanismos principais, primeiramente a fonte de calor que liquefaz o material a ser cortado e posteriormente removido, principalmente pelo jato de gás auxiliar (Flemming, 1989). As principais propriedades dos materiais analisadas para o processo de corte a laser são difusividade térmica, calor latente de vaporização e a refletividade da superfície (Ready, 1997).

Na figura 2 é apresentado o esquema simplificado do bocal de corte. O laser é representado pelas duas linhas pretas centrais focalizadas pela lente na peça, visando concentração de energia. O gás auxiliar é expelido sobre pressão pelo bocal para expulsão do aço liquefeito.

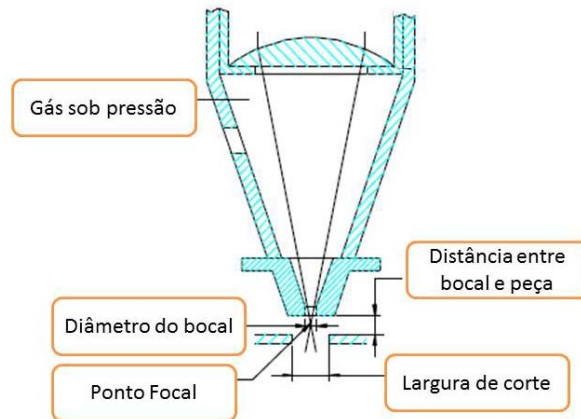


Figura 2. Esquema simplificado de bocal de corte a laser (adaptado de Liu, 1989)

3. ANÁLISE DA MÁQUINA DE CORTE A LASER

Para a análise proposta considerou-se uma máquina de corte a laser do setor automotivo que utiliza o laser CO₂ para corte com potência de 5000 Watts. A espessura de corte se estende de 0.5 a 25 mm. As Figuras 3 e 4 indicam que a estrutura da máquina pode ser dividida em seis grupos funcionais.



Figura 3. Visão típica de uma máquina de corte a laser com indicação dos grupos funcionais.

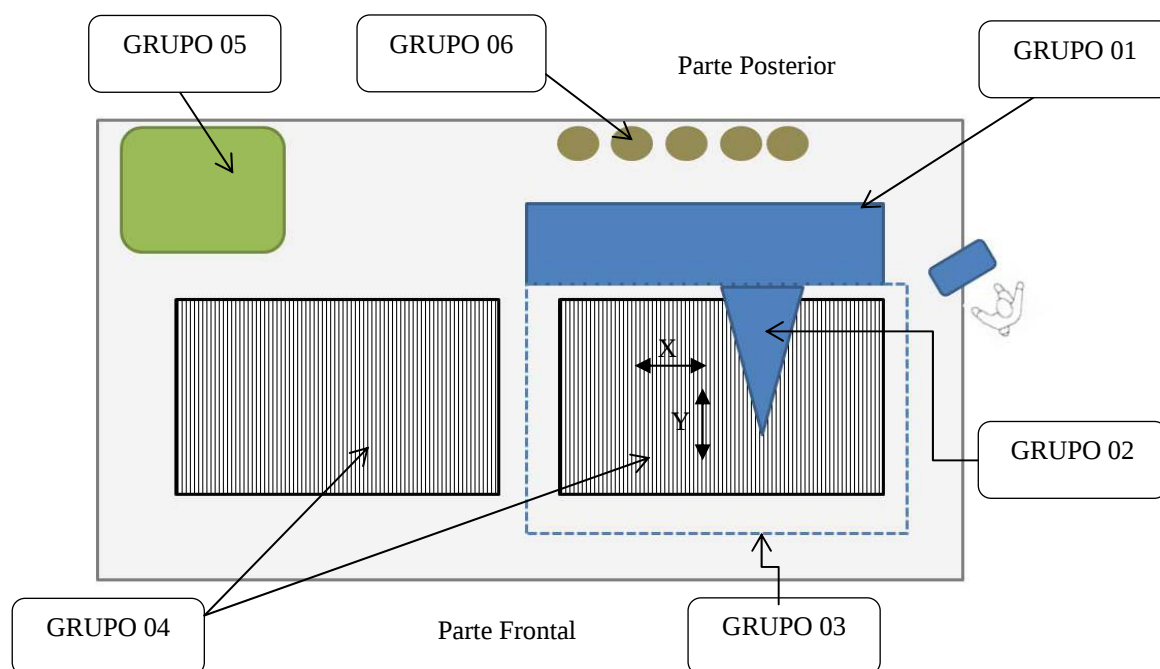


Figura 4. Layout típico de uma máquina de corte a laser com indicação dos grupos funcionais.

3.1. Grupo 01 Estrutura de Base

Trata-se de uma estrutura rígida fixada ao chão cuja principal função é a sustentação. Na parte frontal da máquina sustenta tanto o peso próprio da estrutura móvel para posicionamento coordenado, quanto o sistema que permite movimentação em x. Na parte posterior a estrutura sustenta o gerador de laser e o sistema de reflexão do laser contendo tubos, espelhos e água de resfriamento do espelho.

3.2. Grupo 02 Carro para Posicionamento Coordenado do Ponto de Corte

Trata-se da estrutura móvel suspensa, sustentada pela estrutura rígida do grupo 01, responsável pelo posicionamento coordenado em x, y e z do corte. O posicionamento em x e y é controlado por CNC e diz respeito a movimentação do ponto de corte na figura geométrica desejada pelo operador e controlada pelo desenho de corte de entrada. O modo de controle da movimentação é feito através de dois carros, o maior, em alumínio fundido controla a movimentação em x ligado diretamente à estrutura rígida do grupo 01. Ele se movimenta acionado por motor elétrico através de polia e correia dentada. O segundo carro que controla o movimento em y é bem menor que o primeiro. Este se movimenta sobre o carro de alumínio, através de guias e patins. A movimentação em z diz respeito ao controle automático da máquina sobre posicionamento para corte e acontece somente com a cabeça de corte através de guias.

3.3. Grupo 03 Cabine de Proteção Contra Emissões e Acesso a Área de Corte

A principal função da cabine é proteger o operador contra projeções (laser e fragmentos) e impedir acesso a área de corte quando a máquina está em operação. Para tal, a cabine de proteção possui um sistema móvel de 2 portas de correr posicionadas entre si ao ângulo de 90°. O intertravamento de segurança das portas permite que o acesso a mesa de corte seja impedido quando a máquina está em operação e liberado quando não há funcionamento da máquina. As portas são equipadas com janelas para visualização da área de corte nas quais são empregadas o material metacrilato (*plexiglass*), que protege contra radiações laser diretas ou difusas.

3.4. Grupo 04 Pallet de Sustentação da Chapa com Sistema de Troca Automática

O pallet é responsável pela sustentação da chapa que será cortada, a mesma é posta externamente a proteção, normalmente com empilhadeira, e levada ao interior pela movimentação da mesa pelo sistema de troca de pallet. A troca de pallet ocorre com a elevação do pallet externo a proteção através de um sistema de elevação tipo tesoura, após este ser elevado, o pallet que está posicionado internamente a proteção é transladado através de um sistema de módulo linear. Quando o mesmo já está posicionado sob o pallet externo, o conjunto dos dois pallets desce, utilizando o mesmo sistema de tesoura e o pallet externo é então movimentado para a posição de corte, interno a proteção.

3.5. Grupo 05 Exaustor e Purificador de Ar

A sucção do exaustor é instalada abaixo do pallet de sustentação da chapa no interior da cabine de proteção, após a exaustão, o ar passa por filtros instalados na lateral esquerda da máquina para então ser devolvido ao ambiente.

3.6. Grupo 06 Sistema de Armazenamento de Gases

O sistema de armazenamento dos gases é basicamente um conjunto de cilindros ligados a uma central de mistura na máquina. Os gases armazenados são o CO₂, He, e N₂ para fabricação do laser, e o N₂ e O₂ como gases auxiliares do corte.

A Tabela 1 indica as principais características técnicas da máquina de corte a laser indicadas na descrição dos seis grupos.

Tabela 1. Principais características técnicas da máquina de corte a laser

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Potência do laser	5000 Watts
Alcance do carro de corte	X = 3065 mm, Y = 1539 mm, Z= 150 mm
Precisão	0.03 mm
Repetibilidade	0.03 mm
Velocidade máxima	100 m/min
Espessura de corte aço carbono	Até 16 mm
Espessura de corte aço inox	Até 8 mm
Peso máximo	3000 Kgf
Alimentação elétrica	440 V x 56 A

4. METODOLOGIA

Visando o desenvolvimento da metodologia para melhoria da máquina de corte a laser, foi elaborada uma pesquisa guiada, direcionada aos mantenedores e operadores, contendo perguntas focadas em três critérios principais: encontrar pontos de possível melhoria do equipamento, definir prioridades entre as melhorias necessárias e definição dos critérios a serem seguidos para o desenvolvimento do projeto.

Além disso, foram pesquisados fabricantes de máquinas de corte a laser, para analisar o que está sendo disponibilizado de mais moderno no mercado e também foi realizada pesquisa nos possíveis fornecedores de serviço de corte a laser na região para verificar a realidade da instalação e *benchmarking* sobre possíveis melhorias que possam ter sido realizadas em máquinas compradas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Tratamento de dados

De acordo com as entrevistas foram identificados 20 pontos de possíveis intervenções, classificadas para melhor análise em dois critérios: primeiro quanto a situação da intervenção, subdividido em Melhoria para Manutenção e Aumento de Produtividade ou Erro Recorrente.

O segundo critério foi desenvolvido para classificação a qual parte da máquina diz respeito, a saber: Geração ou transporte do laser, referente a toda a parte de geração do laser até a disposição do laser ao corte, Movimento do bocal para o corte, referente a movimentação do carro de corte e todas suas implicações, Alimentação da matéria prima, referente a todo o sistema de mesas e movimentação das mesas e Procedimentos referente a tratativas de processo. A Figura 5 indica a distribuição das 20 possíveis intervenções de acordo com os critérios estabelecidos.

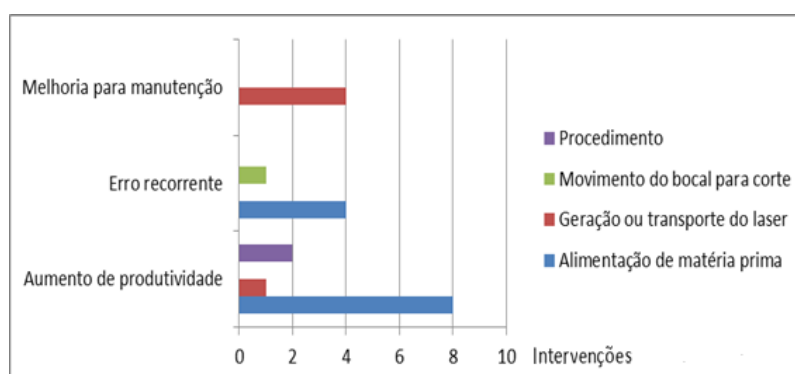


Figura 5. Distribuição das 20 possíveis intervenções de acordo com os critérios estabelecidos.

5.2. Resultado das Análises

Observando a Fig. 5 foram identificadas 08 oportunidades de intervenções visando a melhoria na alimentação da matéria prima para aumento de produtividade e 04 oportunidades de intervenção para correção de erro recorrente. Devido a estes resultados, decidiu-se partir para o desenvolvimento de um novo sistema de alimentação da peça, que pudesse prover essa melhoria de produtividade esperada e sanar os erros recorrentes encontrados na máquina.

5.3. Opções Encontradas no Mercado

Em pesquisa realizada junto aos fabricantes de máquina corte a laser e/ou sistemas automatizados para alimentação de matéria prima percebeu-se que todas as automatizações, de uma forma ou de outra, eram resolvidas com alguma troca de uma mesa para outra mesa resultando, necessariamente, em processo não contínuo. Essa opção dos fabricantes é explicável principalmente pela interferência com proteção de segurança no momento da retirada do produto final.

Esse modelo de retirada de peça cortada/sucata atende aos critérios de projeto da máquina, porém na média não resolvem as possibilidades de melhorias indicadas, haja vista que o sistema com troca de mesas é basicamente o mesmo sistema adotado na máquina de corte a laser em análise.

A alimentação contínua foi observada principalmente para o corte de materiais que normalmente são flexíveis ou quando a matéria prima é disposta em rolos como tecidos, papéis e adesivos, ou mesmo em cortes de aço alimentados por bobinas e corte em produção seriada. A movimentação se dá normalmente por roletes ou esteiras.

A melhor opção encontrada no mercado para automatização de máquinas alimentadas com chapas tem análise apresentada no gráfico da Fig. 6 de acordo com os requisitos de Erro recorrente e Aumento de produtividade já apresentados e também o Critério de projeto que ainda não havia sido apresentado e que trata das condições para funcionalidade ou fator diferencial para desenvolvimento do projeto.

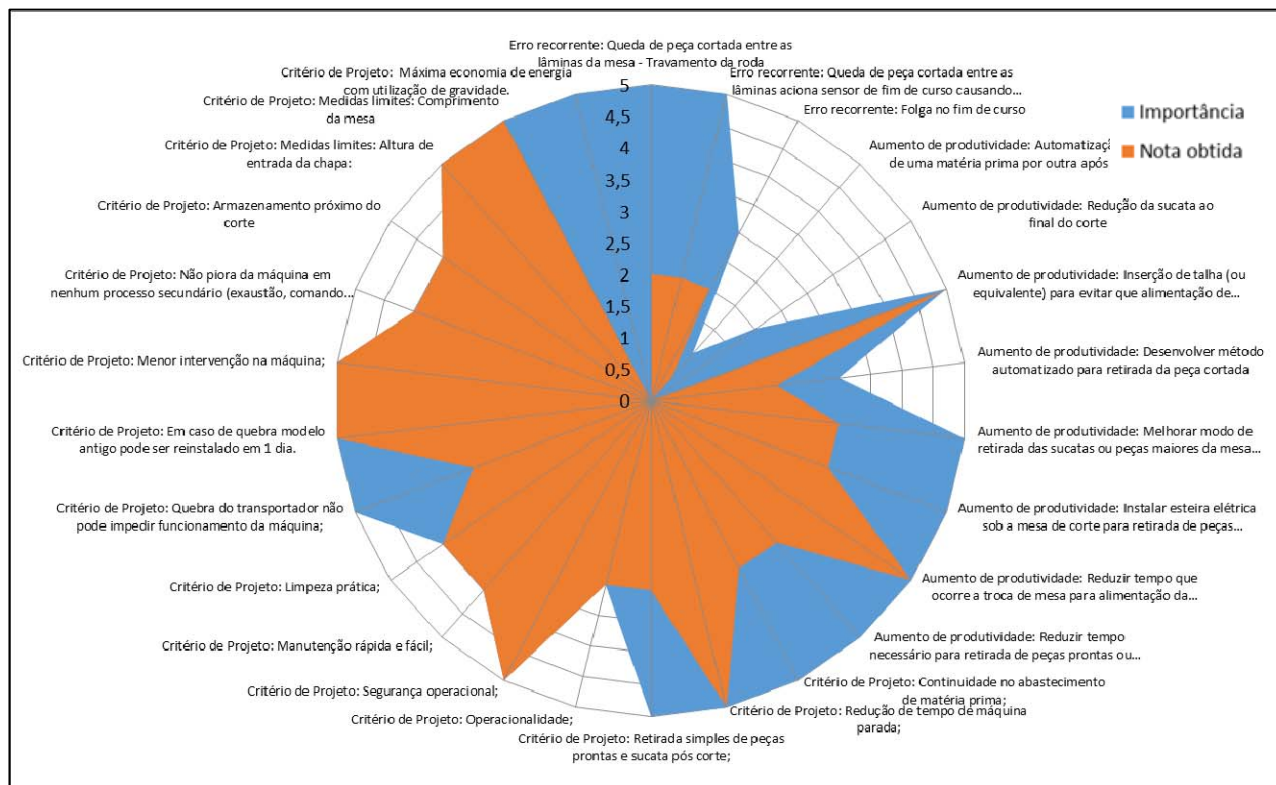


Figura 6. Classificação do melhor sistema de alimentação de matéria prima conforme os critérios estabelecidos.

5.4. Fornecedores de Serviços de Corte na Região

Para realização do *benchmarking* de fornecedores de corte a laser em chapas de aço, não foram verificadas empresas que tem máquina a laser para uso em processo interno, somente empresas que vendem o serviço de corte a laser.

Foram analisadas 06 empresas, algumas com mais de uma unidade de corte a laser. Dentre as 06 empresas verificadas, 02 apresentaram o mesmo sistema utilizado na máquina tratada. Destas, uma se destacou por ter uma bancada de alimentação posicionada próximo a mesa externa, onde o transporte da chapa da bancada para o pallet é feito via talha/pinça. Dentre as demais, 03 máquinas têm alimentação direta de empilhadeira sobre o pallet de corte do material e 01 possui um giratório com pinça para transporte da chapa para o processo de corte.

5.5. Concepção do Projeto Mecânico

Considerando a concepção utilizada em transportadores automatizados comerciais encontrados no mercado e realizando algumas melhorias para melhor atendimento das intervenções já discutidas anteriormente, optou-se pela seguinte solução conceitual para melhorar o sistema de alimentação da máquina a laser.

Será utilizada uma torre para armazenamento de chapas, de acordo com a espessura variando de 1 a 10 mm, que são medidas comumente utilizadas na indústria automotiva. O abastecimento dessas chapas na torre seria feito via empilhadeira ou talha e a retirada seria feita com empilhadeira manual ou garfo com sucção a vácuo.

A alteração principal do transportador comercial seria a troca da mesa motorizada para transporte da coluna de armazenagem de chapa já existente. Este caso a chapa na mesa de corte externa que é posicionada para corte via troca de mesas. Ao invés desse sistema, seria utilizado um sistema de movimentação com roletes até a mesa externa e o posicionamento da chapa no ponto de corte seria feito por batente instalado em guia linear posicionando a chapa diretamente no local de corte.

Além disso, seria instalado a um transportador de tela metálica com ressalto sob a mesa de corte para movimentar peças pequenas que eventualmente caíam sob a mesa. As peças serão movimentadas para um ponto externo à máquina e então retiradas pelo operador sem que a máquina seja paralisada. As gavetas que normalmente recolhiam as peças, passam a ser utilizadas somente para limpeza de poeiras e particulados pequenos do processo de corte com frequência bem inferior a anterior, diminuindo o tempo da máquina parada.

5.6. Discussão sobre a Melhoria do Projeto Mecânico

Similarmente a análise elaborada no item 5.3, a Figura 7 indica a classificação do sistema de alimentação original e a Fig. 8 indica a classificação do sistema de alimentação sugerido de acordo com critérios apresentados.

Somando-se os valores estipulados para cada critério, indicados em "*nota obtida*" e analisando percentualmente em relação à soma dos valores considerados ideais, apresentados em "*importância*", observa-se aumento de aproximadamente 100 % da percepção de atendimento a necessidade. Esta situação também pode ser observada, de forma aproximada, através do aumento da área alaranjada, em relação à azul constante na Fig. 8 em relação a Fig. 7. Em análise semelhante, observa-se aumento em 7 % da percepção de atendimento a necessidade em relação ao melhor modelo apresentado no mercado entre os fabricantes de produtos equivalentes.

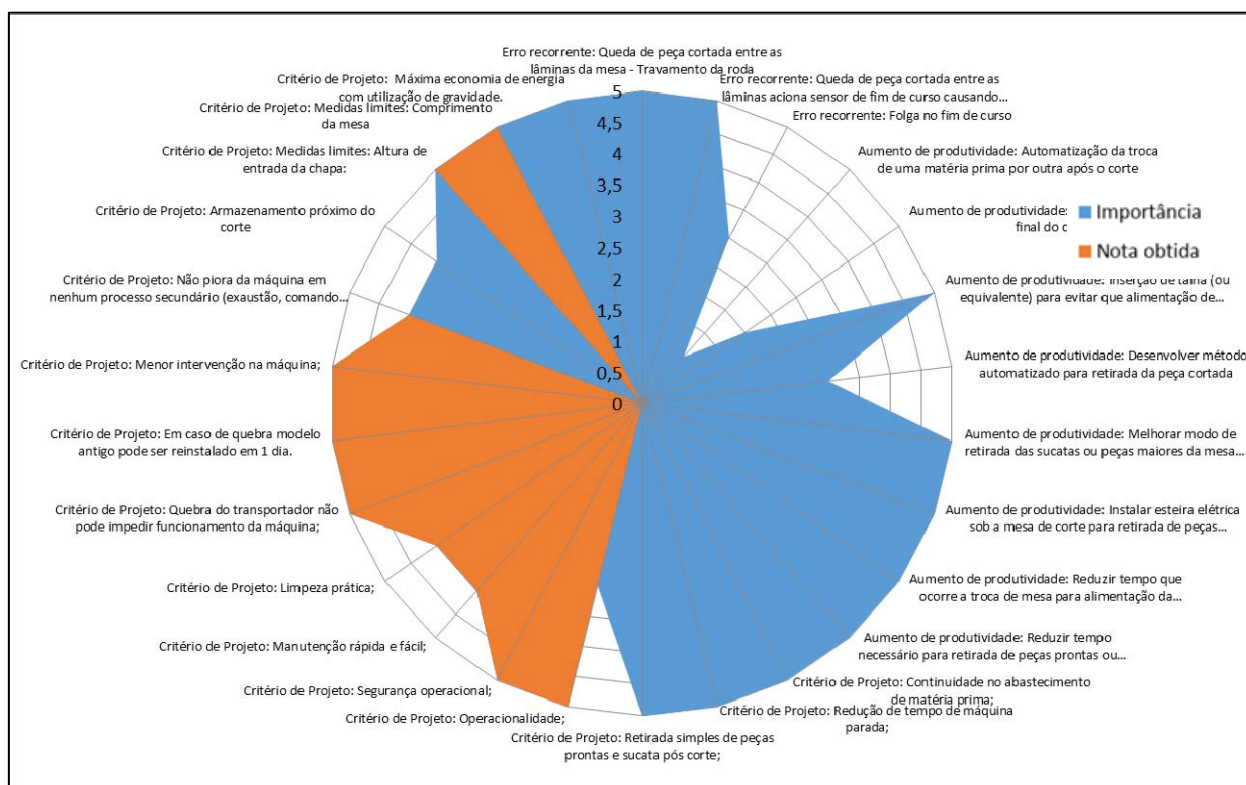


Figura 7. Classificação do sistema de alimentação original.

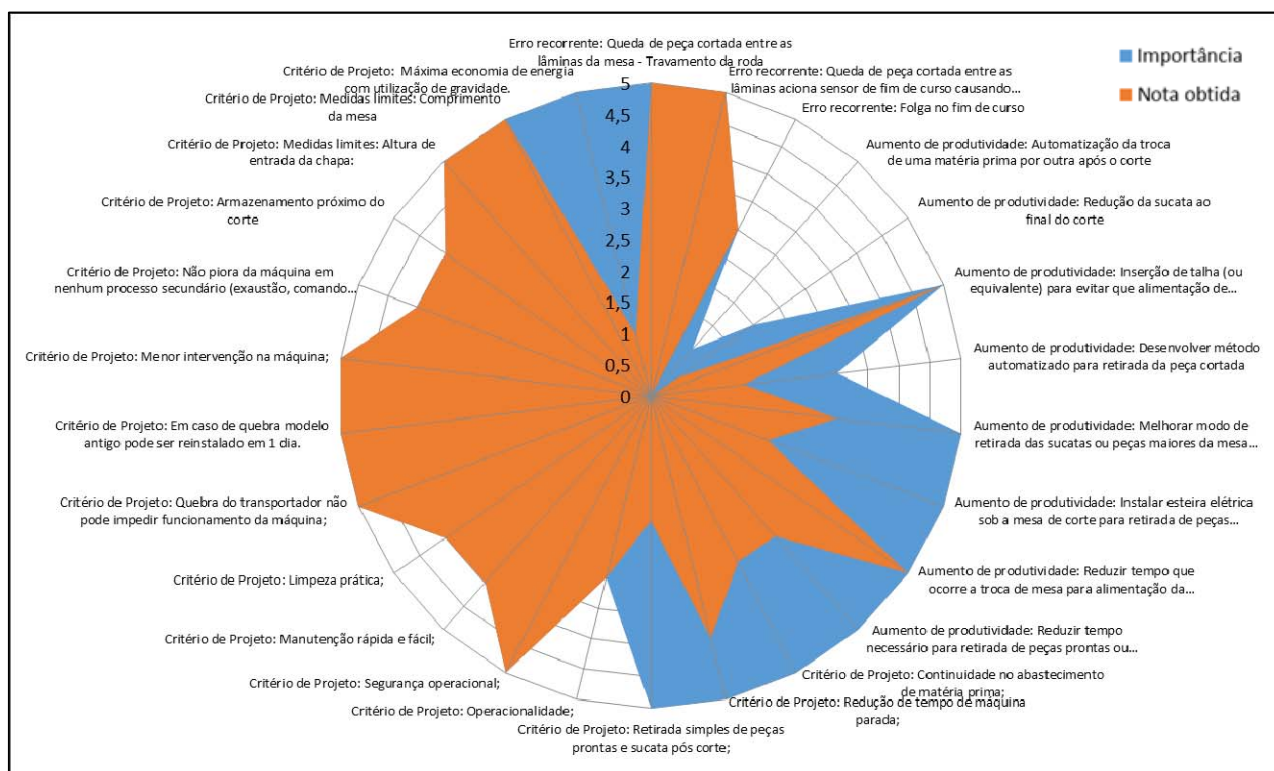


Figura 8. Classificação do sistema de alimentação sugerido de acordo com critérios apresentados.

6. CONCLUSÃO

Após a implantação das alterações necessárias foi observada melhoria significativa em relação a situação original da máquina.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES, CNPq, FAPEMIG e Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da UFMG pelo suporte para a concretização deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- Allen, L., 1969, "Essentials of Laser", Pergamon Press, London, Great Britain, 229 p.
- Dahotre, N.B. e Harimkar, S.P., 2008, "Laser Fabrication and Machining of Materials", Ed. Springer, New York, USA, 561 p.
- Eugen, B.R., Sorin, T. Cristina, B. and Constantin, B.O., 2012, "Improving the dynamic behavior and working accuracy of the CNC laser cutting machines", 12th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), Guangzhou, China, pp. 1642-1647.
- Faro, T.M.C.C.B., 2006, "Estudo e Optimização do Corte Laser de Alta Velocidade em Chapa Metálica Fina", Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, 234 p.
- Flemming, O., 1989, "Cutting Front Formation in Laser Cutting", CIRP annals, Vol. 38, pp. 215-218.
- Injeyan, H. e Goodno, D., 2011, "High Power Laser Handbook", Ed. McGraw-Hill, China, 591 p.
- Ion, J.C., 2005, "Laser Processinf of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application", Ed. Elsevier LTD, London, Great Britain, 556 p.
- Liu, C., 1989, "The State of the art and Development: Tendency of CNC Laser Cutting", CIRP annals, Vol. 38, pp. 215-218.
- Ready, J.F., 1997, "Industrials Applications of Laser", Ed. Elsevier LTD, London, Great Britain, 599 p. (Ready, 1997)
- Silva, M.E., 2008, "Instalação, teste e lançamento em Exploração de Equipamento de Corte por Laser", Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, 126 p.

9. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR IMPROVEMENT OF RAW MATERIAL SUPPLY SYSTEM OF A CUTTING MACHINE LASER USED IN THE AUTOMOTIVE SECTOR

Fábio Aguilar da Silva, fabioag@oi.com.br¹

Douglas Matias Araújo Alvarenga, douglas.alvarenga@hotmail.com¹

Marcell Filho da Silva Ferreira, eng.marcellferreira@gmail.com¹

Paulo Roberto Cetlin, pcetlin@demec.ufmg.br¹

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br¹

¹Federal University of Minas Gerais, Av. Antonio Carlos 6627, Campus da Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 31270-901

Abstract: *The growth of vehicle production pushed on supports sectors like maintenance and industrial facilities to invest in new technologies to increase the production capacity. Laser cutting has been used to keep high quality and repeatability in the process of sheet cutting. This paper describes the development of a methodology for improvement of a cutting machine laser used in the automotive sector. The cutting process itself is satisfactory but the entrance of raw material in the process of cutting decreases productive competitiveness of the cutting process. maintainers and machine operator were interviewed about the criterias project should respect. Companies with core business to build laser cutting machine had products analysed and compared to the valued need developed by interviews, none of them satisfied enough. The the development of a methodology for improvement of raw material supply system of a cutting machine laser was about 7% better analysed in valued need than the cutting machines industries and about 100% better than the original system.*

Keywords: *Raw material supply system, Cutting machine laser, Automotive sector.*