

SEGURANÇA EM MÁQUINAS LASER: IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE MÁXIMA SEGURANÇA PARA OPERAÇÕES DE UM SISTEMA LASER DE ELEVADA POTÊNCIA, UM ESTUDO DE CASO

Jhonattan Gutjahr, j.gutjahr@posgrad.ufsc.br¹

Claudio Abilio da Silveira, claudio.silveira@posgrad.ufsc.br¹

Matheus Souza dos Santos, matheus.s08@aluno.ifsc.edu.br²

Walter Lindolfo Weingaertner, w.l.weingaertner@ufsc.br¹

Milton Pereira, milton.pereira@ufsc.br¹

¹Univesidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis - SC, 88040-900.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Av. Mauro Ramos, 950 – Bairro Centro, Florianópolis - SC, 88020-300.

Resumo: Com o considerável aumento no uso da tecnologia LASER em ambientes industriais e acadêmicos no Brasil, torna-se necessário o estudo de soluções tecnológicas que visem operacionalizar estes sistemas com segurança. Uma série de fatores de risco da exposição ao feixe LASER, dentre os quais destacam-se o relacionado a visão (olhos) e à pele, precisam ser levados em consideração na concepção destes sistemas de manufatura com LASER. O presente trabalho visa descrever uma solução de segurança máxima para operacionalização de LASERs de elevada potência, especialmente desenvolvida e implementada em um laboratório de pesquisa na área de processamento de materiais com LASER. Para este desenvolvimento, são observadas regulamentações e normas internacionais vigentes, especialmente a norma ANSI Z136. São implementados dispositivos especiais, como portas e paredes, especialmente desenvolvidas para proteção do usuário, bem como um conceito de segurança que garanta, de forma redundante, a segurança do operador. Uma estratégia de segurança foi aplicada em um sistema de Comando Numérico Computadorizado (CNC), onde foi projetado e implementado um circuito de intertravamento, integrando a segurança do sistema de comando do equipamento com o circuito de segurança da própria fonte LASER. Além disso, através de Funções-M em Código-G, é possível comandar sistemas de condução de feixe, de forma a impossibilitar a emissão de LASER em situações onde o sistema não esteja com toda a sua segurança devidamente verificada. Ao final, obtém-se uma solução robusta, aplicável a ambientes de pesquisa, que permite operacionalizar um sistema LASER de elevada potência com segurança, oferecendo ao usuário a possibilidade de comandar o sistema remotamente e protegendo-o de quaisquer contatos com o feixe LASER e suas respectivas reflexões.

Palavras-chave: LASER, Segurança de Máquinas, Intertravamento, CNC, Processamento de materiais com LASER.

1. INTRODUÇÃO

No projeto e instalação de sistemas de manufatura que utilizam o LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Poprawe, 2011)) como ferramenta de trabalho, deve-se observar o aspecto de segurança, especialmente tratando-se de sistemas de elevadas potências para processamento de materiais. O principal objetivo da segurança destes sistemas consiste em garantir a integridade do operador. No entanto, há também os aspectos de manutenção da integridade do maquinário em si, como dos seus entornos e de sistemas periféricos. Operações com LASER, sobretudo de elevada potência, podem oferecer sérios riscos aos operadores ou pessoas próximas, podendo gerar lesões irreversíveis, caso não sejam tomadas as devidas precauções.

De acordo com (Ahmed, 2005), os riscos são categorizados em dois seguimentos: riscos indiretos e riscos diretos. Os riscos indiretos são aqueles causados por efeitos do processamento com LASER, como reflexões do feixe LASER e resíduos resultantes do processo (fumos, pós, gotas fundidas). Os diretos são aqueles causados por contato com o próprio feixe, onde danos à pele e aos olhos, são os principais riscos. Assim, estes sistemas devem contemplar barreiras físicas, minimizando ou, até mesmo impedindo, a propagação do feixe LASER e suas respectivas reflexões. Também devem ser dotados de sistemas de controle, que supervisionem o ambiente de processamento, concebidos por um conjunto de dispositivos que permitam a emissão de feixe LASER somente quando identificada uma condição segura com relação ao ambiente de operação do equipamento, (Ready, 1997).

O Brasil ainda não possui redação de normas que tratem da instalação e operacionalização de LASERS de elevada potência. Por outro lado, encontra-se recomendações e normas internacionais, como a ANSI Z136, que tratam aspectos de segurança relacionados a sistemas LASER, os quais podem ser tidos como referenciais para o projeto de sistemas LASER, bem como sua instalação e operacionalização. Este trabalho trata como estudo de caso, o projeto e instalação de um sistema LASER de elevada potência (10 kW), especialmente desenvolvido para um ambiente de pesquisas na área de processamento de materiais com LASER.

2. A PROBLEMÁTICA DA SEGURANÇA

Atualmente, encontra-se no mercado grande quantidade de fontes LASER, com características bem específicas para as mais variadas aplicações no campo da engenharia. Fontes de baixa potência, para utilização em sistemas metrológicos; fontes de média potência para realização de marcações e gravações em peças; e fontes de elevadas potências para processos de soldagem de grande penetração, são alguns dos exemplos que podem ser citados nas aplicações industriais. No entanto, cada um destes processos requer características específicas de feixe, dependendo, por exemplo, do material a ser processado. De forma genérica, podem-se destacar dois parâmetros essenciais: potência do feixe [W] e comprimento de onda [nm]. Esses parâmetros levam a requisitos específicos de segurança, que podem variar dependendo do contexto de utilização do equipamento.

Os aspectos de segurança na utilização de sistemas LASER são abordados em normas internacionais, dentre as quais se destacam as normas ANSI Z136(ANSI, 2009a) e IEC 60825-1 (IEC, 2007). No Brasil, ainda não existem regulamentações para segurança na utilização de sistemas LASER para o contexto industrial e isso, com o crescente uso desta tecnologia, deverá mudar em breve.

A problemática da segurança na utilização de sistemas LASER, sobretudo os de elevada potência, está nos riscos oferecidos aos usuários diretos do equipamento (operadores), assim como às pessoas no entorno dos locais onde o processo é efetuado. No entanto, uma componente que pode ser adicionada ao problema de segurança é relacionada aos riscos ao próprio sistema LASER. Deve-se prever soluções técnicas que minimizem os riscos de danos ao próprio equipamento, tendo em vista os elevados custos que estes sistemas possuem.

2.1 Classificação dos LASERs

Os riscos relacionados ao uso de LASERs variam de acordo com as características específicas da luz LASER, especialmente o comprimento de onda e a potência. De acordo com a norma ANSI Z136, os LASERs são classificados conforme a potência e os riscos de danos à pele e aos olhos, totalizando 5 diferentes classificações (ANSI, 2009a):

a) classe 1 e 1M: LASERs que possam produzir radiação visível ou invisível. Sob condições normais de operação, são considerados incapazes de causar lesão por contato direto com o feixe;

b) classe 2 e 2M: LASERs que produzem radiação visível de baixa potência, não podendo exceder 1×10^{-3} W. A incidência direta nos olhos não é permitida;

c) classe 3: LASERs que emitem moderado nível de radiação visível ou invisível, que não excedam a faixa de 1×10^{-3} e 5×10^{-3} W. Não é recomendado que operações sejam feitas a olho nu. LASERs desta classe abrangem todo o espectro de radiação, desde o ultravioleta ao infravermelho;

d) classe 3B: LASERs que produzem radiação visível e invisível, com potência entre 5×10^{-3} e 500×10^{-3} W, considerados de potência média, e capazes de produzir lesões quando dirigidos diretamente aos olhos;

e) classe 4: LASERs que emitem radiação visível e invisível, capazes de causar lesões aos olhos e à pele. Pertencem à Classe 4 os LASERs com potência média maior que 0,5 W.

Algo interessante que pode ser observado na classificação supracitada é a potência média da classe 4 categorizada pela norma. Em máquinas de gravação a LASER para metais, por exemplo, são utilizados LASERs com potência média em torno de 20 W, quando utilizados LASERs de fibra (comprimento de onda de 1064 nm). Isso, em um contexto industrial, é consideravelmente baixo, tendo em vista que máquinas de corte a LASER utilizam fontes com potências de 1 a 4 kW (mais usual). Ou seja, no contexto da manufatura, a quase totalidade dos LASERs está inserida na Classe 4 da norma ANSI Z136. Isto significa que os LASERs para aplicações industriais de manufatura representam risco máximo ao operador.

2.2. Os Efeitos da Radiação

Um dos riscos mais severos oferecidos às pessoas durante a execução de processos LASER está associado à incidência do feixe, ou de suas reflexões, nos olhos. Neste sentido, o Equipamento de Proteção Individual (EPI) mais utilizados são os óculos de proteção, que são desenvolvidos especificamente para o comprimento de onda e a potência do LASER utilizado. Os danos causados pela incidência de um feixe LASER aos olhos podem ser irreversíveis e dependem das características do feixe, especialmente do comprimento de onda. A retina e a córnea são as regiões mais susceptíveis aos danos da incidência do feixe LASER. A retina pode ser afetada por luz na faixa de espectro visível e próximo ao infravermelho, e a córnea por radiação infravermelho e ultravioleta (Ready, 1997).

Os efeitos da radiação LASER sobre a pele ficaram, por muito tempo, em segundo plano, quando se tratava da segurança em operações com LASERs. No entanto, com o aumento da utilização de LASERs UV (espectro de onda ultravioleta) e de LASERs de elevada potência, os efeitos destas radiações sobre a pele começaram a ganhar maior importância (Weda, 2011). Devido à significativa capacidade de dispersão da radiação UV (até por moléculas de ar), a exposição a este tipo de radiação não se restringe à incidência de feixes diretos ou radiações difusas, mas a todo o ambiente de aplicação. Nestes casos, caso haja a permanência no ambiente de operação, é recomendado o uso de proteções adequadas em todas as regiões do corpo que possam ser expostas ao feixe, como o uso de luvas, fabricadas

em tecidos herméticos e opacos, por exemplo. A Fig. 1 ilustra as áreas da pele (A) e dos olhos (B) que são afetadas pela luz LASER nos diferentes espectros de comprimento de onda.

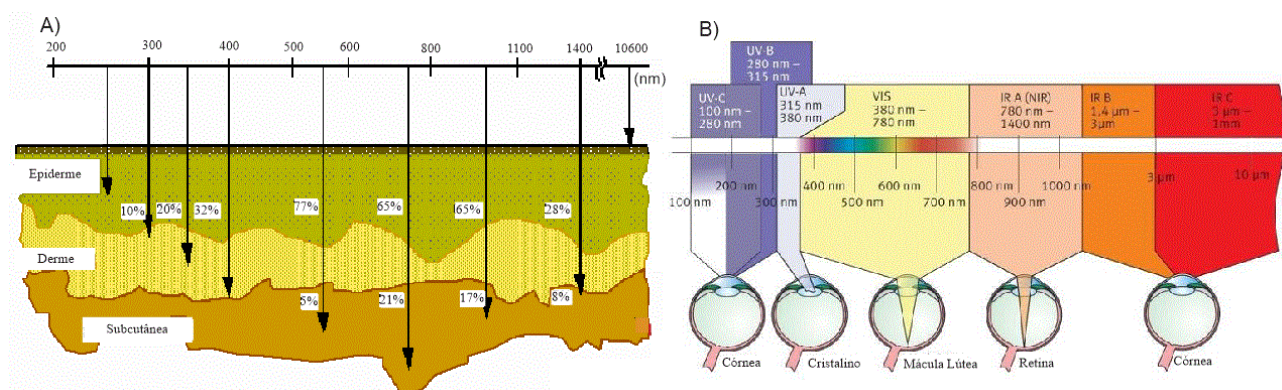


Figura 1. Áreas do olho (A) e da pele (B) afetadas pelos diferentes comprimentos de onda (Adaptado de LIA (2007)).

2.3. Critérios de Segurança

Dependendo do processo realizado, da natureza do feixe LASER e sua respectiva potência, podem haver diferentes riscos relacionados às operações de equipamentos LASER. Desta forma, deve-se avaliar todos os riscos associados ao processo para que seja possível tomar as corretas medidas de controle necessárias, de forma que a integridade, tanto das pessoas (operador e pessoas do entorno do equipamento) como do próprio equipamento e seu ambiente de operação, sejam mantidas. Devem ser considerados aspectos como:

- a) a capacidade do LASER ou sistema de causarem lesão cutânea e/ou ocular (ANSI 2009b, 2009c);
- b) os efeitos gerados durante o processo, causadas pela interação entre o feixe LASER e o material (oxidação rápida, radiação ionizada, geração de gás tóxico) (ANSI 2009b, 2009c);
- c) a característica de acesso de pessoas ao local de realização do processo (irrestrito, restrito, controlado ou inacessível) (ANSI 2009b, 2009c);
- d) a possibilidade de exposição de pessoas à radiação da luz LASER (ANSI 2009b, 2009c).

Desta forma, um dos importantes aspectos considerados pela norma ANSI Z136 para avaliação dos riscos associados à operação de um LASER é a localização do sistema, de acordo com o nível de acesso oferecido às pessoas. O tipo de restrição ao ambiente de execução do processo (ou operação com LASER) pode ser considerado uma medida adicional, que deve ser observada com atenção quando o sistema é projetado. A norma apresenta os seguintes tipos de acesso ao ambiente de operação:

- a) irrestrita: onde o acesso não é limitado e o uso de EPIs não é obrigatório (ANSI, 2009c);
- b) restrita: o acesso é limitado, há riscos de radiação e o uso de EPIs apropriados é obrigatório. Itens de controle de acesso à área do processo, tais como portas bloqueáveis, barreiras e cortinas, são adotados, com intuito de minimizar a exposição à radiação. Geralmente aplicado à Classe 3B ou superior (ANSI, 2009c);
- c) controlada: acesso, permanência e realização de atividades na área do processo ficam estritamente sujeitas ao controle e supervisão. Os itens de controle citados na alínea b), também se aplicam neste caso. Geralmente aplicado à Classe 4 (ANSI, 2009c);
- d) excluída: a entrada no ambiente de realização do processo é permitida, mas é absolutamente negada a permanência neste durante a emissão do feixe LASER (ANSI, 2009c);
- e) inacessível: não é possível acessar o local do processo devido às pequenas dimensões (ANSI, 2009c).

O enclausuramento do equipamento LASER, assim como a remoção de janelas de visualização e o extremo cuidado na realização de operações, como controle de acesso, são métodos de controle que têm por objetivo minimizar os riscos oferecidos ao operador. Se estes métodos de controle forem impraticáveis ou inadequados, controles administrativos e processuais devem ser aplicados, assim como o uso EPIs (ANSI, 2009c).

3. CONCEPÇÃO DE SEGURANÇA

A concepção de segurança estudada, adotada e desenvolvida, foi elaborada com base no estudo das normas internacionais, além, é claro, baseada na experiência de utilização de fontes LASER no próprio laboratório e na experiência de grandes institutos de pesquisa na área de LASER, localizados na Europa, sobretudo Alemanha, onde se destacam: *Laser Zentrum Hannover* (LZH – Hannover, Alemanha), *Fraunhofer-Institut für Lasertechnik* (ILT – Aachen – Alemanha), *Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie* (IPT – Aachen – Alemanha), *Bremer Institut für angewandte Strahltechnik* (BIAS – Bremen – Alemanha). Além disso, um importante fator é o conhecimento da própria

fonte LASER e suas características para, com base nisso, conceber uma infraestrutura que favoreça sua utilização e máxima exploração do potencial de fabricação, concedendo ainda segurança aos usuários e aos entornos do equipamento. A fonte utilizada para realização deste trabalho é um LASER de Fibra, do fabricante IPG Photonics®, modelo YLS 10000 (Ytterbium LASER System), com 10 kW de potência de saída e com emissão unicamente no modo *Continuous Wave* (CW). O modelo de fonte utilizado é dotado de um *Beam Switch Channel*, dispositivo óptico com acionamento eletrônico que permite alternar a emissão do feixe LASER em dois diferentes canais, ou seja, duas diferentes fibras. Assim, esta concepção pode ser dividida em 4 grandes áreas, descritas a seguir.

3.1. Soluções de Infraestrutura

Com base nos conceitos de segurança para operações com LASER, e nas características da fonte LASER utilizada, especialmente devido a sua potência de emissão de feixe ser caracterizada como de alta potência, 10 kW, sendo categorizada como Classe 4 de segurança segundo a norma ANSI Z136-1 (ANSI, 2009a; Ready 2001). Assim, é necessário isolar o ambiente de realização do processo, impedindo a permanência e circulação de pessoas, devido aos riscos de danos fisiológicos anteriormente citados.

A partir disso, três soluções poderiam ser adotadas: confecção de uma célula de processo dedicada para o sistema LASER, impedindo a permanência de pessoas no ambiente do processo devido às restrições dimensionais, sendo caracterizado como “Inacessível”; isolar e controlar todo o ambiente de processo para que a operação do equipamento seja feita de forma remota, impedindo completamente o acesso do operador nos momentos de incidência de LASER, caracterizando o tipo de acesso como “Excluído”; e controlar e supervisionar o acesso à área de processos, permitindo a permanência de pessoas no ambiente, com total supervisão e controle, caracterizado como “Controlada” (mais vulnerável e perigosa dentre as citadas).

Tendo em vista que a fonte LASER utilizada neste projeto é versátil no que diz respeito ao potencial de aplicação em diferentes processos de fabricação, podendo ser utilizada em diferentes configurações e simultaneamente em mais de um equipamento, a condição “Inacessível” deixaria muito restrito o emprego da fonte LASER. A condição de acesso “Controlada” não seria viável em um ambiente de laboratório de pesquisas em um contexto de Universidade, devido a limitações de excesso de pessoas e de limitada infraestrutura. Assim, optou-se por desenvolver uma solução caracterizada como “Excluída”, isolando completamente o ambiente de processos do ambiente de operação.

O ambiente para instalação e operação do sistema LASER possui uma área de aproximadamente 56 m². Assim, na concepção desenvolvida, optou-se pela divisão deste ambiente em duas áreas, formando duas salas: Sala de Comando e Sala de Processos. O maior destes ambientes, a Sala de Processos, é reservado para a instalação dos equipamentos LASER e para a efetiva realização dos processos de fabricação. Esta sala conta com duas portas de entrada e uma janela que dá acesso ao ambiente externo. Ela foi concebida contendo princípios de máxima segurança para casos de incidência do feixe LASER. Para isto, possui um sistema segurança para verificação de fechamento de todas as aberturas (portas e janelas) e da não presença de pessoas no ambiente durante a realização do processo, de forma automática (por transdutores) e visual (por câmera). A Sala de Comando é o local pelo qual todos os equipamentos devem ser comandados e a segurança da sala supervisionada. Portanto, o operador, durante a execução de processos com emissão de LASER pode permanecer na Sala de Comando e seu acesso à Sala de Processos fica restrito.

Na construção destes ambientes, foram tomadas precauções específicas na escolha do material de construção, de forma que pudesse ser garantida a resistência das paredes contra uma eventual exposição prolongada do feixe LASER sobre estas. As paredes foram construídas com blocos de concreto ocos, devidamente preenchidos com areia seca. Este preenchimento objetiva retardar a passagem do feixe LASER em casos de incidência direta sobre as paredes. Nestes casos, o LASER, após transpassar a primeira camada de concreto, atinge a areia seca. Esta funde e coalesce, de forma que, por gravidade, o vazio formado é novamente preenchido pelo volume de areia solta acima da região fundida, oferecendo assim um retardo no transpasse total da estrutura da parede, de forma que seja possível identificar a não conformidade da operação, possibilitando que seja realizado o procedimento de parada de emergência.

Para possibilitar o acesso entre os ambientes, duas portas foram desenvolvidas: uma porta de acesso principal, de pequeno porte, para passagem de pessoas antes e após a realização de experimentos; e uma porta de acesso secundária, de grande porte (duas folhas) para acesso de materiais, equipamentos e demais componentes que precisem de uma grande abertura para passagem. Estas portas foram desenvolvidas utilizando o mesmo princípio supracitado, onde uma estrutura oca de chapas de aço SAE 1020 foi construída e devidamente preenchida com areia seca. Este mesmo princípio também foi utilizado na janela, localizada ao fundo da Sala de Processos, que objetiva a ventilação e exaustão do ambiente após a realização de experimentos. Todas as portas e janela são monitoradas por meio de sensores, que integram sistema de intertravamento, que será posteriormente abordado.

3.2. Arranjo dos Módulos e Subsistemas

Este trabalho não se limitou a desenvolver o princípio de segurança e implementá-lo em um ambiente com infraestrutura especialmente concebido para aplicações LASER de elevada potência. Pelo contrário, este desenvolvimento acompanha o projeto de todo o equipamento que viabilizaria o processamento de materiais com

LASER (Gutjahr 2016). Desta forma, foi desenvolvido um sistema CNC, com característica de modularidade e reconfigurabilidade, especialmente concebido e desenvolvido para um ambiente de pesquisas, que permitisse operacionalizar o LASER de elevada potência disponibilizado e que pudesse conferir adequada segurança na sua operação, tanto aos operadores como aos entornos do equipamento.

Como sistema de comando numérico, utilizou-se um CNC Siemens Sinumerik 840D SL. Para operação deste sistema, há a necessidade de utilização de uma Interface Humano-Máquina (IHM) do mesmo fabricante, por onde são realizadas todas as operações, inserção de programas, ajustes de parâmetros e acionamento de todos os sistemas periféricos que compõe o equipamento. No entanto, ao contrário do que é comum em máquinas CNC (como centros de usinagem, por exemplo), a IHM não poderia estar acoplada ao sistema de movimentação da máquina. Pelo contrário, a IHM precisa ser posicionada no interior da Sala de Comando, permitindo que, durante o processamento, o operador esteja devidamente seguro no interior desta. Além disto, devido à limitação do espaço disponível na Sala de Comando, não seria viável comportar todos os componentes de potência, intertravamento e periféricos do equipamento. Sendo assim, o sistema CNC, que pode ser considerado o subsistema de comando e controle do equipamento, foi subdividido em dois módulos, o Pannel de Comando Externo (PCE) e o Pannel de Comando Principal (PCP).

O PCE é o módulo de interface entre o operador e o equipamento, portando a IHM do CNC e todos os componentes necessários para sua devida operação, como botões, chaves, sinalizadores e etc. O PCP, por outro lado, é responsável por portar todo o sistema CNC, sistemas de potência (drivers, filtros), sistema lógico (CLP, Relés), sistemas de proteção (disjuntores, fusíveis, relés de monitoramento de rede) e sistema de intertravamento e segurança (CLP, relés de emergência). Além disso, para a efetivação do processo e concepção modular, também foi desenvolvido um sistema de movimentação cartesiano de três eixos, totalmente separado dos sistemas de comando e controle, o qual porta, em seu eixo de movimentação vertical (Z), o cabeçote óptico e a fibra da fonte LASER de elevada potência para o processamento de materiais. A Fig. 3 apresenta uma imagem destes três módulos desenvolvidos, PCP (a), PCE (b) e Sistema de Movimentação Cartesiano (c). A Fig. 4 exibe uma representação esquemática da disposição dos módulos na infraestrutura desenvolvida no laboratório.



Figura 3. Três principais módulos que compõe o sistema – PCP - PCE – Sistema de Movimentação (Adaptado de Gutjahr (2016)).

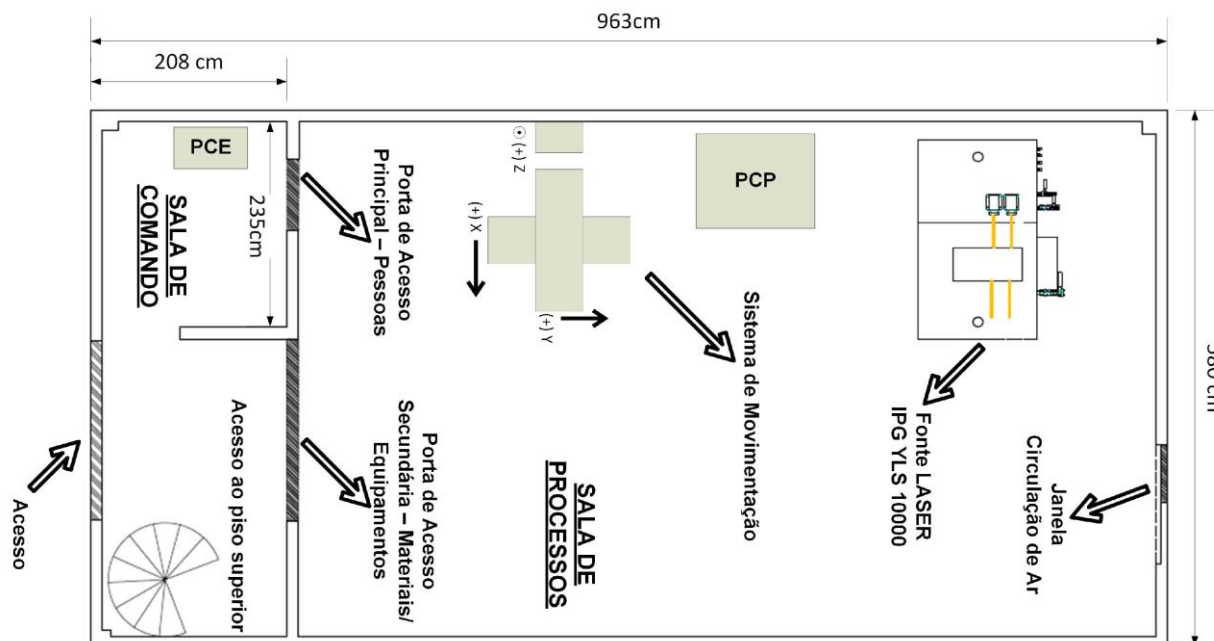


Figura 4. Representação – Vista superior do ambiente de instalação do sistema LASER de elevada potência (Gutjahr, 2016).

Como é possível verificar no esquema da Fig. 3, o PCE fica localizado na Sala de Comandos, logo ao lado da Porta de Acesso Principal, de forma que o operador fica assegurado durante a emissão do feixe LASER. Isso gerou uma demanda de solução de problemas quanto a operacionalização do sistema, de forma que possibilitasse que o operador tivesse, além de controle sobre a máquina, possibilidade de supervisionar o processo de forma visual.

3.3. Operacionalização do Sistema

Devido ao isolamento do operador em relação ao ambiente onde o processo é executado, houve a necessidade de desenvolver uma forma de operacionalizar o equipamento e supervisioná-lo, também como forma de oferecer segurança ao operador, ao sistema e aos entornos do equipamento. Como solução principal, no centro da Sala de Processos foi instalada uma câmera IP, com capacidade de monitoramento em 360°, estrategicamente posicionada para que todos os pontos da sala pudessem ser devidamente verificados. Para visualizar as imagens captadas pela câmera, na Sala de Comando, foi instalado um Televisor (Fig. 5 - a), com acesso à internet, na qual podem ser feitas inclusive alterações e movimentações do eixo de visão da câmera durante o processo, se necessário. Também neste sentido, foi instalado um PC dedicado ao monitoramento do LASER (Fig. 5 - b), via software supervisorio disponibilizado pelo fabricante.

Também visando o monitoramento, é utilizada uma câmera Coaxial no cabeçote óptico de soldagem a LASER, de forma que são captadas imagens no ponto de emissão do feixe LASER. Isso permite duas principais atividades: realizar um procedimento de referenciar a peça em relação ao centro do feixe LASER, antes do processo, sem precisar acessar a Sala de Processos; e monitorar o processo durante a sua execução. Esta segunda atividade citada é extremamente importante em procedimentos de pesquisa onde, a partir de softwares e equipamentos específicos, que permitam filtrar comprimentos de onda e realizar altas taxas de aquisição, é possível analisar uma poça fundida de um processo de soldagem e de revestimento, por exemplo. Para exibição das imagens obtidas nesta câmera, visando o referenciamento de peças, foi instalada uma tela dedicada na Sala de Comando (Fig. 5 - c).

O processamento de materiais com LASER geralmente, utiliza gases inertes e gases ativos para formação de uma atmosfera adequada para a região de incidência, onde acontecem os fenômenos de transformação de fase dos materiais processados. No entanto, devido aos riscos de uma incidência direta do feixe LASER, não foram instalados cilindros (vasos de pressão) no interior da Sala de Processos. Desta forma, foi desenvolvida uma central de distribuição de gases no lado externo da sala, de forma que os gases são distribuídos para a região de processamento por tubulações de cobre, após uma adequada redução da pressão do cilindro. Os gases são disponibilizados na Sala de Processos em 4 tomadas (Fig. 4 - d), uma para cada gás, distribuída em dois diferentes pontos da sala, estratégicos para os experimentos desenvolvidos. Assim, caso haja uma incidência do LASER sobre a rede de condução de gás, a pressão reduzida minimiza os danos colaterais resultantes de perfurações e suprime os riscos de explosão, já reduzido pela não utilização de gases inflamáveis. A Fig. 5 apresenta as soluções citadas para operacionalizar o equipamento desenvolvido.

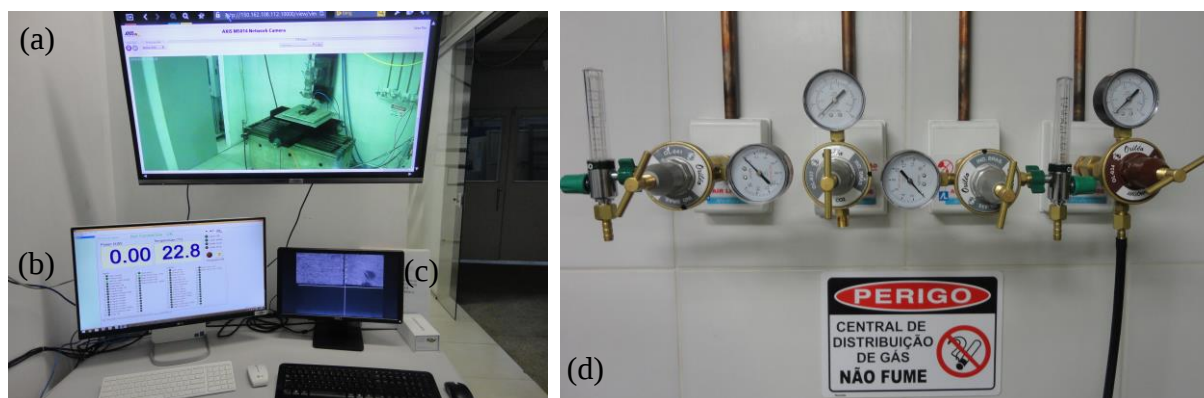


Figura 5. Métodos de operacionalização implementados no sistema LASER.

Ainda no contexto de operacionalização do sistema, tendo em vista que o equipamento foi desenvolvido de forma dedicada para esta aplicação, foram utilizados técnicas e dispositivos que permitem comandar todos os sistemas periféricos a partir da Sala de Comando, de forma a evitar, tanto quanto possível, o acesso do operador ao ambiente da Sala de Processos. Portanto, no desenvolvimento do PCE, estes elementos de operação foram considerados, onde uma série de botões e sinais luminosos e sonoros foram devidamente instalados para permitir o comando dos diversos sistemas como também monitorar o status da máquina (torre luminosa com sinal sonoro, no PCE, por exemplo).

3.4. Circuito de Segurança e Intertravamento

Um dos desafios relacionados à segurança de máquinas LASER está em desenvolver uma lógica de segurança que permita total integração com a fonte LASER, prezando pela segurança do equipamento, pela segurança do LASER e especialmente pela segurança dos operadores e do entorno do processo. O termo “circuito de intertravamento” é comum para denotar o circuito lógico que rege a segurança do equipamento. Em geral, a principal função atribuída aos circuitos de intertravamento é habilitar ou não o funcionamento da máquina o que, na maioria das vezes, está ligado ao fato de habilitar ou não o circuito ou sistema de potência do equipamento.

Com base nisto, foi desenvolvido um circuito lógico de intertravamento, de forma a garantir a segurança de operação na realização de processos. Neste sentido, algumas características precisaram ser devidamente observadas. Primeiramente, devido à característica de modularidade e reconfigurabilidade que era esperada do sistema desenvolvido, foi projetada uma lógica que permitiria, de forma simples, acoplar e desacoplar a fonte LASER do sistema de controle da máquina. Ou seja, isso significa que, caso houvesse a necessidade de utilização do sistema de movimentação para realização de outro processo, não haveria a necessidade de interligação com a fonte LASER. Isso também oferece uma segurança adicional para os procedimentos pré-processo (zeramento de peça, por exemplo), assim como na realização de testes de manutenção que são feitos com o equipamento ligado. Nestas situações, a fonte LASER pode estar ligada, no entanto, seu circuito de segurança pode estar desacoplado, impossibilitando uma emissão acidental de feixe. A segunda característica importante é que, em caso de acoplamento do LASER, o sistema desenvolvido deveria possibilitar o intertravamento do LASER, bem como a lógica de segurança e emergência do LASER deveria ser capaz de desabilitar a potência e acionar a emergência do sistema desenvolvido. Ou seja, haveria uma total integração entre seus circuitos de emergência, de forma a garantir a segurança do sistema como um todo. Além disso, ainda devido ao conceito de reconfigurabilidade, o sistema deveria ser capaz de acoplar, se necessário, sinais de emergência de outros dispositivos periféricos que fossem, no futuro, necessários para a composição da máquina.

Desta forma, o circuito de intertravamento foi desenvolvido em três partes. A primeira, diz respeito ao monitoramento das chaves de fim de curso do sistema de movimentação linear, Fig. 6 - a. Esta foi uma medida redundante de segurança, tendo em vista que os servomotores utilizados nos módulos de movimentação possuem encoders absolutos e, por técnicas de comando ajustadas no CNC, nunca deveriam permitir o acionamento das chaves fim de curso. A segunda parte do circuito se refere ao monitoramento do acionamento dos diversos botões de emergência que compõe o sistema, Fig. 6 - b. O PCE porta dois botões de emergência, enquanto o PCP possui um, instalado estrategicamente caso haja alguém no interior da sala durante a emissão do feixe LASER (medida também redundante, tendo em vista que seria, por procedimento de segurança, pouco provável a permanência de alguém no interior da Sala de Processos). A terceira parte do circuito se refere à operação do sistema – Fig. 6 - c – contendo a lógica e os principais sinais de comando ao início da operação e acionamento do circuito de potência. A Fig. 6 apresenta o esquemático das três partes do circuito de intertravamento desenvolvido para o sistema LASER.

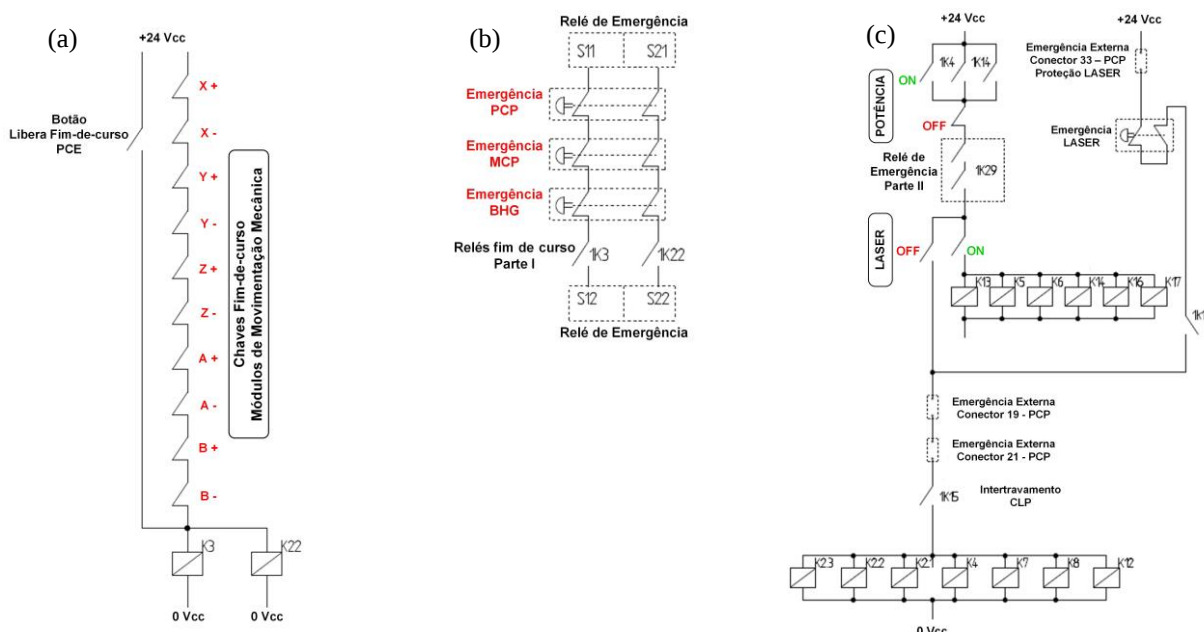


Figura 6. Esquemático – Circuito de Intertravamento projetado para o sistema LASER (Adaptado de Gutjahr (2016)).

Como se pode observar, os três circuitos do intertravamento estão conectados, em forma de cascata. Ou seja, é necessário que a primeira parte do circuito (a) esteja acionada para que a segunda parte (b) possa acionar o relé de emergência e a partir disso habilitar a terceira parte (c) para comandar a máquina. No caso de desacionamento, qualquer um dos três é hábil para desabilitar todo o circuito, colocando o sistema em emergência. O mesmo deve ocorrer com o LASER. Qualquer sinal de parada de emergência deve ser capaz de desabilitar todo o circuito de intertravamento do sistema (através da terceira parte), sendo o contrário também verdadeiro. A Fig. 7 apresenta o circuito de intertravamento presente no LASER, utilizado para integração na lógica de segurança desenvolvida para o sistema.

O primeiro item está relacionado com o acionamento intencional da potência da máquina pelo operador. Ou seja, a máquina pode estar ligada e com todas as condições de segurança e emergência acionadas, no entanto, enquanto não houver o acionamento do botão “Potência ON”, a potência da máquina não é habilitada. Os elementos que permitem a alimentação do circuito de potência são as contadoras responsáveis pelas bobinas K2.3, K2.2 e K1.1, presentes na região inferior da parte (c) do circuito intertravamento. Abaixo do botão “Potência ON”, o circuito é dividido em duas partes. Isso se dá por uma chave de seleção de duas posições, instalada no PCE, a qual já foi citada anteriormente, com objetivo de acoplar e desacoplar o circuito de segurança da fonte LASER em relação ao do sistema CNC. Caso a opção selecionada seja “LASER OFF” e as demais premissas de segurança sejam satisfeitas, a máquina terá seu circuito de segurança liberado. No entanto, nesta condição, o sistema não fornecerá à fonte LASER os sinais necessários para que o seu circuito de segurança seja liberado. Todas as bobinas representadas na parte inferior deste circuito estão relacionadas ao funcionamento geral da máquina, independentemente do LASER. Caso seja selecionada a opção “LASER ON”, o braço direito deste circuito é selecionado, acionando uma série de bobinas de relés (K13, K5, K6, K14, K16, K17). O acionamento destas bobinas, sobretudo da K13, habilita uma outra parte do circuito (braço direito do circuito, pela chave 1K13), acoplando assim, completamente, o circuito de segurança e intertravamento da fonte LASER.

O esquema da Fig. 7 apresenta como o LASER trabalha com relação a sua segurança. Os elementos K1 e K2 são contadoras de segurança, redundantes, que permitem a passagem de corrente da rede elétrica trifásica para a fonte de alimentação dos módulos de geração de LASER. Neste esquemático, também há um efeito cascata de forma que, para o acionamento de K7, é necessário ter acionado K6 e, para o acionamento de K1 e K2, há necessidade do acionamento de K7. Portanto, a potência da fonte LASER só é habilitada quando todos os pré-requisitos de sinais propostos no esquemático são satisfeitos. Para a conexão dos circuitos de emergência do sistema desenvolvido e a fonte LASER, foi utilizada a conexão “Emergência Externa”, que consiste em fornecer 2 contatos fechados (contatos secos) ao circuito, através da interface de conexão da fonte. Além disso, há a exigência de um botão de *Start*, para habilitar a potência (segundo braço do circuito de intertravamento do LASER), o qual foi instalado no PCE.

Todas as técnicas de intertravamento supracitadas permitem que a máquina só tenha seu acionamento liberado no caso todas as premissas de segurança sejam supridas. No entanto, é necessário garantir que o operador do equipamento não adentre a Sala de Processos durante a realização de experimentos. Desta forma, em cada uma das portas de acesso (Principal e Secundária), bem como na janela da Sala de Processos, foram instaladas chaves de fim de curso, levando ao desenvolvimento de mais um circuito de intertravamento, agora relacionado ao ambiente de instalação do equipamento. Este circuito de intertravamento, que consiste na interligação em série (lógica E) de todos os contatos normalmente

fechados das chaves fim de curso instaladas, produz uma saída, em forma de contato, que é ligada a uma das emergências externas previstas no circuito de intertravamento da Fig. 6 - c. É importante salientar que as emergências externas previstas no circuito projetado, tanto fornecem quanto recebem um sinal relacionada ao status de emergência e intertravamento dos componentes conectados a ela. Ou seja, ela permite que haja um total acoplamento dos circuitos, assim como o realizado com o LASER.

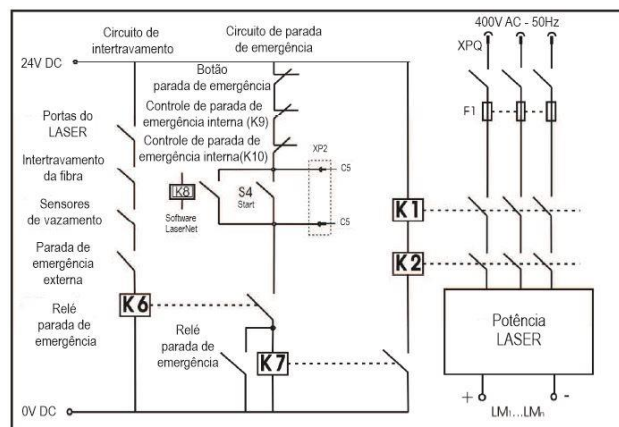


Figura 7. Esquemático – Circuito de Intertravamento LASER IPG YLS 10000 (Adaptado de IPG Photonics (2012)).

De forma adicional, na porta de acesso principal, foi instalada uma tranca magnética. Seu acionamento está atrelado ao acionamento da potência do LASER, ou seja, quando a fonte LASER está habilitada para emissão de feixe. Nesta condição, basta um sinal para que o feixe seja emitido e é justamente nesta situação em que deve ser garantida a segurança do operador. Portanto, quando há alimentação dos módulos de potência do LASER, isto é, quando suas condições de emergência estão satisfeitas, a tranca magnética é acionada, impossibilitando que haja acesso à Sala de Processos. O principal motivo de não permitir o acesso nesta condição, mesmo com o feixe desligado, é evitar a ocorrência de acidentes, devido a interferências eletromagnéticas, por exemplo, que podem “simular” um sinal de emissão de feixe, mesmo que este não tenha sido realizado. Há relatos de ocorrência deste tipo de acidente em centros de pesquisa na área de LASER. Além disso, este procedimento evita a ocorrência de acidentes devido a existência de erros humanos, como o acionamento não proposital do feixe LASER.

O LASER utilizado possui um dispositivo óptico denominado *Beam Switch Channel* (seleção dos canais de fibra). Este componente permite que o feixe LASER, produzido nos múltiplos módulos de geração da fonte, seja conduzido por duas diferentes fibras, de acordo com uma pré-seleção. Na concepção do LASER utilizado, o *Beam Switch* possui dois canais e uma posição de *Home*, de forma que o LASER passa por um dos dois canais, mas nunca é dividido entre os dois (com fração da potência, por exemplo). Isso possibilita, por exemplo, que a mesma fonte LASER seja empregada em dois equipamentos distintos. Quando o *Beam Switch* está na posição de *Home*, não há emissão de feixe. Isso é resultado tanto de uma restrição de intertravamento da própria fonte LASER e também de uma restrição física, devido a ausência de espelhos nesta posição para condução do feixe para alguma das fibras instaladas no equipamento. Assim, utilizou-se deste artifício para oferecer mais uma redundância de segurança ao sistema. Foram criadas Funções-M, baseadas no CNC utilizado, específicas para a seleção dos canais de emissão, de forma que a função M56 seleciona o Canal 01, M57 o Canal 02. A função M55 seleciona a posição de *Home* no *Beam Switch*. Além destas, naturalmente foram criadas outras Funções-M para o sistema, com destaque no acionamento e desacionamento do feixe LASER, regidos pelas funções M50 e M51, respectivamente. Desta forma, foram desenvolvidas lógicas no CLP do sistema que impossibilitam, por exemplo, que a função M50 seja realizada sem que, anteriormente, seja fornecida a função M56 ou M57. Ao ligar a máquina, a função M55 é chamada, como padrão, sendo necessário que no programa (Código-G) inserido na máquina, esteja explicitado uma das funções de seleção de canal de emissão (M56 ou M57), antes de ser chamada a função de habilitar emissão (M50).

4. CONCLUSÃO

A segurança de máquinas é um importante aspecto que deve ser levado em consideração no projeto de sistemas automáticos para a área de manufatura. Os riscos oferecidos pelo feixe LASER, tanto pelo contato direto como através de suas reflexões, exige um cuidado ainda mais rigoroso na concepção destes sistemas. Para isso, é claro, é necessário que haja um conhecimento, primeiramente dos riscos oferecidos, o que pode variar para cada característica de feixe, especialmente no que diz respeito à potência e ao comprimento de onda. Desta forma, é preciso verificar as exigências e recomendações previstas em normas internacionais vigentes, devido a ausência de regulamentação brasileira acerca do

assunto. Além disso, de acordo com a norma estudada, ANSI Z136, pode-se verificar que a quase totalidade de LASERs aplicados em processos de manufatura no meio industrial, estão categorizados na Classe 4 de periculosidade abordada pela norma, considerada a mais danosa ao operador.

A solução de segurança desenvolvida, preza sobretudo pela integridade do operador do equipamento. Diversas técnicas de intertravamento e de parada de emergência foram utilizadas, permitindo o imediato desligamento da potência do sistema, inclusive do LASER, caso haja situações de emergência que exijam a parada do equipamento. A redundância foi utilizada de diversas formas, oferecendo robustez ao sistema.

Apesar de todas as implementações de segurança, entende-se que para a operação de sistemas LASER, é necessário um treinamento adequado do operador, que aborde primeiramente os riscos relacionados à exposição ao feixe LASER e que assegure o entendimento de todos os processos de segurança aplicados ao equipamento e que precisam ser observados para sua correta utilização.

O sistema LASER desenvolvido, descrito neste trabalho sob o aspecto da segurança, está operacional no LMP, onde são realizadas pesquisas nas áreas de soldagem a LASER, Soldagem Híbrida LASER-MIG, LASER Cladding, Tratamento térmico localizado, refusão a LASER. Esta mesma infraestrutura desenvolvida está, atualmente, sendo utilizada também para a instalação de mais duas fontes LASER, as quais terão suas células de manufatura totalmente integradas ao sistema de segurança desenvolvido e abordado neste trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP) e à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) pela disponibilização dos equipamentos e local necessário para o desenvolvimento e implementação do Sistema proposto. Também à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que financiou o projeto de implementação do laboratório LASER no LMP e viabilizou a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Ahmed, Nasir. 2005. *Recherche New Developments in Advanced Welding*. Cambridge: Woodhead.
- America, LASER Institute of. 2007. "Guide for the Selection of LASER Eye Protection."
- Comission, International Eletrotechincal. 2007. "IEC 60825-1: Safety of Laser Products."
- Gutjahr, Jhonattan. 2016. "Desenvolvimento E Implementação de Um Sistema CNC, Modular E Reconfigurável, Para Processos LASER." Universidade Federal de Santa Catarina.
- Institute, American National Standard. 2009a. "ANSI Z136.1 - Use of LASER."
- Institute, American National Standard. 2009b. "ANSI Z136.7 - Protective Equipment."
- Institute, American National Standard. 2009c. "ANSI Z136.8 - Research, Development or Testing."
- IPG Photonics. 2012. "Operating Manual Ytterbium Laser System S/N 11076750." : 228.
- Poprawe, Reinhart. 2011. *Tailored Light 2*. 1st ed. ed. Reinhart Poprawe. Aachen: Springer-Verlag.
- Ready, John F. 1997. *Industrial Applications of Lasers*. 2nd ed. San Diego: Elsevier Science.
- Ready, John F. 2001. *LIA Handbook of Laser Materials Processing*. Orlando: Magnolia Publishing, Inc.
- Weda, Jelmer. 2011. "Pratical LASER Safety." Disponível em:
<http://www.laserlab.vu.nl/en/Images/Practical_Laser_Safety_dec2011_tcm211-313232.pdf>.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste artigo.

SAFETY IN LASER MACHINES: IMPLEMENTATION OF A MAXIMUM SECURITY SYSTEM FOR OPERATIONS OF A HIGH POWER LASER SYSTEM, A CASE STUDY

Jhonattan Gutjahr, j.gutjahr@posgrad.ufsc.br¹

Claudio Abilio da Silveira, claudio.silveira@posgrad.ufsc.br¹

Matheus Souza dos Santos, matheus.s08@aluno.ifsc.edu.br²

Walter Lindolfo Weingaertner, w.l.weingaertner@ufsc.br¹

Milton Pereira, milton.pereira@ufsc.br¹

¹Univesidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, Florianópolis - SC, 88040-900.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Av. Mauro Ramos, 950 – Bairro Centro, Florianópolis - SC, 88020-300.

Abstract: With the considerable increase in the use of LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) technology in industrials and academics environments in Brazil, it has been done necessary to study technological solutions aim to operationalize these systems with safety. A range of risk factors for exposure to the LASER beam, among them, the related with eyes and skin, need to be considering in development of LASER systems. The present study aims to describe a maximum-security solution for the operation of high-power LASERs, specially developed and implemented in a laboratory of LASER materials processing. For this development, international standards are observed, especially ANSI Z136. Special devices, such as doors and walls, specially designed for user protection, are implemented as well as a safety concept that guarantees, in a redundant way, the safety of the operator. A safety concept is applied in a computerized numerical control (CNC) system, where an interlock circuit is designed and implemented, integrating the safety of the control system of the equipment with the safety circuit of the LASER source. Moreover, through M-Functions in G-Code, it is possible to command beam conduction systems, in order to prevent the emission of LASER in situations where the system is not fully checked. At the end, obtain a robust solution, applicable to research environments, which enable to operate a high-power LASER system with security, offering the user possibility to command the system remotely and to protect it from any contacts with the LASER beam and their respective reflections.

Keywords: LASER, machine safety, interlocking, CNC, LASER material processing.