

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VAGNER RESENDE

**DESENVOLVIMENTO E PROPOSTA DE UM PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS A LASER.**

CURITIBA

2022

VAGNER RESENDE

**DESENVOLVIMENTO E PROPOSTA DE UM PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS A LASER.**

**Development and proposal of an institutional program for safety in the
operation of laser systems.**

Trabalho de conclusão da Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de “Mestre em Ciências” - Área de Concentração: Física Médica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Anna Luiza Metidieri Cruz Malthez

Co-orientador: Prof. Dr. Arandi Ginane Bezerra Junior.

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



VAGNER RESENDE

DESENVOLVIMENTO E PROPOSTA DE UM PROGRAMA INSTITUCIONAL DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS A LASER.

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ciências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Biomédica.

Data de aprovação: 16 de Dezembro de 2022

Dra. Anna Luiza Metidleri Cruz Malthez, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Alexandre Cunha, Doutorado - Asociación de Investigación Metalúrgica Del Noroeste

Dr. Rafael Eleodoro De Goes, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 16/12/2022.

Dedico este trabalho à minha família,
pelos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus, pela sua infinita bondade e misericórdia em meu favor.

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dra. Anna Luiza Metidieri Cruz Malthez e meu co-orientador Prof. Dr. Arandi Ginane Bezerra Jr., pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Gostaria de agradecer aos profissionais do ISI-Joinville, em especial aos colegas Ariel Paulo Rezende (Gerente de Inovação), Dr. Marcelo Teixeira dos Santos (Coordenador do ISI Laser), Msc. Henrique Rodrigues Oliveira (Líder de Projetos Laser), Dr. Thiago Soares Pereira (Líder de Projetos Laser), Dr. Renan Oss Giacomelli (Pesquisador) e ao meu colega Dr. Alexandre Cunha, que desde o início deste trabalho, foi um incentivador com o tema em estudo.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

RESENDE, Vagner. **Desenvolvimento e proposta de um programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser**. 2022. 124 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Curitiba, 2022.

Os riscos ocupacionais às radiações lasers vêm aumentando consideravelmente no mundo em função do avanço dessa tecnologia. O que levou diversos países a desenvolverem e publicarem normas para o uso seguro relacionadas a radiação laser. Ainda mundialmente, diversas instituições de ensino e pesquisa e industriais possuem programas de segurança, visando minimizar a exposição ocupacional e possíveis efeitos deletérios aos seres humanos. No Brasil, faltam legislações de segurança relacionadas à radiação laser, até onde se tem conhecimento, instituições de pesquisa e desenvolvimento não possuem programas de segurança para operação de sistemas a laser. Embora implementem alguns requisitos de segurança como uso de equipamentos de proteção individual (EPI), as instituições de pesquisa e desenvolvimento, indústrias e universidades nacionais não tem publicado ou disponibilizado aos usuários e indivíduos, um documento claro com os princípios de segurança e estrutura de governança entre outros para a utilização segura da radiação laser. Como exemplo, o Instituto SENAI de Inovação em Sistemas de Manufatura e Processamento a Laser (ISI), sediado em Joinville-SC e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), sediada em Curitiba-PR, não possuem um programa de segurança para operações com sistemas a laser. Tendo em vista a segurança e efeitos biológicos associados ao laser, neste trabalho foi desenvolvido e proposto um programa institucional de segurança à radiação laser, seguindo as recomendações nacionais acerca da segurança dos trabalhadores, como a Norma Regulamentadora nº 12 do Ministério do Trabalho e considerando as recomendações mais modernas publicadas internacionalmente, como a norma ANSI-Z 136-1: 2014 do *American National Standards Institute*. Inicialmente, buscou-se entender a percepção de segurança dos riscos do laser da equipe do ISI e foi elaborado um programa de segurança específico para esta instituição. Com o desenvolvimento e implantação do programa, o ISI passará a seguir uma padronização no processamento a laser, padronização dos treinamentos, além de cumprir as normativas nacionais e estar alinhado internacionalmente com outras instituições em segurança com radiação laser. Também contribuindo nacionalmente para disseminação da cultura de segurança e proteção contra as radiações não ionizantes, foi criado neste trabalho um documento modelo de programa de segurança na operação e uso da radiação laser, possibilitando que outras instituições, tanto de ensino e pesquisa como na indústria, possam, baseado nas normativas internacionais e legislação vigente, desenvolver seus próprios programas.

Palavras-chave: Programa de segurança a laser. Radiações não ionizantes. Efeitos Biológicos. Radiação laser.

ABSTRACT

RESENDE, Vagner. **Development and proposal of an institutional program for safety in the operation of laser systems**. 2022. 124 pages. Dissertation (Master in Biomedical Engineering). Federal Technological University of Paraná: Curitiba, 2022.

The occupational risks of laser radiation have increased considerably worldwide due to the advancement of this technology. This has led several countries to develop and publish standards for the safe use related to laser radiation. Also worldwide, several educational, research, and industrial institutions have safety programs, aiming to minimize occupational exposure and possible deleterious effects to humans. In Brazil, there is a lack of safety legislation related to laser radiation; as far as we know, research and development institutions do not have safety programs for the operation of laser systems. Although they implement some safety requirements such as the use of personal protective equipment (PPE), the national research and development institutions, industries and universities have not published or made available to users and individuals, a clear document with safety principles and governance structure among others for the safe use of laser radiation. As an example, the SENAI Institute for Innovation in Manufacturing Systems and Laser Processing (ISI), based in Joinville-SC and the Federal Technological University of Parana (UTFPR), based in Curitiba-PR, do not have a safety program for operations with laser systems. In view of the safety and biological effects associated with the laser, in this work we developed and proposed an institutional program for laser radiation safety, following the national recommendations about workers' safety, such as Regulatory Standard No. 12 of the Ministry of Labor and considering the most modern recommendations published internationally, such as the ANSI-Z 136-1: 2014 standard of the American National Standards Institute. Initially, the laser hazard safety perception of ISI staff was sought to be understood and a safety program specific to this institution was developed. With the development and implementation of the program, the ISI will follow a standardization in laser processing, standardization of training, in addition to complying with national regulations and being internationally aligned with other institutions in laser radiation safety. Also contributing nationally to the dissemination of the culture of safety and protection against non-ionizing radiation, it was created in this work a model document for a safety program in the operation and use of laser radiation, allowing other institutions, both in education and research and in industry, to develop their own programs based on international standards and current legislation.

Keywords: Laser safety program. Non-ionizing radiation. Biological Effects. Laser radiation.

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|--|
| APL | Avaliação de Perigos do Laser |
| CAGL | Contaminantes de ar gerados por laser |
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| CSL | Comitê de Segurança do Laser |
| EMP | Exposição Máxima Permitida |
| EPI | Equipamentos de Proteção Individual |
| GHS | <i>Globally Harmonized System</i> (Sistema Globalmente Harmonizado) |
| ISI | Instituto Senai de Inovação em Manufatura e Processamento de materiais a Laser |
| NHZ | <i>Nominal Hazard Zone</i> (Zona de Risco Nominal) |
| NOHD | <i>Nominal Ocular Hazard Distance</i> (Distância nominal de risco ocular) |
| OSL | Oficial de Segurança do Laser |
| OD | <i>Optical Density</i> (Densidade Óptica) |
| PGR | Programa de Gerenciamento de Risco |
| PISOSL | Programa Institucional de Segurança na Operação de Sistemas a Laser |
| PTS | Procedimentos de Trabalho e Segurança |
| POL | Proteção Ocular a Laser |
| PL | Pesquisador Líder |
| SESMT | Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho |
| TLV | Transmissão Luminosa Visível |
| UL | Usuário de Laser |
| UV | Ultravioleta |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Intervalo do espectro eletromagnético onde o laser atua..... | 17 |
| Figura 2 – Comprimento de onda de uma luz incandescente e do laser.... | 18 |
| Figura 3 – Esquema de um típico processo DED para laser em pó..... | 21 |
| Figura 4 – Organograma da metodologia aplicada neste trabalho..... | 32 |
| Figura 5 – SLM 125 (máquina à esquerda); Concept Laser (máquina ao centro) e RPM 535 (máquina à direita) | 33 |
| Figura 6 – PRECO (máquina à esquerda) e Welle Laser 1 (máquina à direita)..... | 33 |
| Figura 7 – OXFORD (máquina à esquerda); Welle Laser 2 (máquina ao centro) e Máquina fabricada no ISI (à direita) | 33 |
| Figura 8 – Etapas da Avaliação de Riscos segundo ABNT NBR 12100. 38 | |
| Figura 9 – Máquina SLM-125 com suas características..... | 38 |
| Figura 10 – Fluxograma para elaboração do procedimento de trabalho e segurança – PTS..... | 40 |
| Figura 11 – Pergunta 1- Você recebeu capacitação de operação de máquinas a laser?..... | 43 |
| Figura 12 – Pergunta 2 - Você recebeu capacitação de segurança para operar uma máquina a laser? Caso a resposta seja "sim", essa capacitação recebeu abordou quais dos tópicos citados acima?..... | 44 |
| Figura 13 – Pergunta 3 - Você já presenciou algum acidente ou incidente com máquinas de laser?..... | 45 |
| Figura 14 – Pergunta 4 - Qual sua percepção de segurança ao trabalhar com as máquinas a laser (de 1 a 10)?..... | 45 |
| Figura 15 – Pergunta 5 - Você reconhece que necessita de mais capacitação de segurança das máquinas a laser?..... | 46 |
| Figura 16 – Pergunta 6 - Qual máquina a laser você considera com maior risco de acidente?..... | 47 |
| Figura 17 – Face frontal da máquina RPM..... | 48 |
| Figura 18 – Pergunta 7 - Qual máquina a laser você considera mais segura?..... | 49 |
| Figura 19 – Programa Institucional de Segurança na Operação de Sistemas a Laser – PISOSL..... | 53 |
| Figura 20 – Caixa de proteção de uma fonte laser – marca IPG..... | 56 |
| Figura 21 – Imagem da esquerda e centro corresponde ao painel de acesso ao serviço e na direita, corresponde a um dispositivo de intertravamento..... | 56 |
| Figura 22 – Placa de aviso de área controlada – Radiações do Laser..... | 57 |
| Figura 23 – Óculos de proteção para Laser..... | 57 |
| Figura 24 – Ferramenta para comunicar incidentes e acidentes..... | 58 |
| Figura 25 – Fluxo para registro de incidente e condições inseguras..... | 59 |
| Figura 26 – Fluxo para registro de acidente de trabalho..... | 61 |
| Figura 27 – Anexo III do PISOSL..... | 64 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----------|
| Quadro 1 – Efeitos biológicos à pele e aos olhos em função das radiações do laser..... | 19 |
| Quadro 2 – Padrões internacionais de segurança de laser..... | 23 |
| Quadro 3 – Padrões de segurança de laser dos EUA..... | 24 |
| Quadro 4 – Programas de segurança a laser em diversas instituições..... | 26 |
| Quadro 5 – Hierarquia das medidas de controle de redução dos riscos em máquinas..... | 37 |
| Quadro 6 – Anexo II - Ementa de capacitação para operadores de máquinas a laser – PISOSL..... | 51 |
| Quadro 7 – Fluxo para registro de incidente e condições inseguras..... | 59 |
| Quadro 8 – Fluxo para registro de acidentes do trabalho..... | 61 |
| Quadro 9 – Modelo de avaliação e melhoria do programa – PISOSL..... | 66 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1. | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Objetivos | 15 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 15 |
| 2. | LASERS – FUNDAMENTOS E REGULAMENTAÇÕES | 17 |
| 2.1 | Tipos de laser | 18 |
| 2.2 | Efeitos biológicos do laser | 19 |
| 2.3 | Laser em manufatura aditiva | 20 |
| 2.4 | Microusinagem e soldagem a laser | 22 |
| 2.5 | Normas e documentos sobre segurança acerca do laser | 22 |
| 3. | Programas de segurança à radiação laser implementados em instituições de ensino e pesquisa e regulamentação | 26 |
| 4. | METODOLOGIA | 31 |
| 4.1 | Avaliação da percepção de segurança | 34 |
| 4.2 | Desenvolvimento da ementa para capacitação de segurança em ambientes que utilizam máquinas e sistemas a laser | 35 |
| 4.2.1 | Apreciação de risco | 36 |
| 4.2.2 | Procedimento de trabalho e segurança (PTS) | 39 |
| 4.3 | Desenvolvimento do programa de segurança à radiação laser | 40 |
| 4.4 | Orientação e entrega do programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser aos gestores do ISI | 41 |
| 4.5 | Proposta de documento modelo com os requisitos mínimos para elaboração de programas de segurança à radiação laser em instituições, tanto de ensino e pesquisa como para a indústria | 42 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 43 |
| 5.1 | PERCEPÇÃO DE SEGURANÇA | 43 |
| 5.2 | DESENVOLVIMENTO DE EMENTA PARA CAPACITAÇÃO DE SEGURANÇA | 50 |
| 5.3 | Programa de segurança em relação à radiação laser | 52 |
| 5.3.1 | Capítulo 1 do PISOSL - Introdução | 53 |
| 5.3.2 | Capítulo 2 do PISOSL - Definições | 54 |
| 5.3.3 | Capítulo 3 do PISOSL - Responsabilidades | 54 |
| 5.3.4 | Capítulo 4 do PISOSL – Medidas de controle para segurança do laser | 55 |
| 5.3.5 | Capítulo 5 do PISOSL – Investigação de incidentes e acidentes a laser | 57 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.3.6 | Anexo III do PISOSL – Inventário de máquinas a laser do ISI | 64 |
| 5.4 | Orientação e entrega do pisosl aos gestores do ISI | 64 |
| 5.5 | Elaboração de um documento com os requisitos mínimos para elaboração de programa de segurança à radiação laser em instituições, tanto de ensino e pesquisa como para a indústria | 68 |
| 6. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 69 |
| | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 71 |
| | REFERÊNCIAS | 72 |
| | APÊNDICE A - DOCUMENTO “MODELO” PARA IMPLANTAÇÃO DE PROGRAMA INSTITUCIONAL DE SEGURANÇA PARA OPERAÇÃO DE SISTEMAS COM/A LASER | 75 |

1. INTRODUÇÃO

A palavra laser é um acrônimo que significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*. A palavra pode se referir à amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação ou a instrumentos que produzam feixe de luz coerente e monocromática, com espectro nas regiões do infravermelho, ultravioleta ou visível, com aplicações desde medicina até a indústria em equipamentos de alta precisão (MICHAELIS, 2021).

As primeiras pesquisas que possibilitaram a radiação laser foram realizadas por Albert Einstein em 1917. No entanto, apenas em 1960, foi gerado o primeiro feixe de laser da história, construído por *Theodore Harold Maiman* (MAIMAN, 1960).

O primeiro físico brasileiro a trabalhar com o laser foi Sergio Porto na década de 60, quando foi convidado a sair do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) para trabalhar no *Bell Laboratories* com sede em Nova York, antes de ser professor titular da USC – *University of Southern California* em 1967 (SANTANA; JUNIOR, 2010).

Segundo Gutjahr (2016) a utilização do laser nos meios industriais, possibilitou aumentar a capacidade de processos, qualidades finais, diminuição dos custos produtivos e velocidades de processamento de materiais.

Com o avanço do uso dessa tecnologia, os riscos ocupacionais com as exposições à radiação laser vêm aumentando na mesma proporção. Por conta disso, várias organizações e instituições têm se formado ou organizado comitês internos, com objetivos de formação de conhecimentos, padrões, normativas, produtos e programas de segurança, dentre essas, destacam-se: o Instituto Americano de Laser (LIA – *Laser Institute of America*), as Indústrias Rockwell de Laser (EUA, RLI – *Rockwell Laser Industries*) e o Conselho de Segurança do Laser (BLS – *Board of Laser Safety*) nos Estados Unidos da América (EUA) e a Academia de Laser (LZH – *Laser Akademie*) na Alemanha.

Além destas instituições, no cenário internacional, a Comissão Internacional de Proteção Contra as Radiações Não Ionizantes (ICNIRP - *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) fornece documentos e relatórios científicos para proteção dos seres vivos e meio ambiente contra os efeitos prejudiciais das radiações não ionizantes, como as emitidas por laser.

As interações das radiações do laser nos seres vivos podem levar a diversos efeitos biológicos, incluindo efeitos prejudiciais e deletérios. Nos casos de efeitos

prejudiciais aos seres vivos, estes podem ocorrer por diversas vias, tanto relacionadas ao equipamento bem como a fatores humanos como erros e acidentes. Barat (2006) elencou as principais causas relacionadas a acidentes com laser, incluindo aquelas não relacionados diretamente à emissão do feixe, como:

- Exposição dos olhos durante o alinhamento do feixe;
- Elementos óticos mal alinhados;
- Não utilizar proteção ocular designada ou utilização incorreta;
- Mau funcionamento do equipamento;
- Falta de familiaridade e treinamento dos operadores;
- Não cumprimento dos procedimentos operacionais de segurança;
- Inalação de fumos contaminantes gerados pela energia do laser;
- Incêndios causados pela ignição de materiais.

No Brasil, as tecnologias com utilização do laser têm apresentado evoluções importantes, como nas áreas médicas, na indústria e na área de estética, além de sensoriamento, imagem, comunicação, dentre outros. No entanto, faltam normativas e legislações nacionais com propósitos de ampliar os conhecimentos em relação a segurança ocupacional com o uso de laser. Atualmente, até onde se tem conhecimento, não há um órgão nacional que certifique profissionais em segurança com a utilização do laser, assim como já ocorre em outros países, como EUA e Canadá, por exemplo. Em geral esse profissional é denominado *Laser Safety Officer* (LSO) ou Oficial de Segurança a Laser (OSL), com suas atribuições definidas em normas, como, por exemplo, é o caso da norma ANSI Z136.1:2014 - *American National Standard for Safe Use of Lasers*.

Outro ponto a destacar é que institutos de grande porte de pesquisa e ensino, como por exemplo o Instituto Senai de Inovação em Sistemas de Manufatura e Processamento a Laser (ISI) em Joinville – SC e o Instituto Senai de Tecnologia em Solda no Rio de Janeiro - RJ, bem como outras instituições como a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), não possuem um programa institucional de segurança e capacitação voltado para os riscos ocupacionais na utilização do laser.

Considerando as aplicações dos lasers em diversas áreas e que as tecnologias aplicadas no parque fabril brasileiro vêm crescendo de forma significativa,

é de extrema importância desenvolver e implementar um programa de segurança institucional na operação de sistemas a laser.

É importante ressaltar que o fato de não termos no Brasil a regulamentação do desenvolvimento e implementação de um programa de segurança e capacitação em laser, de acordo com as recomendações internacionais vigentes, faz com que não haja padronização das capacitações e limita acesso aos conhecimentos sobre os riscos ocupacionais de todos os envolvidos, quer operadores das máquinas a laser, gestores, bem como pessoas em volta destes processos.

Vale destacar que embora não se tenha nacionalmente regulamentado os programas de capacitação e segurança em lasers, no Brasil a Norma Regulamentadora 12 - Segurança de Máquinas e Equipamentos (NR-12), aborda no Anexo II o conteúdo programático da capacitação para operadores de máquinas e equipamentos (NR-12, 2021).

Para realizar a capacitação de acordo com a NR-12, é necessário realizar uma apreciação de risco em cada máquina existente no local, observando e classificando os lasers de acordo com a sua aplicação. Essa aplicação pode ser feita conforme a norma ANSI Z-136.1:2014.

Diante disso, considerando os efeitos biológicos associados, que grandes instituições de pesquisa e ensino no Brasil possuem diversos lasers e que atualmente o ISI, maior instituto de processamento a laser do Brasil não possui um programa de segurança e capacitação ao laser, iniciou-se uma abertura da linha de pesquisa em segurança com o laser neste projeto de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB). A partir disso, começou-se dentro da área de Física Médica, a busca por regulamentações e documentos internacionais para entender como se dá o processo de desenvolvimento de programas de segurança e a harmonização de termos, nomenclatura e grandezas relacionados as aplicações da radiação laser.

O estágio inicial dessa pesquisa partiu da fase de conhecimento da norma americana ANSI Z-136.1:2014, juntamente com a NR-12 e com outros programas já implantados no mundo. Desta maneira, foram estabelecidos os objetivos do presente trabalho, referentes à elaboração de um programa de segurança e capacitação em laser, inicialmente aplicado as necessidades do ISI, buscando o conhecimento e disseminação da cultura de segurança ocupacional, bem como a redução de acidentes e incidentes com o uso do laser e padronização das capacitações de

operação e segurança em máquinas e equipamentos a laser, podendo ser expandido e aplicado em outras instituições com lasers de diferentes classes.

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos. No capítulo 1 são apresentados os objetivos deste trabalho, bem como as motivações para sua realização. Os fundamentos teóricos assim como as normas de segurança e documentos pertinentes que embasam esse trabalho são apresentadas no capítulo 2. No capítulo 3 é feito um levantamento dos principais programas de segurança em laser em instituições de grande porte. A metodologia está descrita no capítulo 4. Os resultados e as discussões são descritos e apresentados no capítulo 5 e as considerações finais são apresentadas no capítulo 6. O programa institucional de segurança desenvolvido para o ISI foi entregue a direção do instituto e encontra-se como documento complementar no repositório da UTFPR. O modelo de programa institucional que pode ser utilizado por outras instituições de pesquisa, ensino e indústrias é apresentado como apêndice dessa dissertação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e propor um programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser, num centro de pesquisa para a indústria, em conformidade com os requisitos de segurança ocupacional dispostos nas normas e legislação nacional vigente, como a NR-12, e considerando as recomendações internacionais vigentes mais recentes, no momento a norma internacional americana, ANSI – Z 136-1:2014.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar a percepção de segurança na ótica dos profissionais e usuários de laser do ISI para implantação do programa de segurança à radiação laser;
- Desenvolver uma ementa para capacitação de segurança aos operadores de máquinas a laser para atendimento às normas nacionais e internacionais, tomando como base uma das oito máquinas a laser do ISI;

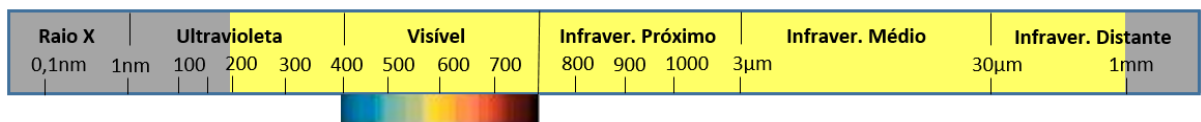
- Desenvolver um documento com uma estrutura de governança - funções e responsabilidades, que requeira monitoramento e atualizações quando necessárias, seguindo um modelo *Plan, Do, Check e Act* (PDCA);
- Orientar e entregar o programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser para os gestores do ISI;
- Deixar documentado um modelo de programa com os requisitos e procedimentos para criação de programas institucionais de segurança em relação à radiação laser em instituições, tanto de ensino e pesquisa como para a indústria.

2. LASERS – FUNDAMENTOS E REGULAMENTAÇÕES

O laser, assim como todas as outras ondas de luz, é uma forma (ou onda) de radiação eletromagnética. A luz é definida como a radiação eletromagnética que torna os objetos visíveis, ou seja, é captada pelo olho humano. Essa luz visível tem comprimento de onda entre 400 e 700 nm. No entanto, o Laser pode ter um comprimento de onda que varia aproximadamente de 180 nm a 1 mm.

Na Figura 1, a parte sombreada em amarelo ilustra o intervalo de comprimento de onda próprio da radiação laser, que vai de 180 nm a 1mm, ou seja, do ultravioleta ao infravermelho distante.

Figura 1 – Intervalo do espectro eletromagnético onde o laser atua



Fonte: Adaptado - Laser Institute of America

Hecht (1986) apresenta que o laser é composto por três elementos: o material ou meio (gasoso, líquido ou sólido) que gera a luz do laser, o estimulador da radiação (ótico, elétrico, químico, etc.) que provê a energia necessária para que o meio gere luz e a cavidade ótica ou ressonador, responsável pela concentração da luz gerada e por sua emissão na forma contínua ou pulsada.

O estimulador, ou também denominada fonte de bombeamento, pode ser uma descarga elétrica, uma lâmpada ou outro laser.

O ressonador tem como função fazer com que os fótons que emergem do meio ativo voltem para ele, produzindo mais emissão estimulada. Dentro do ressonador, ocorrem inúmeras emissões estimuladas de fótons, resultando na amplificação da luz. Então, com dois espelhos, um 100% reflexivo e outro parcialmente reflexivo produzem deslocamentos repetidos dos fótons, de um lado para o outro, através do comprimento do meio ativo.

Algumas das características marcantes do laser são sua luz ser monocromática, coerente, além de ser colimada, possibilitando a propagação como um feixe (Bagnato, 2001). Portanto, se verificarmos o espectro da luz laser (Figura 2), veremos apenas uma linha, mostrando que ela é composta de apenas um comprimento de onda, enquanto qualquer outra fonte de luz é formada por vários comprimentos de onda.

Figura 2 - Comprimento de onda de uma luz incandescente e do laser



Fonte: Bagnato (2001)

2.1 Tipos de laser

Existem vários tipos de laser e eles são classificados de acordo com o estado ou as propriedades físicas do meio ativo. Podem ser:

- Sólidos: utilizam cristais ou vidros como meio de emissão de fótons;
- Líquidos: utilizam corantes em solução líquida fechados em um frasco de vidro;
- Gás: (lasers de hélio e hélio-neônio), uma corrente elétrica é descarregada através de um gás para produzir luz;
- Químicos: alimentados por uma reação química e pode atingir altas potências em funcionamento contínuo.
- Semicondutores: compostos principalmente de um diodo semiconductor para produzir um feixe de luz.

No processamento de materiais, os sistemas de lasers de CO₂, Nd:YAG e fibra são os mais usuais, embora os lasers de diodo também são amplamente aplicados (Steen e Mazumder, 2010).

Seguindo as recomendações da norma americana ANSI Z-136.1:2014, um programa de segurança à radiação laser deve ser implementado a partir dos lasers classe 3 e 4. Segue abaixo a definição dessas classes:

Classe 3B: Esses lasers de potência média ou sistemas de laser operando nas regiões visível ou não visível podem ser perigosos sob condições de visualização por reflexão intravascular (direta) ou especular (semelhante a um espelho).

Classe 4: Esses lasers de alta potência e sistemas a laser são capazes de causar danos agudos aos olhos e à pele com duração de curto prazo (<0,25 segundos), nos casos de exposições a reflexos diretos, especulares ou difusos. São capazes de inflamar determinados materiais e combustíveis, mesmo com reflexos difusos.

2.2 Efeitos biológicos do laser

Embora a radiação laser seja classificada como não ionizante, esta pode apresentar riscos aos seres vivos.

A maioria dos danos provocados por esse tipo de radiação se deve ao efeito térmico, ou seja, aquecimento dos tecidos que absorvem a radiação laser.

O risco ocupacional pode ser reduzido se o perigo for percebido. Os principais perigos de um laser são: danos aos olhos, danos à pele e perigos elétricos (Steen & Mazumder 2010). A redução dos efeitos danosos pelas radiações do laser tem muita relação com a cultura de segurança. Tornar os usuários do laser mais conscientes dos riscos potenciais, contribuirá para redução dos efeitos prejudiciais em função das radiações do laser (Barat, 2014). Desse modo, é fundamental que os usuários de equipamentos e sistemas a laser sejam treinados e tenham conhecimento dos efeitos biológicos.

Os efeitos biológicos da luz laser no olho, dependem do comprimento de onda, uma vez que a luz de diferentes comprimentos de onda difere sua capacidade de penetrar através de componentes oculares do olho. Em especial, os lasers na faixa do visível são particularmente perigosos, pois o olho humano focaliza o feixe na retina e esta pode sofrer queimaduras.

O Quadro 1 apresenta os principais efeitos adversos nos olhos e pele humanas em função do comprimento de onda em que o laser atua.

Quadro 01 – Efeitos biológicos na pele e nos olhos em função da exposição as radiações do laser de diversos comprimentos de onda.

| Comprimento de Onda | Olho | Pele |
|---------------------|--------------------------------------|---|
| UV-C (100 - 280nm) | | Eritema (queimadura solar) Câncer de pele |
| UV-B (280 - 320nm) | Fotoceratite Catarata fotoquímica | Envelhecimento cutâneo acelerado Câncer de pele |

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| UV-A (320 - 400nm) | | Escurecimento do pigmento Reações fotossensíveis Queimadura na pele |
| Visível (400 - 700nm) | Fotoquímico Lesão térmica da retina | Reações fotossensíveis Queimadura na pele |
| IR-A (700 - 1400nm) | Queimaduras na retina Catarata | Queimadura na pele |
| IR-B (1400 – 3000 nm) | Queimadura da córnea Chama aquosa Catarata | Queimadura na pele |
| IR-C (3000 – 10 ⁶ nm) | Apenas queimadura da córnea | Queimadura na pele |

Fonte: Adaptado – Programa de segurança da Universidade Estadual de Ohio – EUA - jun 2020

Para evitar ou minimizar os efeitos biológicos das radiações do laser, foram estabelecidos os limites de exposições, ou valores de exposição máxima permitida (EMP), com base nos melhores conhecimentos científicos e experimental e adaptados sempre que uma nova experiência justificasse uma mudança dos valores anteriores (TRÄGER, 2012).

As EMPs representam o nível de radiação laser ao qual, em circunstâncias normais, pessoas podem ser expostas sem sofrer efeitos adversos, aos olhos ou a pele, imediatamente ou após um longo tempo e estão relacionados com o comprimento de onda da radiação, a duração do pulso ou a duração da exposição.

2.3 Laser em manufatura aditiva

A Manufatura Aditiva (MA), ainda muito conhecida como impressão 3D, é um dos pilares da quarta revolução industrial, conhecida como indústria 4.0. (ALMEIDA, 2021).

A norma ASTM F2792 – 12a (2013), apresenta as seguintes categorias de processos de MA:

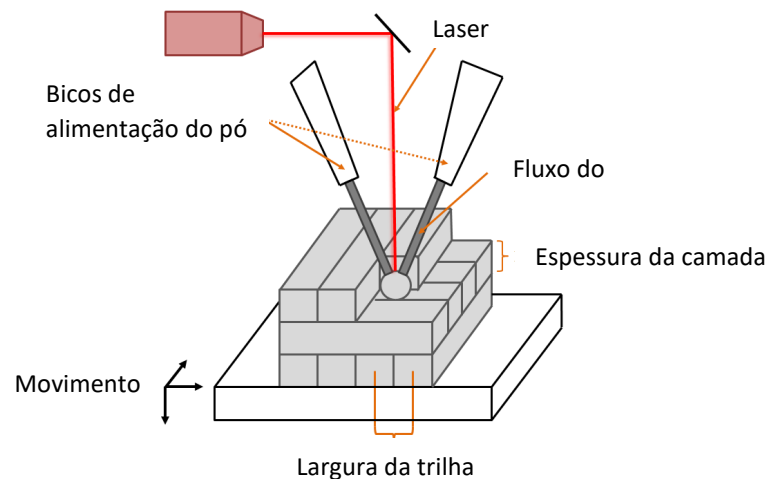
- *Binder jetting* – é um processo de fabricação aditiva no qual um agente de ligação líquido é depositado seletivamente para unir materiais em pó;
- *Directed Energy Depositions* – é um processo de MA no qual a energia térmica concentrada é usada para fundir materiais à medida que vão sendo depositados.
- *Material Extrusion* - processo de MA no qual o material é dispensado seletivamente através de um bico ou orifício.

- *Material Jetting* – é um processo de MA no qual gotículas de material de construção são depositadas seletivamente.
- *Powder Bed Fusion* – é um processo de MA em que a energia térmica funde seletivamente regiões de uma camada de pó.
- *Sheet Lamination* – é um processo de MA em que folhas de material são coladas para formar um objeto.
- *Vat Photopolymerization* – é um processo de MA em que o fotopolímero líquido em uma cuba é seletivamente curado por polimerização ativada por luz.

Considerando que a MA é um dos pilares da indústria 4.0 e que esse movimento vem a cada dia ganhando espaço no mundo acadêmico e gradativamente na indústria nacional, é notório a relevância das atenções às radiações laser.

Tecnologias de MA baseadas em laser, como fonte de energia, foram descobertas na década de 1980, sendo a *Powder Bed Deposition* (PBF) e *Directed Energy Deposition* (DED) (Figura 3), os dois métodos mais conhecidos e comercializados atualmente (ALMEIDA, 2021).

Figura 3 – Esquema de um típico processo DED para laser em pó



Fonte: Adaptado Gibson; Rosen e Stucker (2015)

Os primeiros sistemas de MA foram baseados na tecnologia laser. As razões são que os lasers fornecem um feixe de energia de alta intensidade e que pode ser movido muito rapidamente de forma controlada com o uso de espelhos direcionais. Como a MA requer que o material em cada camada seja solidificado ou unido de

maneira seletiva, os lasers são ideais para uso, desde que a energia do laser seja compatível com os mecanismos de transformação dos materiais. Para processos em pó, por exemplo, a função do laser é fundir o material de forma controlada sem criar um acúmulo muito grande de calor, de modo que quando a energia do laser é removida, o material fundido solidifica novamente e de forma muito rápida (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2015).

2.4 Microusinagem e soldagem a laser

Além da MA, a microusinagem e soldagem também podem utilizar o laser em seus processos.

Para Dahotre (2008), diversos processos podem ser empregados para a texturização de superfícies por microrremoção, como a microsusinagem por energia térmica (laser e eletroerosão), mecânica (jateamento, retificação e ensaio de microdureza) e eletroquímica. Dentre esses, o laser se destaca por apresentar bom controle geométrico e dimensional, baixa contaminação, alta velocidade de processo e alta flexibilidade.

Ribeiro et al. (2000) afirma que o processo de soldagem por laser é um processo que apresenta alta densidade de energia com uma alta taxa de resfriamento. Ainda, o processo laser tem como característica produzir juntas com uma zona termicamente afetada e zona de fusão muito estreitas, o que pode ser vantajoso sobre os processos convencionais.

2.5 Normas e documentos sobre segurança acerca do laser

Os limites de exposição segura à radiação laser para olhos e pele são emitidos pela *International Commission for Non-ionizing Radiation Protection* (ICNIRP). O principal padrão internacional para segurança de laser é a norma IEC 60825-1, publicado em Genebra pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC – *International Electrotechnical Commission*). Este padrão define o limite de emissão acessível (AEL – *Accessible Emission Limit*) para cada um dos vários produtos a laser e especifica requisitos para produtos a laser, incluindo rotulagem, de acordo com a classe do produto. Também define limites seguros de exposição a laser, como a EMP. O padrão IEC é adotado na Europa como EN 60825-1 e é obrigatória sua aplicação nos equipamentos e sistemas a laser sob uma série de Diretivas Europeias, incluindo a Diretiva de Baixa Tensão, a Diretiva de Máquinas e o Diretiva de Dispositivos.

Enquanto os AEL definem os limites de emissão dos vários produtos a laser, as EMP são utilizadas para avaliar se um determinado nível de exposição a radiações do laser é seguro ou não. Eles também podem ser usados para determinar a distância de perigo, ou seja, a distância do laser dentro da qual pode existir risco de exposição. Isso pode ser um fator muito importante na avaliação do risco. HENDERSON e SCHULMEISTER, 2004)

No Quadro 2, são listadas a família de normas IEC voltadas para o laser:

Quadro 2 - Padrões internacionais de segurança de laser

| Referência | Título |
|-------------------|--|
| IEC 60825-1 | Classificação de equipamentos, requisitos e guia do usuário |
| IEC 60825-2 | Segurança de sistemas de comunicação de fibra óptica |
| IEC 60825-3 | Orientação TR* para displays e shows de laser |
| IEC 60825-4 | Protetores de laser |
| IEC 60825-5 | Lista de verificação do fabricante TR para IEC 60825-1 |
| IEC 60825-6 | Segurança TS** de produtos com fontes ópticas, utilizados exclusivamente para visíveis transmissão de informações ao olho humano |
| IEC 60825-7 | Segurança TS de produtos que emitem radiação óptica infravermelha, exclusivamente usado para transmissão e vigilância sem fio 'ar livre' (NOHD <2,5 m) |
| IEC 60825-8 | Diretrizes TR para o uso seguro de equipamentos médicos a laser |
| IEC 60825-9 | Compilação de TR de exposição máxima permitida à radiação óptica incoerente |
| IEC 60825-10 | Diretrizes de aplicação de segurança do laser e notas explicativas |

*TR significa um Relatório Técnico e **TS uma Especificação Técnica, caso contrário, o documento é um padrão completo

Fonte: Adaptado - International Comissão Eletrotécnica (IEC)

Nos Estados Unidos, todos os produtos a laser vendidos ou oferecidos para venda devem seguir os requisitos do Padrão Federal de Desempenho para Produtos Laser (21 CFR 1040). Esses produtos devem ser registrados no *Center for Devices and Radiological Health* (CDRH) (HENDERSON e SCHULMEISTER, 2004).

Além disso, para usuários de laser, a ANSI emite uma série de padrões de segurança cobrindo diferentes aplicações de laser. Este padrão também define uma classificação diferente daquele do CDRH, que se destina para lasers não comerciais, como equipamentos de pesquisa. Uma lista completa das normas ANSI para padrões de segurança do laser é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Padrões de segurança de laser dos EUA

| Referencia | Titulo |
|-------------------|---|
| ANSI Z136.1 | Padrão Nacional Americano para o Uso Seguro de Lasers |
| ANSI Z136.2 | Padrão Nacional Americano para o Uso Seguro de Fibra Ótica Sistemas de comunicação que utilizam fontes de diodo laser e LED |
| ANSI Z136.3 | Padrão Nacional Americano para o Uso Seguro de Lasers em Cuidados de Saúde - Instalações |
| ANSI Z136.5 | Padrão Nacional Americano para o Uso Seguro de Lasers nas Instituições de Educação |
| ANSI Z136.6 | Padrão Nacional Americano para o Uso Seguro de Lasers ao Ar Livre |
| ANSI Z136.7 | Padrão Nacional Americano para Teste e Rotulagem de Equipamentos de Proteção a Laser |
| ANSI Z136.8 | Padrão Nacional Americano para Uso Seguro de Laser em Pesquisa, Desenvolvimento ou Teste |
| ANSI Z136.9 | Padrão Nacional Americano para Uso Seguro em Ambientes de Fabricação |

Fonte: Adaptado - *Laser Institute of America (LIA)* em nome do *American National Standards Institute (ANSI)*

Os usuários desses padrões devem garantir que a versão publicada mais recentemente seja usada. O *Laser Institute of America - LIA*, também publica uma série de guias práticos sobre vários aspectos da segurança do laser.

Há no Brasil a NR-15, norma regulamentadora das Atividades e Operações Insalubres, com quatorze anexos. Dentre os anexos, o de número sete é relativo às radiações não ionizantes. Esse anexo, composto por apenas três parágrafos, estabelece que:

- São radiações não ionizantes as microondas, as ultravioletas e o laser;
- As operações ou atividades que exponham os trabalhadores às radiações não ionizantes, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres, em decorrência de laudo de inspeção realizada no local de trabalho;
- As atividades ou operações que exponham os trabalhadores às radiações da luz ultravioleta na faixa entre 320 a 400 nanômetros não serão consideradas insalubres.

Já em termos de legislação nacional em segurança de máquinas e equipamentos, temos a norma NR-12, que estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho com máquinas e equipamentos, tanto

novas como usadas, no que diz respeito aos seus aspectos de fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, abrangendo as diversas interações com os trabalhadores em todas as fases de projeto, utilização, transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte.

Além disso, a NR-12 traz informações acerca da capacitação dos operadores, dos aspectos ergonômicos para o trabalho em máquinas e equipamentos, bem como das instalações em que se encontram, incluindo arranjo físico, áreas de circulação e armazenamento de materiais em torno de máquinas e sinalizações de advertência (NR – 12, 2021).

3. PROGRAMAS DE SEGURANÇA À RADIAÇÃO LASER IMPLEMENTADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO E PESQUISA E REGULAMENTAÇÃO

De acordo com a norma ANSI Z-136-1:2014, um programa de segurança em relação à radiação laser deve ser estabelecido pelo empregador com o seguinte escopo:

- a) Designação de um indivíduo como o OSL (Oficial de Segurança a Laser) com autoridade e responsabilidade para efetuar a avaliação e controle dos riscos do laser, bem como monitorar e fazer cumprir as normas e regulamentos exigidos;
- b) Treinamento de pessoal autorizado (OSL, operadores de máquinas a laser, pessoal de serviço e outros) na utilização segura de lasers e sistemas de lasers e, conforme aplicável, a avaliação e controle dos riscos do laser. Isso pode ser realizado por meio de programas de treinamento;
- c) Aplicação de medidas de controle adequadas para a mitigação dos riscos do laser;
- d) Investigação de incidentes, incluindo a comunicação de supostos sinistros pelo OSL, preparação de planos de ação para a prevenção de futuros;
- e) Exames médicos apropriados;
- f) Formação de um Comitê de Segurança do Laser quando o número, riscos, complexidade e / ou diversidade das atividades do laser justificar.

No Quadro 4, podemos observar vários Programas de Segurança já estabelecidos em diversas instituições de ensino, pesquisa e serviços, bem como o que é incorporado em cada um deles.

Quadro 4 – Programas de segurança a laser em diversas instituições

| | | INSTITUIÇÕES | | | | | | |
|--------------------------------|-----|---------------------------------------|--|---|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| | | Universidade de Rochester EUA-2019 | Instituto de Tecnologia da Geórgia EUA - 2021 | Universidade de Carnegie Mellon – EUA - 2020 | Instituto Nacional de Saúde - EUA | Universidade da Virginia - EUA | Universidade de Ohio - EUA - 2020 | Universidade da Florida - EUA - 2015 |
| PROGRAMAS DE SEGURANÇA A LASER | I | Introdução | Política e Escopo | Introdução | Introdução | Introdução | Introdução | Introdução |
| | II | Responsabilidades | Siglas – Abreviaturas e Definições | Responsabilidades | Escopo | Responsabilidades | Definições | Regulamentos e Normas Aplicáveis |
| | III | Treinamento | Responsabilidades de Organização | Inventario | Responsabilidades | Classificação de Laser | Responsabilidades | Organização e Responsabilidades do Programa |
| | IV | Classificação de Laser | Formação - Treinamentos | Classificação de Laser | Definições | Aquisição, Transferência e Descarte de Laser | Procedimentos de Emergência | Oficial de Segurança do Laser (OSL) |

| | | | | | | | | |
|----------|-------|--|---|---|---|--|---|--|
| | V | Perigos do Laser | Medidas de Controle | Medidas de Controle | Programa | Medidas de Controle | Classificação de Laser | Presidente do Departamento |
| | VI | Requisitos Gerais de Segurança a Laser | Perigos | Controles Administrativos | Referencias | Barreiras e Equipamentos de Proteção | Medidas de Controle | Pesquisador Principal |
| | VII | Controle para Laser Classe 2 | Uso do Laser ao Ar Livre | Formação - Treinamentos | Apêndices | Sinais de Alerta, Etiquetas em Equipamentos a Laser e Equipamentos de Proteção | Convertendo para um sistema de Laser Classe 1 | Usuário do Laser (UL) |
| | VIII | Controle para Laser Classe 3 e 4 | Ponteiros a Laser | Vigilância Médica | | Etiquetagem de Equipamentos de Laser e Equipamentos de Proteção | Áreas Controladas | Classificação do Laser |
| | IX | Convertendo a um gabinete Classe 1 | Eliminação de um Laser | Incidentes de Exposição e Procedimentos de Emergência | | Controle de Chaves | Equipamentos de Proteção Individual | Medidas de Controle |
| | X | Possíveis exposições ao Laser | | Inspeções | | Perigos sem feixe | Sinais e Etiquetas | Áreas Controladas |
| | XI | Vigilância Médica | | Riscos sem Feixe de Laser | | Treinamento | Treinamentos | Equipamentos de Proteção Individual |
| | XII | | | | | Acidentes de Laser | Perigos para Olhos e Peles | Sinais de Alerta e Etiquetas |
| | XIII | | | | | Lasers Incorporados, uso de laser ao Ar Livre e Fibra Óptica para transmissão e Robótica | Perigos sem Feixe | Treinamentos |
| | XIV | | | | | Manutenção de Registros | | Riscos para os Olhos e Pele |
| | XV | | | | | | | Perigos sem Feixe |
| | XVI | | | | | | | Requisitos Especiais para IR, UV e Fibras Ópticas |
| | XVII | | | | | | | Aquisição, Transferência e Descarte de Laser |
| | XVIII | | | | | | | Acidentes e Incidentes com Laser |
| | XIX | | | | | | | Referencias |
| APÊNDICE | 1 | Classificação de risco para lasers de ondas contínuas | Padrões incorporados por referência | | Formulário de Pesquisa de Segurança a Laser | Principais Práticas de Segurança do Laser | Guia de Preparação do Procedimento Operacional Padrão | Glossário de Termos |
| | 2 | Medidas de controle para classes a laser (EPI, Sinais) | Formulários de inscrição | | SOP Geral de Segurança a Laser | Modelo do Manual de Segurança do Laser | Diretrizes de Segurança para Alinhamento do Feixe | Diretrizes para Criação de SOP's |
| | 3 | Medidas de Controle Administrativo & Processual para Aulas a Laser | MODELO DE PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (SOP) | | Avaliação e Melhoria do Programa | Instruções e Link para Registros de Laser online | Informações Adicionais | Precauções Gerais de Segurança do Laser por Classe |
| | 4 | Medidas de controle de engenharia para classes a laser | CLASSIFICAÇÃO LASER TÍPICA | | | Amostra da Planta do Laboratório de Laser | | Tabela de Medidas de Controle |

| | | | | | | | |
|----|---|---|--|--|--|--|--|
| 5 | Formulário de Inspeção de Segurança a Laser de Pesquisa | RESUMO DAS MEDIDAS DE CONTROLE PARA AS SETE CLASSES LASER | | | Lista de Verificação de Auto Auditoria | | Diretrizes para Alinhamento de Feixes |
| 6 | Formulário de Registro de Laser | | | | Diretrizes de Alinhamento do Laser | | Procedimentos de Emergência de acidentes com Laser |
| 7 | Modelo de SOP de Laser | | | | Tabela de Seleção de Óculos, Diretrizes de Inspeção e Limpeza | | Diretrizes para Ponto Laser |
| 8 | | | | | Sinais de Advertência de Área Controlada por Laser | | Tipos de Laser Comuns e Comprimentos de Ondas |
| 9 | | | | | Perigos sem feixe | | |
| 10 | | | | | Formação de Conscientização de Segurança do Laser da Folha de Entrada do Visitante | | |
| 11 | | | | | Aspectos de uma Análise de Perigo de Laser | | |
| 12 | | | | | Definições | | |

Fonte: O autor

A Segurança Ocupacional é um sistema composto de muitas partes, incluindo equipamentos, habilidade técnicas, habilidades cognitivas, treinamentos e capacitações, práticas colaborativas, conhecimento de padrões, regulamentos, políticas e diretrizes e compromisso com melhores práticas. E cada uma dessas partes devem ser definidas e trabalhadas, aperfeiçoadas de acordo com a realidade de cada empresa ou de cada processo. Importante mencionar que, um programa de segurança deve ser desenvolvido e aperfeiçoado de acordo com a realidade daquele ambiente e das condições disponíveis.

Logo podemos observar nos programas ilustrados no Quadro 4, que cada instituição estabeleceu seu programa de segurança de uso do laser de acordo com o que entendeu ser o formato mais adequado e funcional.

A norma americana ANSI-Z-136-1:2014, define um escopo mínimo do que se espera de um programa de segurança a laser, mas isso não impede que as organizações possam inserir em seu programa, demais itens que fazem parte de suas políticas de segurança.

Vale ressaltar que a segurança do laser não se resume apenas ao uso de óculos de proteção e colocar uma placa na porta da sala onde se encontra uma

máquina que emite radiação laser em seu processo. O conhecimento e habilidade do usuário e membros da equipe, e o nível de suporte administrativo ao gerenciamento do programa de segurança de laser, determinarão um desempenho favorável para a cultura de segurança com a implantação do PISOSL (Programa Institucional de Segurança na Operação de Sistemas a Laser).

Ao desenvolver um programa de segurança do laser, a primeira pergunta a ser feita é: "Quais padrões e políticas se aplicam?", seguida da etapa de construção, com base na consciência situacional, avaliação de risco e conhecimento de padrões, regulamentos e diretrizes de melhores práticas.

Muitos países têm seus próprios padrões, que contêm requisitos de conformidade na aquisição, instalação, teste, manutenção, operação e uso de lasers. Se não houver padrões nacionais, as instalações podem usar orientações internacionais, como IEC e da *International Standards Organization* (ISO).

A segunda pergunta a ser feita: "O que pode dar errado? "

Cada comprimento de onda, deve ser avaliado quanto aos riscos associados, uma vez que exigirão gerenciamento e procedimentos diferentes.

Conhecer a ciência, os efeitos e interações com o tecido biológico e as aplicações da tecnologia baseadas na radiação laser, ajudarão a compreender o que ocorre quando um laser é ligado e quais riscos podem estar presentes durante cada fase da operação. Uma vez que essas propriedades são bem compreendidas, as aplicações das medidas de controles serão mais eficazes e conseqüentemente os riscos serão reduzidos.

Para compreender a identificação dos perigos associados ao laser, faz-se necessário entender alguns conceitos como:

- Perigos: são aquelas condições potencialmente perigosas associadas a uma exposição imprevista. De acordo com a norma ABNT NBR ISSO 12100:2013, perigo é a fonte potencial de dano;
- Risco: definido como o potencial de um perigo causar dano. É a combinação da probabilidade de ocorrência de um dano e da severidade deste (ABNT NBR ISSO 12100:2013);
- Avaliação de riscos: é o julgamento com base na análise de risco, do quanto os objetivos de redução de risco foram atingidos (ABNT NBR ISSO 12100:2013).

Uma vez que os perigos são identificados, o risco deve ser avaliado.

Logo, as medidas de segurança variam de acordo com os níveis de risco.

O OSL deve entender o nível de interação de cada pessoa com o sistema a laser e suas responsabilidades de trabalho, antes de desenvolver políticas adequadas e procedimentos com base no risco, e não simplesmente adotar documentos genéricos obtidos de fabricantes, materiais de cursos ou outras instituições.

Próxima pergunta a ser feita, "Como vamos garantir uma prática segura?"

As medidas de controle são as ações tomadas para evitar lesões ou exposição aos perigos identificados, e fazem parte da política e do procedimento. As medidas de controle são prescritas pelo programa de segurança e são baseadas nos perigos identificados durante a avaliação de risco. É responsabilidade do OSL fazer cumprir todas as medidas de controle.

Quarta questão: "Como podemos garantir que o programa de laser seja sustentável, atenda às mudanças de regulamentos, padrões e diretrizes? "

As auditorias de segurança devem monitorar a conformidade com os padrões e as políticas e procedimentos das instalações. A auditoria deve ser realizada pelo menos uma vez por ano, ou quando novos sistemas ou procedimentos são iniciados, sob a supervisão do OSL e pelo Comitê de Segurança a Laser (CSL) e realizado por indivíduo qualificado que esteja familiarizado com os riscos do laser e com os requisitos encontrados nas normas. O objetivo é identificar áreas de deficiência e pode incluir: necessidades de capacitações, necessidade de equipamento de segurança, necessidade de revisão da política, medidas de controle adicionais ou revisão dos procedimentos atuais.

Os resultados da auditoria devem ser documentados e relatados ao administrador do programa e ao OSL para ações corretivas.

O compromisso com a conformidade, a vigilância constante e a educação e treinamento contínuos são as chaves para resultados seguros e positivos para todos os envolvidos no desenvolvimento e aplicação de um programa de segurança do laser.

4. METODOLOGIA

Essa pesquisa foi realizada em colaboração com o ISI (Joinville –SC). Esse instituto é dedicado a processos de manufatura avançada e processamentos a laser. As operações do ISI ocorrem sob demanda, a partir de projetos via editais de inovações, como também em parcerias com empresas de grande porte no desenvolvimento de projetos inovadores.

O primeiro passo na idealização de um programa de segurança à radiação laser foi realizar um levantamento das normas nacionais e internacionais existentes sobre o tema riscos ocupacionais com radiações não ionizantes - laser, identificando medidas de controle e treinamentos, buscando reunir num programa, todo um arcabouço já testado mundialmente.

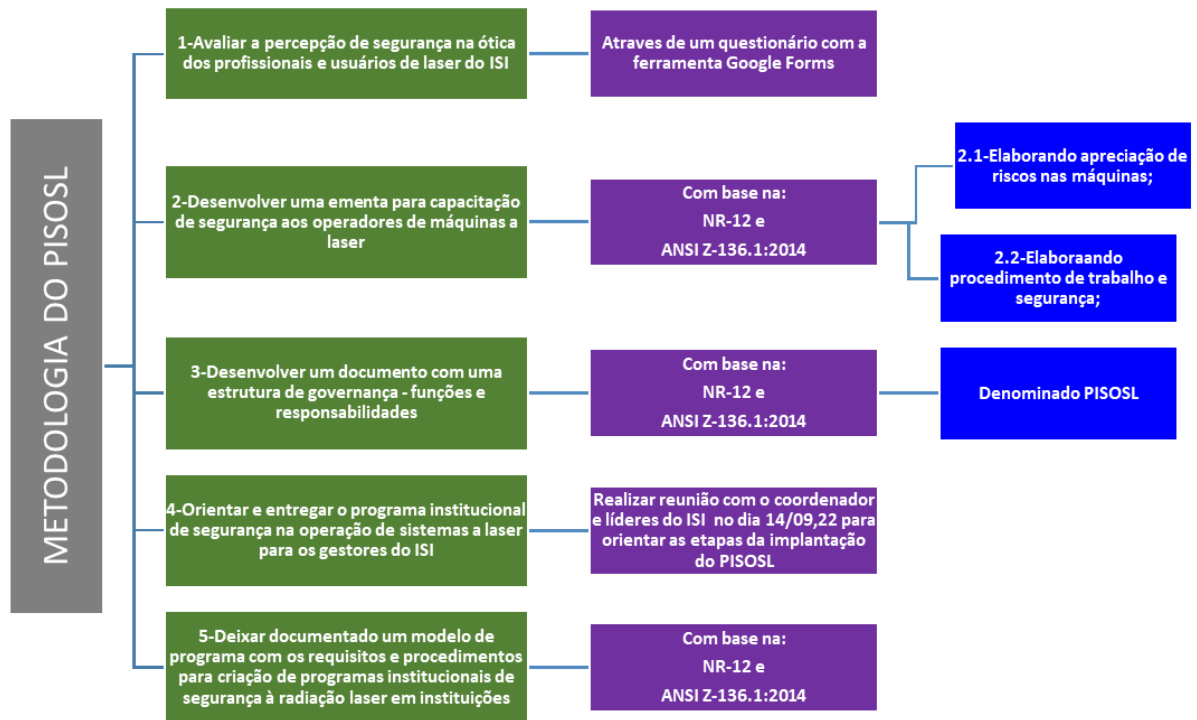
Além dos efeitos biológicos causados pelo laser na pele e nos olhos, outros contaminantes aerodispersóides são lançados no ambiente, a partir do processo de manufatura aditiva, gerando novos riscos ocupacionais. Esses outros agentes como químicos e também riscos elétricos não foram tratados nessa pesquisa, mas citados para futuros trabalhos.

Em seguida, foi iniciado um trabalho de pesquisa observacional. Os trabalhos foram realizados com a interação entre o pesquisador e o ambiente, observando os operadores, as máquinas a laser e as instruções sobre os riscos ocupacionais no local de trabalho. Essas observações ocorreram todas as segundas-feiras das 08:00 as 12:00, no período de março/2021 a fevereiro/2022.

Dentre as técnicas de coleta de dados, foram utilizados: entrevistas, questionário, observações e pesquisa documental.

As demais etapas desse trabalho ocorreram de acordo com o organograma definido abaixo, conforme Figura 4.

Figura 4 – Organograma da metodologia aplicada neste trabalho



Fonte: O autor

O questionário de percepção de segurança com pessoas que trabalham no ISI ocorreu de forma a não envolver seus dados, informações ou materiais biológicos, sendo proposto pela gestão do ISI como parte do processo na melhoria dos processos de segurança e satisfação dos trabalhadores e usuários, por essa razão não passou pelo comitê de ética. Participaram desse questionário 10 trabalhadores que operam efetivamente as máquinas dos laboratórios do ISI. Ao todo, são 15 colaboradores que fazem alguma interação com as máquinas a laser, sendo que, desses 15, 5 estão sempre acompanhados por outros com mais experiência nos processos.

O ISI possui três laboratórios para processamento a laser, com oito máquinas para estas atividades, são eles:

- Laboratório de Manufatura Aditiva (SLM);
- Laboratório de Deposição de Materiais a Laser (LMD);
- Laboratório de Texturização de Superfícies.

No Laboratório de Manufatura Aditiva (SLM), há três máquinas, a Concept Laser, SLM 125 e a RPM 535, como podem ser vistas nas Figuras 5.

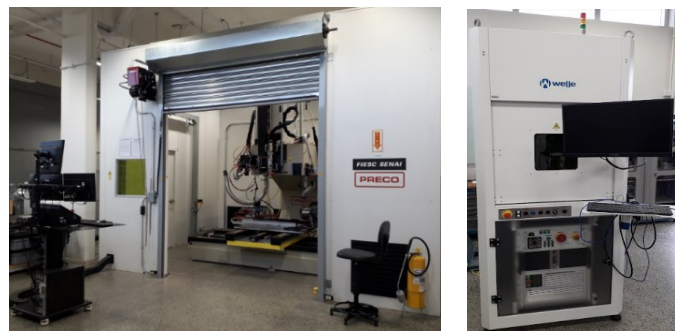
Figura 5 – SLM 125 (máquina à esquerda); Concept Laser (máquina ao centro) e RPM 535 (máquina à direita)



Fonte: O autor

No Laboratório de Deposição de Materiais a Laser (LMD), há duas máquinas, a PRECO e a Welle Laser - Cortes, como podem ser vistas na Figura 6:

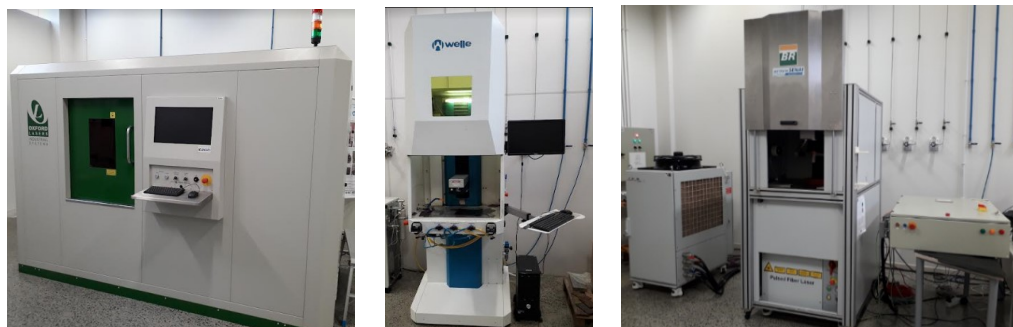
Figura 6 – PRECO (máquina à esquerda) e Welle Laser 1 (máquina à direita)



Fonte: O autor

No Laboratório de Texturização de Superfícies, há três máquinas, são elas, a OXFORD, a Welle Laser - Texturização e uma máquina desenvolvida internamente pelo ISI, como podem ser vistas na Figura 7:

Figura 7 – OXFORD (máquina à esquerda); Welle Laser 2 (máquina ao centro) e Máquina fabricada no ISI (à direita)



Fonte: O autor

4.1 Avaliação da percepção de segurança

Para a realização da pesquisa de percepção de segurança, foi elaborado um questionário com 8 (oito) perguntas através do Google Forms.

No questionário aplicado, foram elaboradas sete questões fechadas e uma questão aberta, com propósito de facilitar a tabulação e análise dos dados obtidos.

O questionário foi disponibilizado aos participantes no grupo de whatsapp interno do ISI através de um link gerado pelo Google Forms na data de 07/12/2021 e encerrado para respostas na data de 29/04/2022.

Após a finalização do período de recebimento de respostas, a própria ferramenta do Google gerou os gráficos de barras para cada pergunta.

Segue abaixo as perguntas elaboradas e registradas no Google Forms para conhecer a percepção de segurança aos profissionais que operam qualquer uma das máquinas a laser do ISI:

- 1- Você recebeu capacitação de operação de máquinas a laser?
- 2- Você recebeu capacitação de segurança para operar uma máquina a laser?
Caso a resposta seja "sim", essa capacitação recebeu abordou quais dos tópicos citados abaixo:
 - 2.1 Fundamentos da operação do laser (por exemplo, princípios físicos, construção);
 - 2.2 Efeitos físicos (danos) da radiação laser nos olhos e na pele;
 - 2.3 Significado das reflexões especulares e difusas;
 - 2.4 Classificações de laser e sistema de laser;
 - 2.5 Medidas de controle (Medidas de Engenharia, de Processos e Administrativo);
 - 2.6 Responsabilidades gerais do empregador e do empregado;
 - 2.7 Não recebi capacitação de segurança de acordo com os tópicos citados acima.
- 3- Você já presenciou algum acidente ou incidente com máquinas de laser?
- 4- Qual sua percepção de segurança ao trabalhar com as máquinas a laser (de 1 a 10)?
- 5- Você reconhece que necessita de mais capacitação de segurança das máquinas a laser?

6- Qual máquina a laser você considera com maior risco de acidente?

- 6.1- SLM 125;
- 6.2- Concept Laser;
- 6.3- RPM 535;
- 6.4- PRECO;
- 6.5- Oxford;
- 6.6- Welle Laser;
- 6.7- Fabricada no ISI.

7- Qual máquina a laser você considera mais segura?

- 7.1- SLM 125;
- 7.2- Concept Laser
- 7.3- RPM 535;
- 7.4- PRECO;
- 7.5- Oxford;
- 7.6- Welle Laser;
- 7.7- Fabricada no ISI.

8- Qual sua sugestão para melhorar a segurança nas operações com máquinas a laser?

4.2 Desenvolvimento da ementa para capacitação de segurança em ambientes que utilizam máquinas e sistemas a laser

Com relação a capacitação de segurança para operação de máquinas e equipamentos, de acordo com a norma brasileira NR-12, todos os trabalhadores que, em algum momento de sua atividade, rotineira ou não, interajam com máquinas ou equipamentos, devem ser capacitados pelo empregador. Essa capacitação deve ser compatível com as funções que o trabalhador desempenha, devendo abordar os riscos da máquina ou equipamento, bem como as medidas de proteção existentes e necessárias para o seu uso.

Considerando que todas as máquinas do Instituto são de laser “Classe 4”, a ementa para capacitação aos operadores de máquinas e especificamente neste trabalho, as de laser, devem seguir a determinação do Anexo II da NR-12 e complementada com as orientações da ANSI Z-136.1, no Apêndice E - Guia para

Organização e Implementação de Programas de Treinamento de Funcionários em Segurança do Laser.

A carga horária definida para a primeira turma de capacitação de segurança dessa máquina SLM – 125 foi definida em 8 horas. De acordo com a NR-12, a carga horária para capacitação de segurança é definida pelo empregador.

4.2.1 Apreciação de risco

Para atender os itens elencados no Anexo II da NR-12 citados anteriormente, é necessário a realização de uma avaliação da máquina denominado Laudo de Apreciação de Riscos.

Para elaboração da apreciação de riscos, de acordo com a NR-12, foram utilizadas as normas ABNT NBR ISO 12100:2013 - Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Apreciação e redução de riscos, a ABNT NBR 14153:2013 - Segurança de máquinas — Partes de sistemas de comando relacionados à segurança — Princípios gerais para projeto, norma essa que define as categorias para sistemas de segurança, a norma NBR NM 272 Segurança de máquinas – Proteções – Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções fixas e móveis, a norma NBR NM-ISO 13857 – Distâncias seguras para impedir acesso a zonas de perigo pelos membros superiores, a norma NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão e a norma NBR 13759 – Segurança de Máquinas – Equipamentos de parada de emergência, aspectos funcionais, princípios para projetos.

Neste documento, são identificados os sistemas de segurança existentes e o que devem ser implantados para atendimento da NR-12, reduzindo dessa forma os riscos de acidentes.

Os sistemas de segurança previstos na norma NR-12 podem ser constituídos por proteções fixas, proteções móveis, dispositivos mecânicos, dispositivos de intertravamento, sensores de segurança, dispositivos eletromecânicos e/ou eletrônicos, sistemas hidráulicos e/ou pneumáticos, dentre outros.

Ainda de acordo com a NR-12, os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender a categoria de segurança conforme apreciação de riscos, com base na norma ABNT NBR 14153:2013 - Segurança de máquinas.

Para estimativa e avaliação dos riscos à cada perigo identificado, foi utilizado o método HRN - *Hazard Rating Number* (STEEL, 1990). Este método utiliza a seguinte fórmula:

$$\text{HRN} = (\text{PE}) \times (\text{FE}) \times (\text{PMP}) \times (\text{NP}) \text{ onde,}$$

(PE) = Probabilidade de Exposição

(FE) = Frequência de Exposição

(PMP) = Probabilidade Máxima de Perda

(NP) = Número de pessoas expostas ao risco

O resultado da equação, ou seja, o grau do risco encontrado pelo HRN deve ser comparado com o Quadro 5, logo, as medidas de controles/adequações devem ser aplicadas seguindo a hierarquia de prioridades de acordo com o grau de risco.

Quadro 5 – Hierarquia das medidas de controle de redução dos riscos em máquinas.

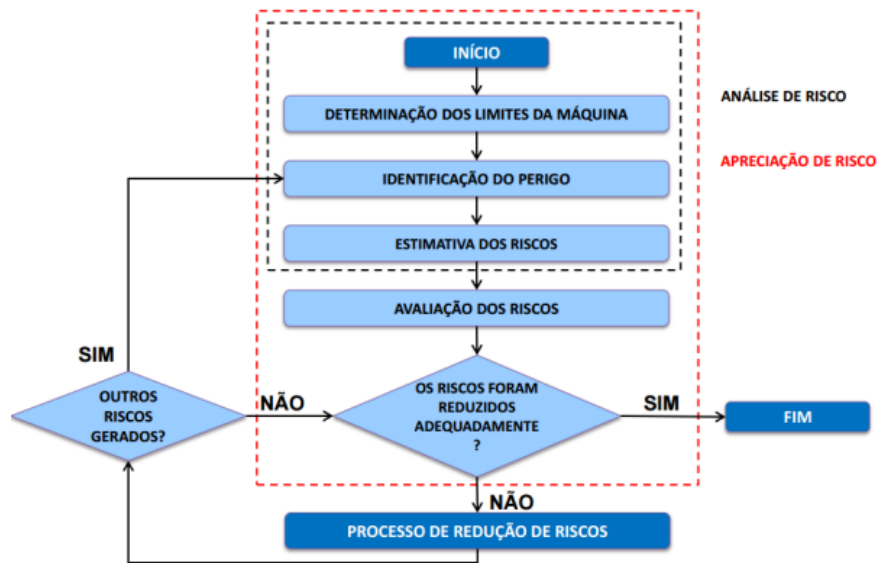
| Números de Classificação de Riscos (HRN) | | |
|--|--------------|--|
| Aceitável | 0 a 1 | Risco aceitável - considerar possíveis ações |
| Muito baixo | 1,1 a 5 | Até 1 ano |
| Baixo | 5,1 a 10 | Até 3 meses |
| Significante | 10,1 a 50 | Até 1 mês |
| Alto | 50,1 a 100 | Até 1 semana |
| Muito Alto | 100,1 a 500 | Até 1 dia |
| Extremo | 500,1 a 1000 | Ação imediata |
| Inaceitável | > 1000 | Parar atividade |

Fonte: Adaptado - STEEL, 1990

Todas as máquinas, independentes do seu tempo de uso, devem ter seus pontos de perigos protegidos, de tal forma que não ofereçam riscos as pessoas que nelas operam.

Citadas as normas e o método para quantificar os riscos, as etapas para elaboração da apreciação de riscos é apresentada na Figura 8, seguindo a norma ABNT NBR ISO 12100:2013 - Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Apreciação e redução de riscos.

Figura 8 – Etapas da Apreciação de Riscos segundo ABNT NBR 12100



Fonte: Adaptado ABNT NBR 12100

Das oito máquinas de processamento a laser existente no ISI, foi definido aleatoriamente a máquina de manufatura aditiva do fabricante SLM, modelo SLM -125 (Figura 9), como exemplo (padrão) para elaboração da apreciação de risco, procedimento de trabalho e segurança, como também o escopo da capacitação de segurança para operadores de máquinas e equipamentos para cumprimento das exigências estabelecidas na NR-12. As características técnicas das demais máquinas do ISI estão contempladas no Anexo III do PISOSL entregue ao ISI.

Figura 9 – Máquina SLM-125 com suas características



Fonte: Adaptado – Inventário de Máquinas do ISI

Na apreciação de riscos da máquina SLM, as avaliações foram realizadas em cada uma das quatro faces da máquina, sendo a face frontal aquela em que há maior interação do operador com a máquina. Em cada uma dessas faces, foram

identificados todos os pontos de perigos e os potenciais danos. Para cada ponto de perigo, foi verificado se havia algum sistema de segurança aplicado, como exemplo: proteção fixa, proteção móvel ou optoeletrônica.

Se na identificação do ponto de perigo, não foi encontrado algum sistema de segurança aplicado, conseqüentemente no parecer técnico foi determinada a aplicação desse sistema, descrevendo a necessidade de cumprir as distâncias de segurança de acordo com as normas específicas, como já citadas anteriormente.

Após a identificação de todos os pontos de perigos, são analisados os dispositivos de acionamentos, como partida, parada, emergência e rearme. Nas análises desses dispositivos são verificadas as tensões de alimentação, se 220 ou 380 volts em corrente alternada (VCA) ou 25 VCA ou 60 VCC (volts em corrente contínua). A norma NR-12 determina que as máquinas fabricadas a partir de 24 de março de 2012 devem operar em extra baixa tensão de até 25 VCA ou de até 60 VCC.

As análises e os pareceres da apreciação de riscos, são de suma importância para as adequações da máquina, caso seja apontado pela apreciação. Também serão fundamentais na elaboração dos procedimentos de trabalho e segurança (PTS) e na elaboração do escopo da capacitação para operação segura de máquinas e equipamentos conforme exigência da NR-12.

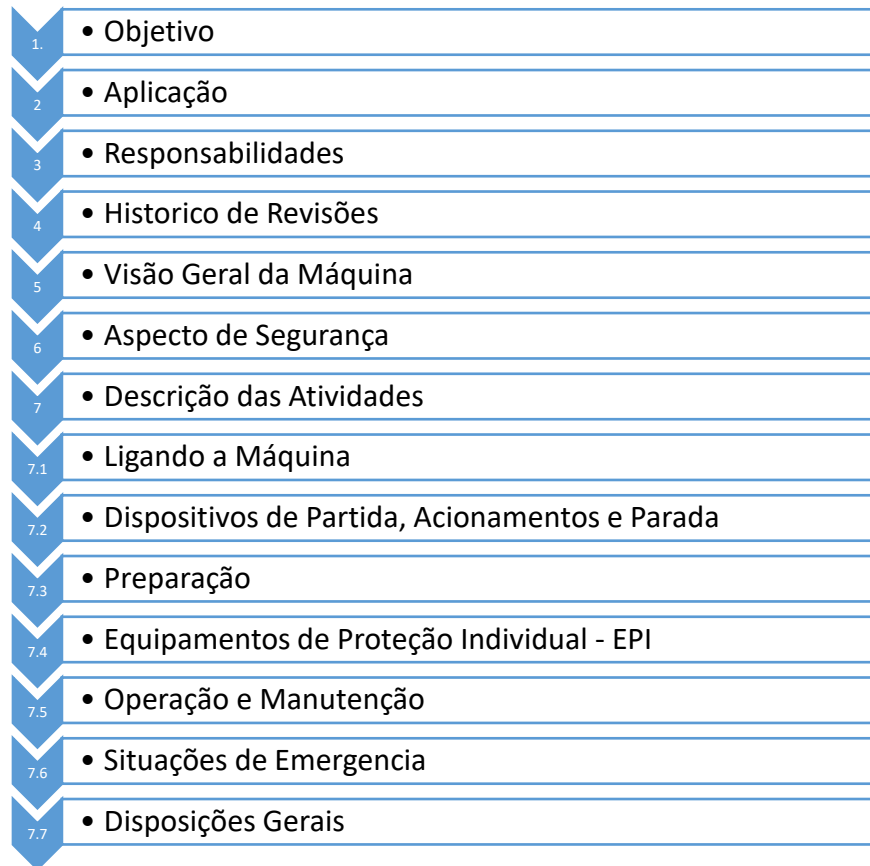
Durante a elaboração da apreciação de riscos na máquina SLM 125, foram necessários o uso de alguns métodos como: entrevista, observações e pesquisa documental (manuais de máquinas).

4.2.2 Procedimento de trabalho e segurança (PTS)

Para a elaboração do PTS, foram necessários reunir manuais de máquinas e equipamentos e alguns modelos de procedimentos de trabalhos já utilizados para manter um padrão da empresa.

Na Figura 10, são elencados os itens abordados na elaboração do PTS para a máquina SLM-125, utilizada nesse trabalho como exemplo para futuro desenvolvimento de PTS para as outras máquinas do ISI.

Figura 10 – Fluxograma para elaboração do procedimento de trabalho e segurança – PTS



Fonte: O autor

Os tópicos abordados nesse PTS, foram elaborados com base no manual da máquina SLM-125, também com base na norma brasileira NR-12 e na apreciação de risco.

4.3 Desenvolvimento do programa de segurança à radiação laser

Os métodos utilizados para elaboração do programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser (PISOSL) foram levantamento de fontes secundárias como normas e programas já implementados em outras instituições, os programas das Universidades Carnegie Mellon e da Virginia e o Manual de segurança a laser da Universidade da Florida nos Estados Unidos.

As normas encontradas e tomadas como referência para esse programa foram a ANSI Z-136.1:2014, IEC 60825-1 e a NR-12.

A norma ANSI Z-136.1:2014, como já citado anteriormente, tem como objetivo fornecer orientações adequadas para o uso seguro de laser e sistemas de laser. A norma IEC 60825-1 trata basicamente da segurança dos produtos laser no que se refere aos danos causados aos olhos e à pele, contendo a classificação dos

equipamentos laser, os requisitos para sua utilização e um guia para o usuário. E a norma nacional NR-12 dá as diretrizes para a segurança de máquinas e equipamentos em todo território brasileiro. Essas diretrizes determinam que todas as máquinas devem ser protegidas, a partir de uma apreciação de riscos e que todo trabalhador antes de iniciar suas atividades, passem por capacitação de segurança aos riscos associados e identificados na etapa da apreciação dos riscos, como já abordado ao longo desse trabalho.

O programa proposto neste trabalho retirou o tópico “Exames Médicos” por considerar que o mesmo deve ser previsto pelo profissional médico do trabalho durante os exames periódicos em função dos riscos ocupacionais previstos nas normas regulamentadoras NR-1 - Disposições Gerais e NR-7 – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional.

Para completar, o PISOSL ainda traz seis anexos, sendo eles:

- a) Anexo I – Perigo e riscos associados ao laser;
- b) Anexo II – Ementa para capacitação a operação segura de máquinas a Laser - Classe 3 e 4;
- c) Anexo III – Inventário de máquinas a laser do ISI;
- d) Anexo IV – Tabelas das EMP (Exposições Máximas Permitidas);
- e) Anexo V - Procedimento de Trabalho e Segurança – PTS – de operação da máquina SLM-125;
- f) Anexo VI – Modelo de avaliação e melhoria do programa PISOSL.

4.4 Orientação e entrega do programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser aos gestores do ISI

No decorrer desse trabalho, todo conteúdo elaborado foi compartilhado com vários profissionais envolvidos nos processos de manufatura aditiva com processamento a laser e também com gestores do ISI.

Sendo que no final da elaboração do programa, no dia 14/09/22, foi realizado uma reunião com o coordenador do ISI, responsável pelos processos a laser e um dos líderes da manufatura aditiva, para apresentar o PISOSL.

O programa foi apresentado numa sala de reuniões e projetada numa tela de TV, no formato PowerPoint. Nessa reunião foram apresentadas as justificativas sobre

a relevância do tema da pesquisa, a estrutura do programa, os benefícios do mesmo e conversado sobre as próximas etapas para implementação do programa.

4.5 Proposta de documento modelo com os requisitos mínimos para elaboração de programas de segurança à radiação laser em instituições, tanto de ensino e pesquisa como para a indústria

O último objetivo específico desse projeto de mestrado foi elaborar um documento com os requisitos mínimos para elaboração de um programa de segurança na operação de sistemas a laser para ser utilizado por qualquer instituição que tenham em seu estabelecimento máquinas e processos com emissão de radiações laser classe 3 e classe 4.

Esse documento modelo é proposto com base no programa desenvolvido para o ISI, para auxiliar as demais instituições que tenham interesses em implantar um programa de segurança semelhante ao desenvolvido para o ISI.

Logo, o escopo é muito similar ao programa do ISI. Os capítulos ou anexos que servem como guia geral ou exemplos como as definições, treinamentos, perigos e riscos associados ao laser, permanecem os mesmos. Os demais itens que são específicos para cada instituição, receberam uma orientação de como pode ser estruturado, para manter a mesma linha de raciocínio, porém nada impede e é até salutar, que a partir desse modelo, surjam novas ideias para enriquecer ainda mais o programa da instituição de forma que seja prático, de fácil entendimento e aplicável do ponto de vista de processo e segurança ocupacional.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado dessa pesquisa, com a elaboração do programa de segurança para os envolvidos nos processos de manufatura a laser no ISI, dá início a formação de uma estrutura de governança, do ponto de vista operacional e de gestão da saúde e segurança ocupacional para o ISI que servirá de modelo para outras instituições, tanto de ensino e pesquisa como para a indústria.

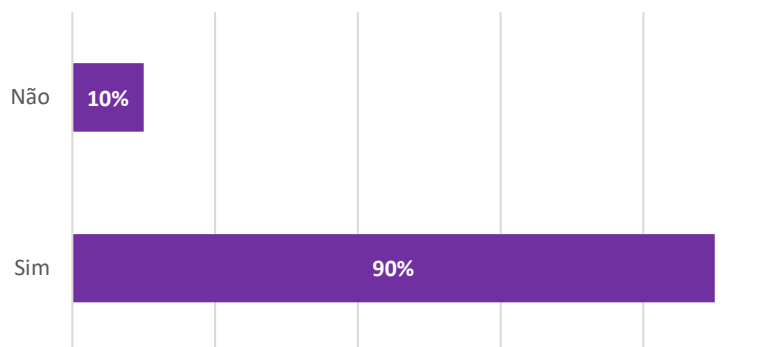
As boas práticas e conhecimentos gerados durante essa pesquisa, foram sendo discutidas com os gestores, usuários e funcionários do ISI e implementadas. Como exemplo, podemos citar: elaboração e implementação de procedimentos de trabalho e segurança nas operações com máquinas a laser.

5.1 Percepção de segurança

A seguir são apresentados e discutidos ponto a ponto a percepção de segurança na ótica dos profissionais de segurança do trabalho, dos usuários (quem opera máquinas com laser) e da gestão do ISI.

Na Figura 11 é ilustrado o resultado da primeira pergunta do questionário sobre a percepção de segurança nas operações com máquinas a laser.

Figura 11 – Pergunta 1- Você recebeu capacitação de operação de máquinas a laser?



Fonte: O autor

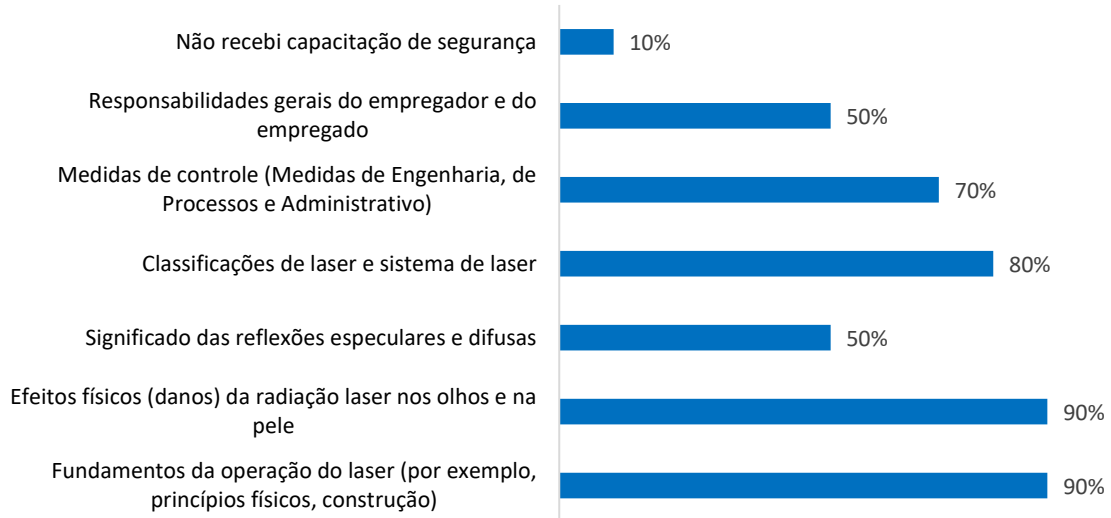
Do rol de participantes, 90% responderam ter participado de capacitação para operação de máquina e 10% afirmaram não ter recebido essa capacitação para operação.

O que se observa é que não há uma uniformidade dos conceitos e da própria capacitação dos trabalhadores que irão operar máquinas de processamento a laser. Isso mostra o quanto esse processo carece da proposta desenvolvida nesse projeto

de mestrado, visando harmonização de termos e um processo padronizado, que atenda as determinações estabelecidas pela NR-12.

Já na Figura 12, o resultado da pergunta número 2, onde questiona “Você recebeu capacitação de segurança para operar uma máquina a laser?”, mostrou que 30% dos participantes desconhecem as medidas de controles existentes ou que deveriam existir para controle dos riscos aos quais estão expostos nas operações de máquinas a laser.

Figura 12 – Pergunta 2 - Você recebeu capacitação de segurança para operar uma máquina a laser? Caso a resposta seja "sim", essa capacitação recebeu quais dos tópicos citados acima?



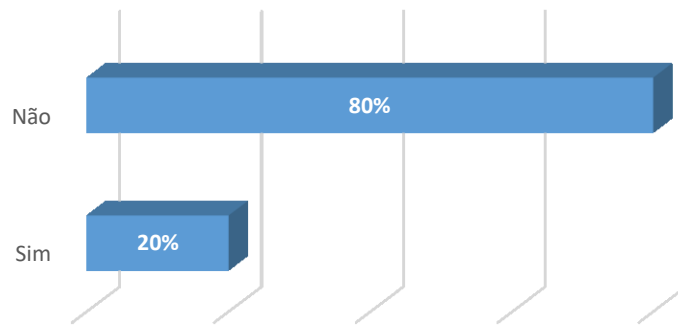
Fonte: O autor

Outro fato relevante, é que, metade dos participantes, ou seja, 50% dos trabalhadores não conhecem as suas e as responsabilidades do empregador, em relação as normas de segurança ocupacional.

Ainda na segunda pergunta, 10% responderam não ter recebido qualquer capacitação de segurança para operar uma máquina a laser, o que pela própria norma de segurança nacional de máquinas e equipamentos NR-12, é algo grave e passivo de multas.

Na Figura 13, podemos observar o resultado da pergunta 3, onde é questionado aos operadores se em algum momento foi presenciado algum incidente ou acidente envolvendo algumas das máquinas a laser.

Figura 13 – Pergunta 3 - Você já presenciou algum acidente ou incidente com máquinas de laser?

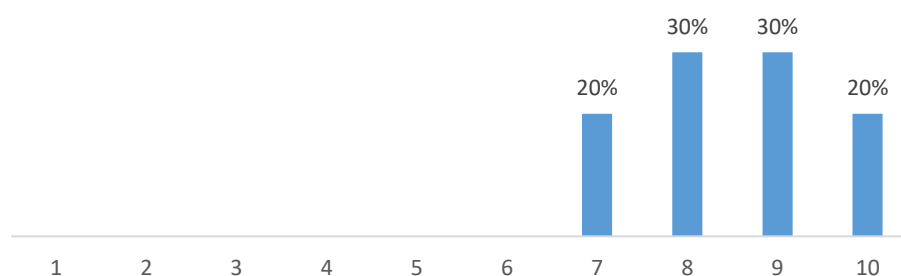


Fonte: O autor

Dos participantes, 20% responderam ter presenciado algum tipo de incidente ou acidente. Os acidentes e incidentes ocorrem por duas situações, ato inseguro ou condição insegura. O ato inseguro está associado a pessoa, ao trabalhador, já a condição insegura, ao ambiente, às condições do local de trabalho. Por isso, esse percentual de 20% ainda pode ser maior, pois os incidentes podem ocorrer em função de atos inseguros e por conta disso, não ter sido revelado o ato.

O resultado da pergunta 4 (Figura 14), onde é questionado os participantes, numa escala de 1 a 10, qual a percepção de segurança ao trabalhar com as máquinas a laser. Nessa escala de percepção de 1 a 10, onde 1 significa pouca segurança nas operações e 10 correspondendo ao nível máximo de percepção de segurança para operar uma das máquinas a laser, a pesquisa mostrou que a sua maioria considera seguro trabalhar com as máquinas a laser do ISI.

Figura 14 – Pergunta 4 - Qual sua percepção de segurança ao trabalhar com as máquinas a laser (de 1 a 10)?



Fonte: O autor

Porém, na pergunta a seguinte (Figura 15), “Você reconhece que necessita de mais capacitação de segurança das máquinas a laser? ” a resposta foi surpreendente pois mais de 90% dos participantes reconhecem a necessidade de receberem mais capacitações em segurança na operação de máquina a laser.

Figura 15 – Pergunta 5 - Você reconhece que necessita de mais capacitação de segurança das máquinas a laser?



Fonte: O autor

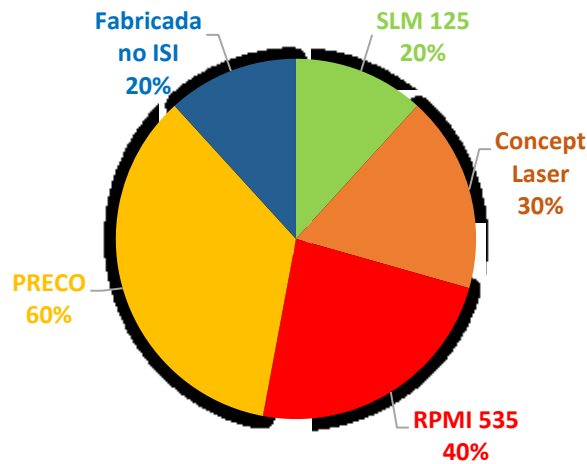
Como pode ser observado, apenas 10% dos trabalhadores consideram não necessitar de mais capacitações de segurança na operação de máquinas a laser.

Todos os trabalhadores que realizam qualquer interação ou intervenção em máquinas e equipamentos devem receber capacitações de acordo com a NR-12.

Nas capacitações, os empregadores devem informar quais riscos os trabalhadores estão expostos e quais as medidas de controles existentes para evitar qualquer tipo de acidente. A NR-12, visando auxiliar a segurança, determina a elaboração de PTS para orientar os trabalhadores sobre os riscos existentes em cada etapa dos processos, tanto na operação normal da máquina, quanto nas etapas de preparação, limpeza e ajustes da mesma.

A Figura 16, mostra o resultado da pergunta onde se questiona “qual máquina a laser você considera com maior risco de acidente? ”.

Figura 16 – Pergunta 6 - Qual máquina a laser você considera com maior risco de acidente?



Fonte: O Autor

Dentre os participantes dos três laboratórios de laser, 60% consideram a máquina da fabricante PRECO com o maior potencial de risco de acidente. Essa percepção pode ser entendida porque o operador necessita de uma maior interação com a máquina nas fases de preparação e ajustes e por possuir quatro cabeçotes de trabalho de operação a laser. Enquanto as outras máquinas a laser possuem apenas um cabeçote de atuação do laser. Ou seja, na PRECO há quatro fontes potenciais de exposição que oferecem risco ao trabalhador.

Outro fato também a ser considerado na operação da máquina PRECO é que o operador entra na zona de risco sem monitoramento de área ao fazer as intervenções de ajustes e preparações, algo que nas demais máquinas do ISI não se observa, já que as zonas de riscos estão sendo controladas por proteções móveis intertravadas.

De acordo com a NR-12, ao realizar qualquer intervenção com a máquina energizada, ou seja, ligada, deve ser atendido os seguintes requisitos:

- a) torne inoperante o modo de comando automático;
- b) permita a realização dos serviços com o uso de dispositivo de acionamento de ação continuada associado à redução da velocidade, ou dispositivos de comando por movimento limitado;
- c) impeça a mudança por trabalhadores não autorizados;
- d) a seleção corresponda a um único modo de comando ou de funcionamento;
- e) quando selecionado, tenha prioridade sobre todos os outros sistemas de comando, com exceção da parada de emergência; e

f) torne a seleção visível, clara e facilmente identificável.

A segunda máquina considerada com maior risco de acidente foi a RPMI 535 (Figura 17). Essa máquina está no laboratório de Manufatura aditiva. Para realizar as preparações e ajustes da máquina, o operador deve manter as portas fechadas e intertravadas, porém em função das dificuldades de visualização do cabeçote, esta atividade está sendo realizada com a porta frontal aberta, possibilitando assim a burla do sistema de segurança. Todavia, a fonte de laser dessa máquina, não ativa enquanto a porta não estiver totalmente fechada, ou seja, com os contatos fechados (chaves de intertravamentos magnéticos e eletromecânicos). Por essas razões, boa parte dos operadores, ou seja, 40%, consideram essa máquina mais perigosa do que as demais.

Figura 17 – Face frontal da máquina RPMI 535 e painel de controle

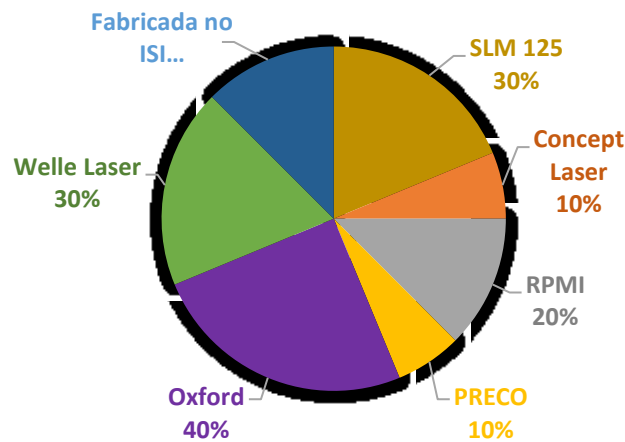


Fonte – O autor

Na Figura 18, é apresentado o resultado da pergunta 7, onde se questiona aos operadores das máquinas a laser, qual delas consideram mais segura.

De acordo com os resultados, a máquina Oxford, foi considerada a mais segura pelos participantes da pesquisa (40%). Em segundo lugar, ficou a SLM 125, como mais segura. A justificativa para os resultados dessa pergunta se dá em razão das interações que o operador tem com a máquina no momento em que a mesma está energizada. Essas máquinas não permitem serem acionadas enquanto estiverem com as portas abertas em função de seus dispositivos de intertravamentos e, conseqüente, monitoradas por interfaces de segurança (relé de segurança, por exemplo).

Figura 18 – Pergunta 7 - Qual máquina a laser você considera mais segura?



Fonte: O autor

As demais máquinas também possuem dispositivos de intertravamentos, porém em algumas etapas dos processos, há riscos associados, dependendo dos cuidados dos próprios operadores, como nas máquinas PRECO e na própria RPMI, onde o trabalhador entra dentro da máquina, interagindo e se expondo a riscos ocupacionais, pois as máquinas podem permanecer energizadas.

De forma resumida, como resultado da pergunta 8, aberta, solicitando sugestões de melhorias, surgiram:

- Quando ocorrer a contratação de um colaborador, sugiro aplicar um treinamento de segurança teórico e prático obrigatório com duração de pelo menos uma semana. Após o treinamento o colaborador receberá o certificado e estará parcialmente apto para operação dos equipamentos. Em seguida cada gestor será responsável por reforçar este treinamento e tomará a decisão de quando este colaborador estará totalmente apto para operação do equipamento;
- Conscientização dos colaboradores sobre os riscos relacionados à exposição ao laser;
- Procedimentos claros de operação (ligar/desligar) e treinamento padronizado para todos;
- Curso de capacitação e aquisição das normas internacionais;
- Capacitação em segurança de Laser;

- Investir em qualificações e certificações com centros de referência na área de segurança laser e na sequência desenvolver e validar procedimentos e rotinas internas dentro da dinâmica e contexto do instituto.

De fato, esses temas elencados nas respostas abertas do questionário reforçam a importância das qualificações e capacitações em segurança do laser. E como complemento dessas ações, destaca-se também o desenvolvimento e implantação do PTS, como medidas de controle de processos e que devem estar condicionados aos treinamentos. Uma vez alterado alguma condição de uma máquina ou do processo se torna necessário a reciclagem das capacitações, como também a atualização dos documentos.

5.2 Desenvolvimento de ementa para capacitação de segurança

Um dos objetivos específicos desse trabalho foi o desenvolvimento de uma ementa para capacitação de segurança a operadores de máquinas a laser para atendimento da norma NR-12, considerando a norma ANSI Z-136.1 para laser Classe 3 e 4, atualmente a mais moderna vigente.

A ementa para capacitação aos operadores de máquinas proposta neste trabalho, seguindo as determinações do Anexo II da NR-12 e complementada com as orientações da ANSI Z-136-1:2014, ficou estabelecida da seguinte forma:

- a) Descrição e identificação dos riscos associados com cada máquina e equipamento e as proteções específicas contra cada um deles;
- b) Fundamentos da operação do laser (por exemplo, princípios físicos, construção);
- c) Efeitos biológicos da radiação laser nos olhos e na pele;
- d) Significado das reflexões especulares e difusas;
- e) Riscos de lasers sem feixe (Riscos adicionais);
- f) Classificações de laser e sistema de laser;
- g) Medidas de controle;
- h) Funcionamento das proteções, como e por que devem ser usadas;
- i) Como e em que circunstâncias uma proteção pode ser removida, e por quem;
- j) O que fazer, se uma proteção foi danificada ou se perdeu sua função;
- k) Quais os princípios de segurança na utilização da máquina ou equipamento;
- l) Segurança para riscos mecânicos, elétricos e outros relevantes;
- m) Método de trabalho seguro;

- n) Sistema de bloqueio durante operações de inspeção, limpeza, lubrificação e manutenção;
- o) Responsabilidades gerais da gestão e funcionário;
- p) RCP (Reanimação Cardiopulmonar) para pessoal de manutenção ou trabalho em lasers com altas tensões expostas e / ou com capacidade de produzir correntes elétricas potencialmente letais.

As alíneas a, h, i, j, k, l, m e n são determinadas pela norma nacional NR-12. Esses temas devem ser abordados e discutidos nas capacitações para todos os tipos de máquinas e equipamentos. Já as alíneas b, c, d, e, f, g, o e p são incorporadas nessa proposta de capacitação, advindas da norma americana ANSI Z-136.1:2014, complementando assim a proposta dessa capacitação. Esses temas abordam de uma forma específica os riscos relacionados ao laser, algo não abordado especificamente pela NR-12.

Segue, no Quadro 6, a distribuição do conteúdo programático com suas respectivas referências.

Quadro 6 – Anexo II - Ementa de capacitação para operadores de máquinas a laser – PISOSL.

| ITEM | CONTEÚDO PROGRAMÁTICO | REFERÊNCIA |
|------|---|---|
| a | Descrição e identificação dos riscos associados com cada máquina e as proteções específicas contra cada um deles; | Apreciação de Riscos de cada máquina do ISI. |
| b | Fundamentos da operação do laser (por exemplo, princípios físicos, construção); | HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. |
| c | Efeitos biológicos da radiação laser nos olhos e na pele; | AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z-136.1. Protective Equipment. USA. 2014. |
| d | Significado das reflexões especulares e difusas; | HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. |
| e | Riscos de lasers sem feixe (Riscos adicionais); | HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z-136.1 . Protective Equipment. USA. 2014. |

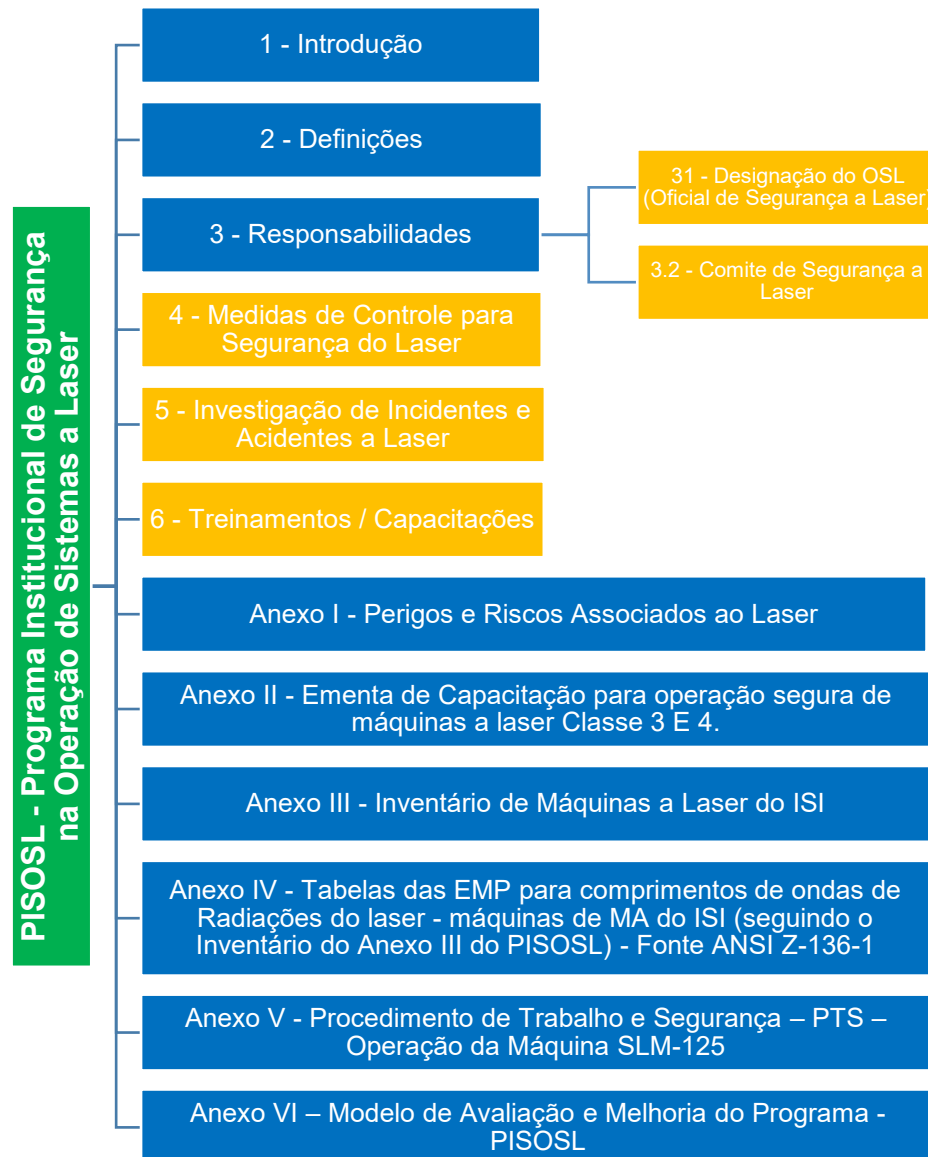
| | | |
|---|--|---|
| f | Classificações de laser e sistema de laser; | AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z-136.1. Protective Equipment. USA. 2014. |
| g | Medidas de controle; | Apreciação de Riscos de cada máquina do ISI e Manuais do Fabricante. HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. |
| h | Funcionamento das proteções, como e por que devem ser usadas; | NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| i | Como e em que circunstâncias uma proteção pode ser removida, e por quem; | |
| j | O que fazer, se uma proteção foi danificada ou se perdeu sua função; | |
| k | Quais os princípios de segurança na utilização da máquina ou equipamento; | |
| l | Segurança para riscos mecânicos, elétricos e outros relevantes; | |
| m | Método de trabalho seguro; | |
| n | Sistema de bloqueio durante operações de inspeção, limpeza, lubrificação e manutenção; | |
| o | Responsabilidades gerais da gestão e funcionário; | |
| p | RCP para pessoal de manutenção ou trabalho em lasers com altas tensões expostas e / ou com capacidade de produzir correntes elétricas potencialmente letais. | https://cpr.heart.org/-/media/CPR-Files/CPR-Guidelines-Files/Highlights/Hghlghts_2020E CCGuidelines_Portuguese.pdf |

Fonte: o autor

5.3 Programa de segurança em relação à radiação laser

O programa de segurança em relação a radiação laser desenvolvido para o ISI consiste em um documento com uma estrutura de governança - funções e responsabilidades, uma estrutura perene, que requer monitoramento e atualizações, seguindo um modelo de melhoria contínua. Esse documento está estruturado com seis capítulos e seis anexos (Figura 19).

Figura 19 – Programa Institucional de Segurança na Operação de Sistemas a Laser - PISOSL



Fonte: o autor

Os itens 3.1, 3.2 do capítulo 3 e os capítulos 4, 5 e 6 do PISOSL abordam os temas recomendados pela ANSI Z-136-1:2014 para a composição mínima de um programa de segurança do laser. Os demais itens são incorporados ao programa de acordo com as necessidades, políticas e diretrizes de cada instituição.

5.3.1 Capítulo 1 do PISOSL - Introdução

No primeiro capítulo do PISOSL foram definidos os objetivos do programa, voltado às especificidades do ISI, com os propósitos pelo qual o programa deve ser implantado e utilizado.

No programa do ISI consta que o objetivo do PISOSL é orientar para que nenhuma radiação laser acima do limite de EMP atinja os olhos ou pele das pessoas envolvidas nos processos a laser, ou a qualquer pessoa que tenha acesso aos laboratórios laser independente da periodicidade. Além disso, o PISOSL é projetado para garantir proteção adequada contra outros perigos que podem estar associados ao uso ocupacional dos lasers. Esses perigos incluem o risco de choque elétrico, explosão, incêndio e exposição pessoal a produtos químicos nocivos aos envolvidos.

Essas informações servem para orientar os profissionais no ISI para que, o programa seja seguido como um guia sobre segurança no uso das radiações laser. Para isso, deve ser mantido constantemente atualizado de acordo com as atualizações das normas nele referenciadas.

5.3.2 Capítulo 2 do PISOSL - Definições

No segundo capítulo, o programa traz alguns termos e siglas utilizados no decorrer do PISOSL, como também a classificação do laser conforme definição na ANSI Z136-1:2014.

O capítulo 2 e os anexos I e IV do PISOSL são temas abordados pela própria ANSI Z-136-1:2014, como anexos, não necessariamente devem fazer parte do escopo do programa, segunda a norma.

Essas definições são úteis por buscar um alinhamento no entendimento dos termos utilizados no programa e até mesmo na padronização das atividades de treinamentos de novos colaboradores. Esses termos estão dispostos no Apêndice A dessa dissertação.

5.3.3 Capítulo 3 do PISOSL - Responsabilidades

No capítulo seguinte foram definidas as responsabilidades de cada parte que compõe o programa, incluindo a designação do OSL, profissional responsável pelo cumprimento e pela melhoria contínua desse programa, como também a formação do CSL.

Na hierarquia das responsabilidades dentro do PISOSL, o OSL é uma das figuras de maior protagonismo, em função dos conhecimentos e qualificações necessárias para sua função, em relação aos riscos ocupacionais relacionados a aplicação das radiações laser. Dentre suas principais atribuições, estão:

- a. Elaborar e manter atualizado um inventário dos lasers da classe 3B e 4 no ISI;
- b. Realizar inspeção de segurança dos lasers pelo menos uma vez por ano e quando perceber alguma anomalia;
- c. Relatar não conformidades com a segurança do laser para o CSL;
- d. Garantir que o treinamento de segurança do laser esteja disponível para cada indivíduo que opera rotineiramente um laser de classe 3B ou 4;
- e. Determinar a utilização dos óculos de proteção a laser necessários para os lasers Classe 3B e 4;
- f. Realizar a Avaliação de Perigo do Laser (APL) ou apreciações de riscos;

O OSL também tem autoridade para monitorar e implantar o controle de riscos relacionados a radiação laser e suspender, restringir ou encerrar a operação de um projeto que faça uso das máquinas a laser se for considerado que os controles de risco são inadequados ou em caso de acidente ou ferimentos.

Os demais membros que fazem parte do PISOSL com suas respectivas responsabilidades também estão listados no Apêndice A dessa dissertação.

5.3.4 Capítulo 4 do PISOSL – Medidas de controle para segurança do laser

Para evitar ou minimizar os danos causados pela radiação laser, o capítulo 4 trouxe as medidas de controle, sejam essas medidas de engenharia, de processos ou de EPI.

Dentre algumas medidas de proteção, podemos destacar a caixa de proteção de uma fonte de radiação laser (Figura 20). A mesma deve ser fechada com proteções móveis e com dispositivos de intertravamentos eletromecânicos ou magnéticos e monitorados por interface de segurança (relé ou CLP de segurança) com categoria de segurança de acordo com apreciação de riscos seguindo a norma NBR 14153, como já mencionado.

Figura 20 – Caixa de proteção de uma fonte de radiação laser – marca IPG



Fonte: O autor

Os funcionários do ISI não devem acessar a fonte (caixa de proteção). Somente os profissionais do fabricante da máquina ou da fonte é que são autorizados a acessarem.

Um outro ponto a ser destacado como medida de segurança é em relação ao acesso à zona de ação. Essa região, Figura 21, deve ser fechada com proteção móvel com dispositivo de intertravamentos e monitorada também por interface de segurança, como determina a norma nacional NR-12. A janela de visualização deve ter filtros atenuadores, dentre outros, como forma de manter a radiação laser na posição de visualização dentro da EMP.

Figura 21 – Imagem da esquerda e centro correspondem ao painel de acesso de serviço e na direita, corresponde a um dispositivo de intertravamento



Fonte: O autor

Dentre as medidas de controle estão as sinalizações de áreas (Figura 22). De acordo com a NR-12, os termos utilizados neste tipo de sinalização devem estar em língua portuguesa.

Figura 22 – Placa de aviso de área controlada – Radiações Laser



Fonte: O autor

Para sistemas de laser Classe 3B e 4, cada entrada deve ter uma placa em conformidade com a ANSI Z136.1 – 2014. Quando uma máquina está com o laser ativado, deve ter sinalizações nas entradas de áreas controladas.

Como medidas de proteções individuais, destacamos aqui as proteções contra exposições aos olhos (Figura 23).

Figura 23 – Óculos de proteção para Laser



Fonte: O autor

Para se escolher a proteção ocular adequada, pode-se utilizar a calculadora online para realizar consultas quanto a densidade óptica necessária para cada utilização: <https://www.lia.org/evaluator/od.php>. Caso esta calculadora não esteja disponível, os usuários devem consultar o pesquisador líder ou coordenador a fim de garantir proteção ocular apropriada para cada laser que estiver sendo utilizado.

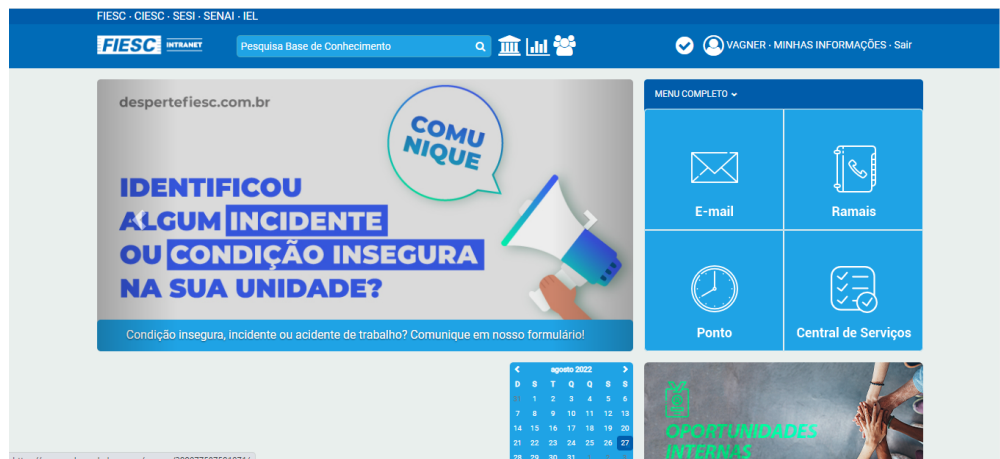
5.3.5 Capítulo 5 do PISOSL – Investigação de incidentes e acidentes a laser

Dentro do programa proposto, os temas que possuem abordagens mais específicas e customizadas são a investigação de incidentes/acidentes e treinamentos/capacitações. Isso porque cada instituição possui metodologias e ferramentas distintas para realizarem essas atividades.

Nesse capítulo quinto, foram abordados os procedimentos para registros de incidentes e acidentes, com plano de ação, seguindo o modelo já disponível e utilizado pelo ISI.

Nesse sentido foi aproveitado o sistema já em uso pela Federação das Indústrias de Santa Catarina (FIESC), a qual o ISI faz parte. A FIESC possui uma ferramenta denominada “Comunique”, que é um formulário digital acessado através de um link na tela inicial da intranet, no endereço: <https://intranet.sesisc.org.br/intranet/montagem.php?login=sim&> (Figura 24), onde qualquer colaborador poderá comunicar um acidente de trabalho, utilizando um celular ou tablete de dentro ou fora da unidade, sem perder o prazo legal.

Figura 24 – Ferramenta para comunicar incidentes e acidentes



Fonte: Página inicial intranet da FIESC

De acordo com a ferramenta, em casos de acidentes, devem ser informados os dados do acidentado, uma breve descrição da ocorrência e anexados, na própria ferramenta, os documentos relacionados ao acidente, como atestado médico, boletim de ocorrência, fotos ou qualquer outro arquivo que julgar pertinente para esclarecimento do ocorrido.

Para comunicação de incidentes e condição insegura, além do formulário digital, também é possível fazer o registro em boletim físico, disponível na unidade (ISI). Cada unidade deve definir um responsável por recolher os formulários físicos e cadastrá-los no formulário digital periodicamente.

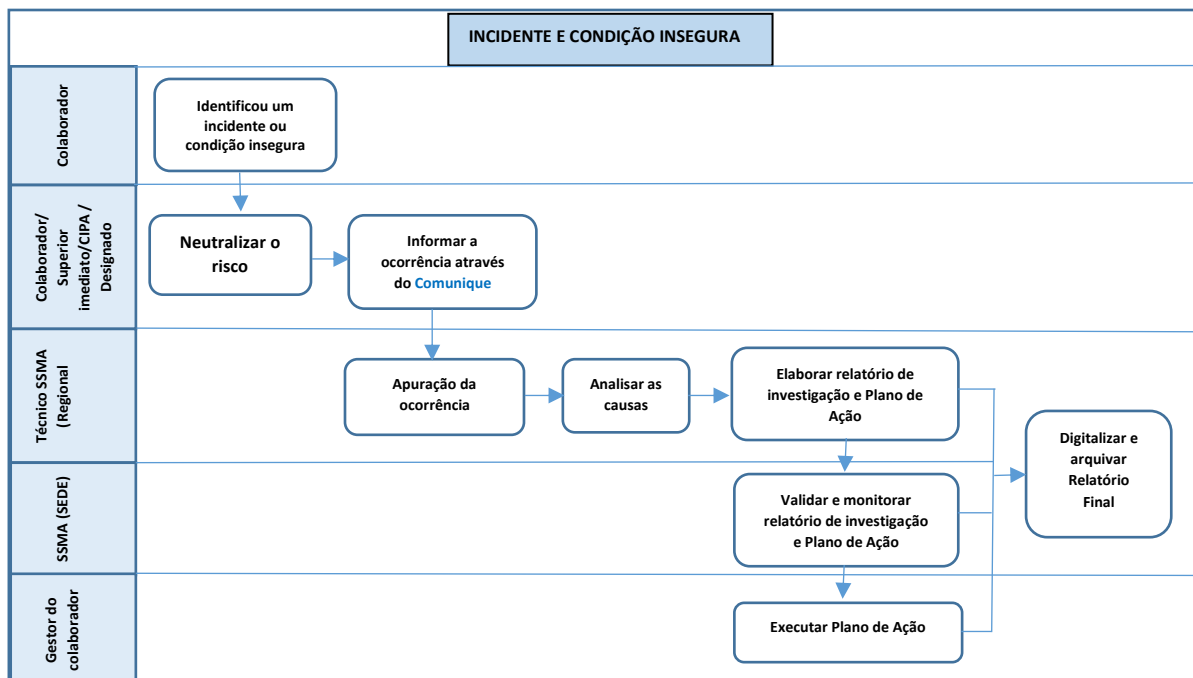
Cada formulário “Comunique” registrado gerará um chamado para o Técnico de Segurança do Trabalho de SSMA (Saúde, Segurança e Meio Ambiente), que é responsável pelo recebimento e encaminhamentos das providências necessárias para

a solução da ocorrência. O prazo para cada resposta “Comunique” é de até três dias úteis, quando será encerrado o chamado.

Os apontamentos não relacionados a segurança do trabalho, devem ser encaminhados, pelo Técnico de Segurança do Trabalho, ao setor responsável para resposta e tratamento.

Na Figura 25 é ilustrado um fluxograma para entendimento do processo. Esse conteúdo está descrito em um procedimento interno da FIESC denominado NP-SSMA-01. No item 4.2.1 da NP-SSMA-01 são detalhadas cada etapa do processo para ações em casos de incidentes e condições inseguras.

Figura 25 – Fluxo para registro de incidente e condições inseguras



Fonte: NP-SSMA-01 da FIESC

No Quadro 7 são especificadas as atividades e detalhadas as ações a serem tomadas, bem como as responsabilidades no caso de incidentes e condições inseguras.

Quadro 7 – Fluxo para registro de incidente e condições inseguras

| Nº | Item | Responsável | Ação |
|----|---|----------------------|--|
| 1 | Identificou um incidente ou condição insegura | Qualquer colaborador | <ul style="list-style-type: none"> Comunicar superior imediato ou a CIPA ou Designado da CIPA para que o risco seja neutralizado. |

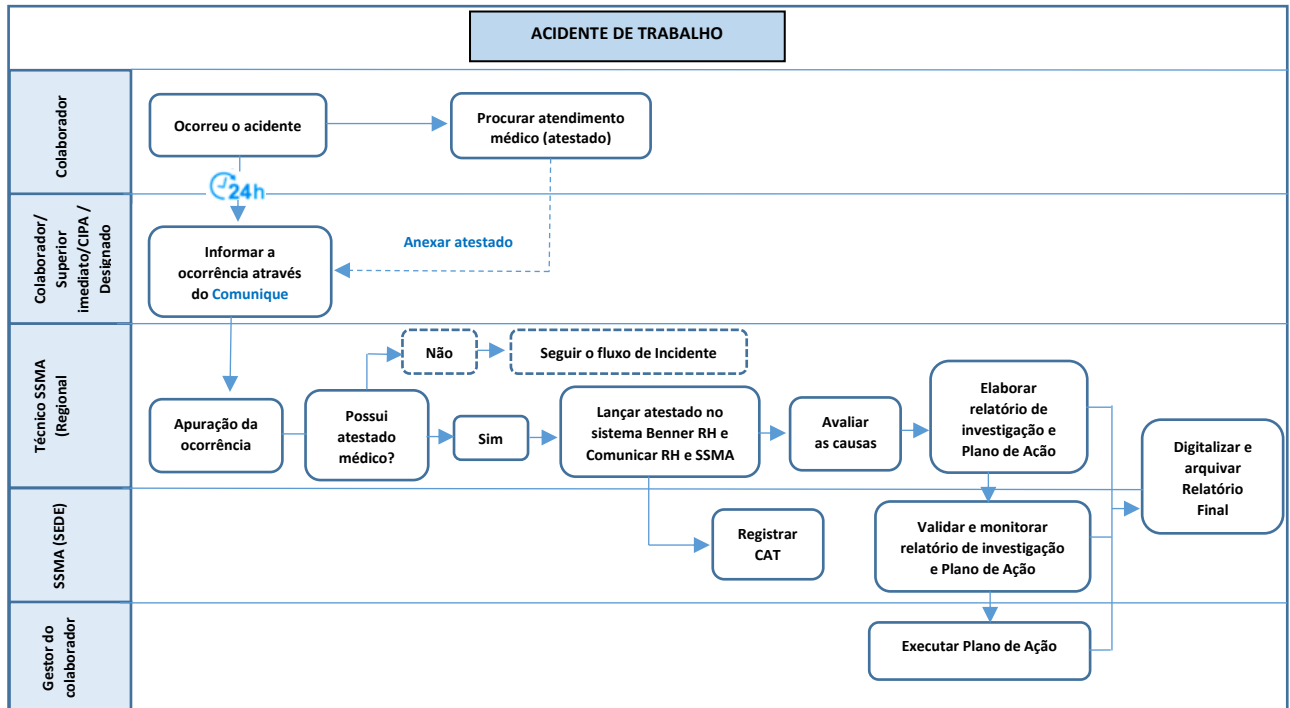
| | | | |
|---|--|--|--|
| 2 | Neutralizar o risco | Colaborador, Superior imediato, CIPA (Comissão Interna de Prevenção de Acidentes) ou Designado da CIPA | <ul style="list-style-type: none"> • Neutralizar o risco imediatamente, podendo solicitar apoio técnico para a área de SSMA. Ex: Isolamento temporário da área, instalação de sinalização. |
| 3 | Informar a ocorrência | Colaborador, Superior imediato, CIPA ou Designado da CIPA | <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a ferramenta COMUNIQUE, conforme item 4.5 da NP-SSMA-01. |
| 4 | Apuração da ocorrência | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Analisar a ocorrência por meio das informações, documentos e fotos recebidas via chamado na ferramenta COMUNIQUE. • Se deslocar até o local para obter informações adicionais, quando necessário. |
| 5 | Analisar as causas, elaborar relatório de investigação e plano de ação | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o FM-NP-SSMA-01-FIESC-003 para descrever a investigação das causas da ocorrência. • Desenvolver um plano de ação de forma a evitar que eventos semelhantes voltem a ocorrer. |
| 6 | Validar e monitorar relatório de investigação e plano de ação | SSMA Sede | <ul style="list-style-type: none"> • Apoiar a elaboração, revisar e validar o relatório de investigação das causas da ocorrência e plano de ação, para que sejam apresentados ao superior imediato. |
| 7 | Concluir o chamado | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Tramitar o chamado, registrando o parecer das causas apuradas e ações que deverão ser executadas a fim de evitar novas ocorrências. |
| 8 | Executar plano de ação | Superior imediato | <ul style="list-style-type: none"> • Garantir a execução de todas as ações previstas no plano de ação, conforme responsabilidades e cronograma. |
| 9 | Arquivamento | Técnico SSMA (Regional) e Sede | <ul style="list-style-type: none"> • Manter digitalizados na rede, todos os arquivos relacionados a ocorrência, bem como o relatório de investigação, |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | plano de ação e evidencia das ações preventivas e corretivas realizadas. |
|--|--|--|--|

Fonte: Adaptado - NP-SSMA-01 da FIESC

Nos casos de acidentes, a NP-SSMA-01 traz no seu item 4.2.2 o fluxo para registro, ilustrado na Figura 26.

Figura 26 – Fluxo para registro de acidente de trabalho



Fonte: Adaptado - NP-SSMA-01 da FIESC

No Quadro 8 são descritos os passos, bem como as ações e as atividades, no caso de acidentes de trabalho.

Quadro 8 - Fluxo para registro de acidente de trabalho

| Nº | Item | Responsável | Ação |
|----|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | Ocorreu o acidente | Colaborador acidentado ou Testemunha | <ul style="list-style-type: none"> • Providenciar os primeiros socorros necessários e procurar atendimento médico imediatamente. • Acionar o superior imediato, a CIPA, Designado da CIPA ou Equipe de Emergência, para neutralizar o risco, se possível. |
| 2 | Procurar atendimento médico | Colaborador acidentado | <ul style="list-style-type: none"> • Procurar atendimento médico, imediatamente após a ocorrência do acidente. Sendo, que o 1º atendimento |

| | | | |
|---|----------------------------------|--|---|
| | | | <p>médico deveria obrigatoriamente ocorrer no dia do acidente e ser devidamente comprovado.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solicitar ao médico que realizou o atendimento, que emita um atestado e/ou laudo contendo o CID, a data e hora do atendimento, a descrição do diagnóstico e o tratamento. |
| 3 | Comunicar formalmente o acidente | Colaborador acidentado, Testemunha, Superior imediato, CIPA ou Designado da CIPA | <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar a ferramenta COMUNIQUE, conforme item 4.5 da NP-SSMA-01. • É indispensável anexar o laudo médico/atestado médico do 1º atendimento contendo obrigatoriamente, data e horário do atendimento, descrição da lesão com CID e laudo de exames (quando houver). • Em caso de acidente de trajeto, envolvendo veículos no trânsito, anexar também o boletim de ocorrência. |
| 4 | Apuração da ocorrência | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Analisar a ocorrência por meio das informações, documentos e fotos recebidas via chamado na ferramenta COMUNIQUE. • Verificar se a comunicação foi feita em até 24 horas do acidente, se as informações comunicadas possuem confiabilidade, se há correlação da atividade realizada pelo trabalhador com a ocorrência. • Comunicar se possui linha do tempo coerente, se o acidente ocorreu dentro da jornada de trabalho do envolvido ou no trajeto de casa para o trabalho ou vice-versa, bem como se foi apresentada a documentação necessária de acordo com o tipo de acidente. |
| 5 | Informar SSMA Sede | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Tramitar o chamado inicial via e-mail para ssma@fiesc.com.br, informando a equipe de SSMA da Sede sobre a ocorrência e levantando as |

| | | | |
|----|---|--------------------------------------|---|
| | | | informações preliminares, para diante do que foi apurado, concluir pela caracterização ou não da ocorrência como acidente do trabalho. |
| 6 | Lançar o atestado no Sistema Benner RH | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Quando a ocorrência for caracterizada como acidente do trabalho, proceder com o lançamento do atestado médico, no módulo medicina do sistema Benner RH. • Informar o RH da unidade sobre o lançamento do atestado e encaminhar o documento para outras providencias de rotinas trabalhistas. |
| 7 | Registrar a CAT | SSMA Sede | <ul style="list-style-type: none"> • Quando a ocorrência for caracterizada como acidente do trabalho, proceder com a emissão da CAT e envio ao eSocial através do evento S-2210. |
| 8 | Analisar as causas, elaborar relatório de investigação e plano de ação. | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar o FM-NP-SSMA-01-FIESC-003 para descrever a investigação das causas da ocorrência. • Desenvolver um plano de ação de forma a evitar eventos semelhantes voltem a ocorrer. |
| 9 | Validar e monitorar relatório de investigação e plano de ação | SSMA Sede | <ul style="list-style-type: none"> • Apoiar a elaboração, revisar e validar o relatório de investigação das causas da ocorrência e plano de ação, para que sejam apresentados ao superior imediato. |
| 10 | Concluir o chamado | Técnico SSMA (Regional) | <ul style="list-style-type: none"> • Tramitar o chamado, registrando o parecer das causas apuradas e ações que deverão ser executadas a fim de evitar novas ocorrências. |
| 11 | Executar Plano de Ação | Superior imediato | <ul style="list-style-type: none"> • Garantir a execução de todas as ações previstas no plano de ação, conforme responsabilidades e cronograma. |
| 12 | Arquivamento | Técnico SSMA Regional e SSMA da Sede | <ul style="list-style-type: none"> • Manter digitalizados na rede, todos os arquivos relacionados a ocorrência, bem como o relatório de investigação, plano de ação e evidencia das ações preventivas e corretivas realizadas. |

Fonte: Adaptado - NP-SSMA-01 da FIESC

O detalhamento dessas atividades com as respectivas responsabilidades, facilita o entendimento dos envolvidos e a sustentação do programa.

5.3.6 Anexo III do PISOSL – Inventário de máquinas a laser do ISI

Na Figura 27 é apresentada uma máquina de manufatura aditiva com suas características técnicas. Este é um exemplo que faz parte do Anexo III do PISOSL. Neste anexo, consta a relação de todas as máquinas de processamento a laser do ISI, denominado “Inventário de máquinas a laser”. As informações contidas no inventário são as características técnicas da fonte de laser, comprimento de onda, dentre outras informações, como também o tipo de processo.

Figura 27 – Anexo III do PISOSL – Inventário de Máquinas a Laser do ISI



Fonte: O autor

5.4 Orientação e entrega do PISOSL aos gestores do ISI

No dia 14/09/2022, como já mencionado anteriormente, foi realizado uma reunião com o coordenador do ISI e um dos líderes de projetos para apresentar o programa e discutir sobre os próximos passos para que o mesmo seja implementado no ISI. É importante destacar que os demais líderes não participaram em função de compromissos já agendados, mas ficou definido pelo coordenador que esse trabalho seria apresentado por ele mesmo nas próximas reuniões de líderes de projetos.

O diálogo transcorreu de forma positiva, pois foi confirmado que o tema em segurança e proteção das radiações laser no ISI faz parte da agenda da instituição.

O coordenador do ISI, relatou que o Instituto está contratando uma empresa para realização de capacitação em segurança do laser, para formação de OSL.

Logo, ficou definido que a próxima etapa agora será a aplicação do Anexo VI do PISOSL – Modelo de Avaliação e Melhoria do Programa. O objetivo dessa etapa é medir o grau de atendimento em segurança atualmente, antes da implementação do programa e comparar a situação após a implantação do programa. Esta etapa já ficou deliberada para início imediato.

O Quadro 9 apresenta o Modelo de Avaliação e Melhoria do Programa. Nesse quadro constam os requisitos para implantação do programa com colunas para pontuar o percentual de cumprimento desses requisitos e no final temos um percentual do cumprimento de todos os requisitos. Esse modelo de avaliação permite com que o ISI possa monitorar e buscar as melhorias constantes desse programa proposto.

Quadro 9 – Modelo de avaliação e melhoria do programa – PISOSL

| Requisito | Período | Não Implantado | Parcialmente Implantado | Totalmente Implantado | Evidências da Implantação | Melhorias Sugeridas |
|---|---|----------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|
| 1- Elaboração / atualização do Inventário de máquinas | Na aquisição de máquinas e revisão anual | | 5% | 10% | | |
| 2- Apreciação de riscos nas máquinas a laser | Na aquisição da máquina ou quando ocorrer alterações físicas ou de processo | | 5% | 10% | | |
| 3 - Adequação das máquinas de acordo com as apreciações de riscos | Na aquisição da máquina ou quando ocorrer alterações físicas ou de processo | | 2,5% | 5% | | |
| 4 - Sinalizações de segurança em língua portuguesa | Na aquisição de máquinas e sempre que a apreciação de risco indicar | | 2,5% | 5% | | |
| 5 - Elaboração de PTS de operação para cada uma das máquinas | Na aquisição da máquina ou quando ocorrer alterações físicas ou de processo | | 2,5% | 5% | | |
| 6 - Operadores possuem EPI's adequados aos riscos expostos | Sempre que a apreciação de risco indicar. A entrega deve ser feita no início da atividade laboral | | 2,5% | 5% | | |
| 7 - Formação do Comitê de Segurança a laser | Na implantação do PISOSL e revisão/renovação de forma Bienal – podendo se repetir por mais um período | | 5% | 10% | | |
| 8 - Reuniões periódicas do CSL | Trimestralmente e quando for solicitado por alguém do comitê | | 2,5% | 5% | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|------|--|------|------------------|--|
| 9 - Oficial de Segurança a Laser (OSL) | Permanente | | | 5% | | 10% | | |
| 10 - Capacitação do OSL | No início das atividades e a reciclagem bienal | | | 2,5% | | 5% | | |
| 11 - Capacitações do UL | No início das atividades e a reciclagem bienal | | | 2,5% | | 5% | | |
| 12 - Capacitação de Operação de máquinas a laser (com o uso das PTS) | Ao iniciar as atividades e quando houver alterações na PTS | | | 2,5% | | 5% | | |
| 13 - Os trabalhadores estão envolvidos em todas as atividades de revisão do Programa | Constantemente | | | 1,5% | | 2,5% | | |
| 14 - O programa é modificado conforme necessário para corrigir deficiências | Nas reuniões do CSL | | | 2,5% | | 5% | | |
| 15 - Os indicadores de desempenho são utilizados para acompanhar as melhorias do Programa | Nas reuniões do CSL | | | 1% | | 2,5% | | |
| 16 - O desempenho é acompanhado pelos líderes através de indicadores | Após reuniões do CSL | | | 1% | | 2,5% | | |
| 17 - Os dados de desempenho são analisados e compartilhados com os trabalhadores. | Após reuniões do CSL | | | 1,5% | | 2,5% | | |
| 18 - A Administração revisa o Programa, para garantir que ele seja totalmente implantado e funcionando como planejado | Anual | | | 2,5% | | 5% | | |
| SOMATÓRIO DO PERCENTUAL DE IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA | | | | | | | TOTAL (%) | |
| RESPONSÁVEL PELA AVALIAÇÃO | | | | | | | DATA | |

Fonte: o autor

Os demais itens do PISOSL, como o capítulo 6, Anexo I, Anexo II, Anexo IV e Anexo V são mostrados no Apêndice A, como o “Documento modelo” para as instituições que assim desejarem implantar um programa de segurança em suas instalações.

5.5 Elaboração de um documento com os requisitos mínimos para elaboração de programa de segurança à radiação laser em instituições, tanto de ensino e pesquisa como para a indústria

O documento modelo, com os requisitos mínimos para elaboração de programa de segurança, desenvolvido para subsidiar às instituições que tenham interesse em implantar um programa de segurança na operação de sistemas a laser, está disposto no Apêndice A.

O objetivo desse documento modelo é servir como um guia de referência rápido para os profissionais que estarão expostos às radiações do laser a familiarizar-se com as políticas, procedimentos e precauções de segurança necessárias para o uso seguro de lasers.

Para a elaboração desse documento foram consultadas fontes abrangentes e atuais com referência à segurança do uso de lasers, porém é importante ressaltar que, com o passar do tempo, estas fontes são periodicamente revistas, aperfeiçoadas e atualizadas. Portanto, é necessário ter em mente que esse documento modelo poderá ser atualizado, em função da evolução das normas, tanto estrangeiras quanto nacionais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi desenvolvido e proposto um programa institucional de segurança na operação de sistemas a laser, num centro de pesquisa para a indústria, ISI, em conformidade com os requisitos de segurança ocupacional dispostos nas normas e legislação nacional vigente bem como alinhado com as recomendações internacionais.

Inicialmente, optou-se por realizar um levantamento da percepção de segurança. Neste, ficou identificado que 90% dos envolvidos nos laboratórios de processamento a laser do ISI afirmaram ter necessidades de capacitação em segurança nas operações com máquinas a laser, 50% desconheciam as responsabilidades dos empregadores e dos empregados e 30% desconheciam as medidas de controle de segurança das máquinas a laser onde estão localizadas. Isso demonstra a grande oportunidade de avançar em programas voltados a padronização de processos, procedimentos de trabalho como também em políticas, diretrizes de segurança ocupacional. Na última pergunta do questionário, com respostas abertas, o maior número de sugestões colocadas está relacionado as necessidades de capacitações em segurança dessas radiações não-ionizante.

Durante a elaboração do programa de segurança do ISI, foi constatado também que nas capacitações atuais, não eram abordados e cumpridos os requisitos mínimos estabelecidos na norma nacional NR-12, deixando a instituição ISI sob risco de notificação numa eventual fiscalização pelo Ministério do Trabalho e Previdência. Isso reforça a importância de se ter um documento institucional que traga os requisitos mínimos de segurança, procedimentos e responsabilidades.

Uma das razões encontradas no ISI, por não atenderem os critérios de capacitação de segurança em máquinas a laser, foi por não terem elaborados os laudos de apreciação de riscos nessas máquinas. Pois, de acordo com a NR-12, os colaboradores que trabalham em máquinas e equipamentos devem conhecer os perigos e as medidas de controles existentes nas máquinas em que trabalham. Com a apreciação de risco modelo elaborada na máquina SLM 125, este trabalho estabeleceu as bases para elaboração do material de capacitação de segurança nas máquinas pertencentes aos laboratórios de processamento a laser.

Com o desenvolvimento e implantação do programa institucional de segurança nas operações em sistemas a laser proposto, o ISI passa a seguir uma

padronização em seus processos de manufatura e processamento a laser, padronização dos treinamentos em segurança nas operações, além de cumprir as normativas nacionais em segurança de máquinas e equipamentos, buscando um alinhamento com o que existe de mais completo atualmente em segurança a laser internacionalmente.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões de trabalhos futuros ficam a inclusão dos riscos ocupacionais com agentes químicos a partir dos processos de MA com radiações do laser e a possibilidade de exposição a radiações ionizantes, já que precisa ser avaliado se há formação de raio x a partir da exposição à radiação laser sob certas condições e o desenvolvimento de um programa (plataforma) de educação continuada para capacitação e aperfeiçoamento de funcionários e usuários de sistemas e máquinas a laser.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 12100:2013. **Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Avaliação e redução de riscos**. Rio de Janeiro 2013

ABNT. NBR 14153:2013: **Segurança de máquinas — Partes de sistemas de comando relacionados à segurança — Princípios gerais para projeto**. Rio de Janeiro, 2013

ABNT NBR ISO 13857: **Segurança de Máquinas – Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores e inferiores**. 2021

ABNT NBR NM 272: **Segurança de Máquinas – Proteções – Requisitos gerais para o projeto e construção de proteções fixas e móveis**. 2002.

ABNT, Norma Brasileira - **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. NBR 5410:2004 versão corrigida, 2008

ALMEIDA, Júlia Fornaziero de. **Adoção de Manufatura Aditiva (MA) para Metais em Empresas: Identificação de Barreiras e Proposta de Roteiro de Implantação**. 2021. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2021

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z136.1. **Protective Equipment**. USA. 2014

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F2792 – 12a: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies** ASTM International, 2013

BARAT, Ken. **LASER SAFETY**. Tools and Training. Boca Raton, New York, Estados Unidos: CRC-Taylor & Francis, 2014

BAGNATO, Vanderlei S. - Instituto de Física de São Carlos Universidade de São Paulo C.P. 369, CEP 13560-970 São Carlos – SP, 2001

Brandalize, M.C.B.; Philips, J.W.: **Lasers nos Levantamentos Terrestres**. Revista InfoGeo, Ano 4, No. 22, Jan/Fev 2002

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 01 – Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-01-atualizada-2020.pdf>>. Acesso em: fev. 2022

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria MTP nº 428, de 07 de outubro de 2021. **Norma Regulamentadora nº 12: Segurança do Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Diário Oficial da União. 08/10/21

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. **NR 07 - Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO**. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2020. Disponível em: < <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-07-atualizada-2022-1.pdf> f>. Acesso em: abr. 2022

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022. **Norma Regulamentadora nº 15: Atividades e Operações Insalubres**. Diário Oficial da União. 13/04/22

DAHOTRE, N. B. **Laser Fabrication and Machining of Materials**. Springer Verlag New York, 2008

Dicionário online MICHAELIS: disponível em <https://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=laser>

FIESC. **Intranet Sesi**. Disponível em: <https://intranet.sesisc.org.br/intranet/ferramentas/programamaisvida/index.php?id_ferramenta=100736 > Acesso em: 02 Fev. 2022

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive manufacturing Technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**, second edition. Springer New York, 2015

GUTJAHR, J. **Desenvolvimento e implementação de um sistema CNC, modular e reconfigurável, para processos LASER**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 196. 2016

Hecht, J.: **The Laser Guidebook**. Singapore, McGraw-Hill Editions, 1986

International Electrotechnical Commission. IEC 60825- 1: **Safety of laser products: equipment classification, requirements and user's guide**. 2001

International Organization for Standardization (ISO): **Additive manufacturing — General principles — Terminology**. Geneva, Switzerland: ISO/ASTM, 2015

Institute's Laser Safety Program of National Health, USA. 2021. Disponível em: <<https://ors.od.nih.gov/sr/dohs/Documents/NIH%20Laser%20Safety%20Program%202021.pdf>>. Acesso em: 25 Jun. 2022

MAIMAN, T. H. **Optical And Microwave optical experiments in ruby**. Physical Review Letters, Malibu, v. 4, n. 11, p. 564-566, 1960

Ohio University Laser Safety Program. Disponível em:
<https://ehs.osu.edu/sites/default/files/laser_safety_procedures_manual.pdf>.
Acesso em: 25 Jun. 2022

RIBEIRO, Celso Roberto; INSFRAN, Ana Cristina do Carmo; SANTOS, Jorge Fernandez dos; ALCÂNTARA, Nelson Guedes de. **SOLDAGEM A LASER DE AÇOS ESTRUTURAIS**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2000, São Pedro – SP

ROCHESTER, University of. **LASER SAFETY PROGRAM FOR RESEARCH and TEACHING LABORATORIES**. New York. EUA. 2019

SANTANA, Walker Antônio Lins de e JUNIOR, Olival Freire - **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, 3601 (2010) www.sbfisica.org.br- Contribuição do físico brasileiro Sergio Porto para as aplicações do laser e sua introdução no Brasil

STEEL, Chris. **Risk Estimation**. SHP. The Safety & Health Practitioner .1990

STEEN, William M.; MAZUMDER, Jyotirmoy - **Laser Material Processing** - 4th Edition - Girona/Berlin – 2010

TECHNOLOGY, Georgia Institute of. **Laser Safety Policy Manual**. Atlanta. EUA. 2021

TRÄGER, Frank (Ed.). **Springer handbook of lasers and optics**. New York, NY, USA: springer, 2012

Univerty, Carnegie Mellon. **Environmental Health and Safety (EHS)**. Laser Safety Program. EUA. 2020

VIRGINIA, University of. Laser Safefy Program. Virgínia. EUA. 2022

APÊNDICE A - Documento “modelo” para implantação de Programa Institucional de Segurança para Operação de Sistemas com/a Laser

ATENÇÃO: SUBSTITUIR AS PARTES GRIFADAS EM AMARELO

1 INTRODUÇÃO

Este programa foi desenvolvido para fornecer orientação a todo profissional ou qualquer pessoa exposta a radiação laser, para o uso seguro de lasers e sistemas de laser.

O empregador tem a responsabilidade de garantir o uso seguro dos lasers de propriedade e/ou operados nas instalações sob seu controle. O empregador deve estabelecer e manter um programa adequado para o controle dos perigos do laser.

O programa de segurança, no qual estão inseridos os treinamentos e as capacitações, devem ser fornecidos para lasers e sistemas de laser de Classe 3B ou Classe 4, onde o acesso ao feixe pelos funcionários é necessário durante a manutenção e/ou serviço.

O objetivo do Programa Institucional de Segurança na Operação de Sistemas Laser (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser) é orientar que nenhuma radiação laser acima do limite de exposição máxima permissível (EMP) atinja os olhos ou pele das pessoas envolvidas nos processos a laser. Além disso, o PISOSL é projetado para garantir proteção adequada contra outros perigos que podem estar associados ao uso ocupacional dos lasers. Esses perigos incluem o risco de choque elétrico, explosão, incêndio e exposição pessoal a produtos químicos nocivos aos envolvidos.

A fim de controlar esses perigos, o PISOSL (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser), segue as diretrizes de segurança estabelecidas pela *American National Standards Institute (ANSI): Standard Z136.1–2014 - Standard for Safe Use of Lasers* (Norma Nacional Americano para o Uso Seguro de Lasers).

Além disso, o PISOSL tem como objetivo servir como um guia de referência rápido para o pessoal (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser), para familiarizar-se com as políticas, procedimentos e

precauções de segurança necessárias para o seguro uso de lasers. O PISOSL não é de forma alguma uma fonte completa ou abrangente de segurança do laser, podendo ser consultado outros documentos e referências bem como eventuais legislações nacionais que venham a ser publicadas após este programa.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Área controlada

É a área em que a ocupação e a atividade das pessoas envolvidas estão sujeitas a controle e supervisão com a finalidade de proteção contra riscos do laser.

2.2 Classificação de laser (ANSI –Z 136-1- 2014)

Classe 1: Lasers de baixa potência e sistemas a laser que não emitem níveis de radiação maiores que a Exposição Máxima Permissível (EMP). Esses lasers são incapazes de causar danos aos olhos e isentos de medidas de controle.

Classe 1M: São lasers e sistemas a laser considerados incapazes de produzir exposições perigosas durante o uso normal, a menos que o feixe seja visualizado com um instrumento óptico (óptica de coleta). Esses lasers estão isentos de medidas de controle.

Classe 2: Esses lasers de baixa potência ou sistemas de laser operam no espectro visível (400-700 nm) e são incapazes de causar danos aos olhos devido à resposta de aversão (0,25 segundos).

Classe 2M: Esses lasers de baixa potência ou sistemas de laser operam no espectro visível (400-700 nm) e são incapazes de causar danos aos olhos devido à resposta de aversão (0,25 segundos). No entanto, os lasers de classe 2M são potencialmente perigosos se vistos com certos auxílios ópticos.

Classe 3: Lasers de média potência e sistemas a laser capazes de causar lesões oculares, com curta duração (<0,25 segundos) são expostos a condições de visualização de reflexão direta ou especular. Esta classe é subdividida em lasers 3R e 3B.

Classe 3R: Esses lasers ou sistemas a laser podem ser perigosos sob algumas condições de visualização de reflexão direta e especular se o olho estiver focado e estável, mas a probabilidade de lesão ocular é pequena. Esses lasers não representam risco de incêndio ou de reflexão difusa.

Classe 3B: Esses lasers de potência média ou sistemas de laser operando nas regiões visível ou não visível podem ser perigosos sob condições de visualização por reflexão intravascular (direta) ou especular (semelhante a um espelho).

Classe 4: Esses lasers de alta potência e sistemas a laser são capazes de causar danos agudos aos olhos e à pele com duração de curto prazo (<0,25 segundos), nos casos de exposições a reflexos diretos, especulares ou difusos. São capazes de inflamar determinados materiais e combustíveis, mesmo com reflexos difusos. Esses lasers podem produzir contaminantes do ar gerados por processos induzidos pelo laser.

2.3 Comitê de Segurança do Laser (CSL)

O CSL é um comitê composto por colaboradores efetivos (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser), nomeados por períodos de dois anos, podendo ser renovados por mais dois anos, com as funções de manter os padrões de segurança estabelecidos no PISOSL.

2.4 Exposição Máxima Permitida (EMP)

A EMP é o nível de radiação laser a qual uma pessoa pode ser exposta sem efeito prejudicial ou sem sofrer alterações biológicas adversas nos olhos ou na pele, vide Tabelas 1 a 7c da norma ANSI Z-136:2014. (Ver ANEXO a ser criado pela empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser)

2.5 Infravermelho (IR – Infrared)

A emissão na faixa do IR está relacionada com diferentes fontes de luz laser que emitem comprimentos de onda maiores que a faixa de luz visível, porém, com energias de fóton próximas ao visível, sendo a região do IR dividida em infravermelho próximo (NIR – Near Infrared), infravermelho médio (MIR – Mid-Infrared) e

infravermelho distante (FIR – Far Infra-red). Enquanto que o espectro visível (que é percebido pelo olho humano) se estende aproximadamente entre 380 nm e 760 nm, o infravermelho próximo situa-se entre 760 nm e 1900 nm; o MIR, entre 1,9 μm e 5,0 μm ; e o FIR se estende até aproximadamente 100 μm . Note-se que diferentes autores podem estabelecer limites um pouco diferentes dos aqui apresentados.

2.6 Laboratórios de laser

Os laboratórios de laser são espaços dedicados a continuação de projetos de pesquisa que utilizam sistemas de laser ou laser de Classe 3B e 4.

2.7 Laser

Um laser é qualquer aparelho que produza radiação eletromagnética monocromática e coerente nas regiões visível, infravermelha ou ultravioleta (UV). A palavra laser vem da abreviatura de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que em português significa Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação.

2.8 Laser pulsado

Um laser é considerado pulsado quando a potência do feixe de saída muda com o tempo de modo a produzir um pulso óptico curto, geralmente de forma repetitiva e com duração de pulso geralmente variando de nanossegundos ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) a femtossegundos ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$).

A taxa de repetição ou frequência dos pulsos é o número de pulsos emitidos por segundo e mede-se em Hertz (Hz), podendo ser muito baixa; menor do que 1 Hz ou muito alta, acima de 109 Hz.

Os lasers pulsados podem ter pulsos tão rápidos (10^{-15} segundos) que parecem ser contínuos e neste caso fala-se em laser pseudocontínuo. O meio laser é bombeado com uma fonte pulsada que pode ser uma lâmpada de flash ou outro laser pulsado (ex: vapor de cobre, criptônio, excímeros).

2.9 Laser de onda contínua (CW)

Um laser é considerado CW quando emite radiação de forma contínua e sua potência de saída sofre pouca ou nenhuma mudança com o tempo.

2.10 Oficial de Segurança do Laser (OSL)

O OSL é um profissional que possui autoridade e responsabilidade para efetuar avaliação e controle dos riscos associados ao laser e possui autoridade para monitorar e aplicar o programa de segurança do laser.

2.11 Radiação Ultravioleta (UV)

É a radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 180 a 400 nm.

2.12 Reflexão difusa

É a mudança da distribuição espacial de um feixe de radiação quando é refletido em muitas direções por uma superfície ou por um meio com superfície irregular.

2.13 Sistema laser

Montagem de componentes elétricos, mecânicos e ópticos, que incluem um ou mais lasers, bem como suportes, lentes, espelhos, polarizadores, detectores, entre outros.

2.14 Usuário de Laser (UL)

É o profissional que opera uma máquina com laser de Classe 3B ou Classe 4.

2.15 Zona de Risco Nominal (Nominal Hazard Zone – NHZ)

A zona de risco nominal (Nominal Hazard Zone – NHZ) descreve o espaço dentro do qual o nível de radiação direta, refletida ou dispersa durante a operação excede a EMP. Os níveis de exposição além dos limites da NHZ estão abaixo do nível EMP.

3 RESPONSABILIDADES

3.1 Pesquisador Líder (PL) OU Coordenador

O PL ou o coordenador da área de processamento a laser é responsável por:

- a) Fornecer supervisão imediata do pessoal que usa lasers nos laboratórios;
- b) Nomear um OSL para a operação segura diária de um sistema de laser classe 3B ou 4 presentes nos laboratórios;
- c) Fornecer, implementar e fazer cumprir as recomendações e requisitos de segurança deste programa;
- d) Determinar aqueles que são qualificados/autorizados a usar lasers em seus locais e garantir que esses indivíduos participem do programa de treinamento em segurança (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser);
- e) Fornecer aos usuários de laser treinamento documentado dos Procedimentos de Trabalho e Segurança para lasers em seus locais e determinar qualquer treinamento necessário para visitantes (quando necessário);
- f) Notificar SESMT (Serviços especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho – quando houver) e o OSL imediatamente sobre uma exposição ou incidente envolvendo qualquer laser;
- g) Descartar ou transferir os lasers corretamente depois que forem retirados de operação (Entrar em contato com o SESMT para obter os requisitos de descarte ou transferência de lasers);
- h) Cumprir as políticas e programas (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser).O não cumprimento do PISOSL será relatado ao responsável (da empresa/organização que está

implantado esse programa de segurança a laser), que deverá tomar as devidas ações cabíveis.

3.2 Oficial de Segurança a Laser (OSL)

O OSL trabalhará para garantir que os padrões de segurança de cada laboratório a laser sejam adequados.

As responsabilidades do OSL dentro desse programa de segurança são:

- g. Elaborar e manter atualizado um inventário dos lasers da classe 3B e 4 no laboratório;
- h. Realizar inspeção de segurança dos lasers pelo menos uma vez por ano;
- i. Relatar não conformidades com a segurança do laser para CSL;
- j. Notificar o SESMT (quando houver) imediatamente sobre uma exposição, incidente ou quase acidente relacionado a um laser de classe 3B ou 4;
- k. Verificar se o pessoal que usa lasers de Classe 3B e Classe 4 participou do treinamento de segurança de laser e se está vigente;
- l. Garantir que o treinamento de segurança a laser esteja disponível para cada indivíduo que opera rotineiramente um laser de Classe 3B ou Classe 4;
- m. Determinar a necessidade de controles de acesso (portas trancadas, cortinas a laser, etc.);
- n. Determinar utilização dos óculos de proteção a laser (óculos com classificação a laser, óculos de segurança com classificação a laser que possuem blindagens laterais) necessários para os lasers Classe 3B e 4;
- o. Realizar Avaliação de Perigo de Laser (APL), ou apreciação de riscos;
- p. Realizar auditorias periodicamente as áreas em que equipamentos de classe 3B, 4 e laser incorporado são usados;
- q. Fazer recomendações de políticas e procedimentos ao CSL.

O profissional OSL também tem autoridade para monitorar e impor o controle de riscos de laser (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser) e suspender, restringir ou encerrar a operação de um projeto de

laser se for considerado que os controles de risco de laser são inadequados ou em caso de acidente ou ferimentos.

3.3 Usuários do Laser (UL)

Os UL possuem as seguintes responsabilidades:

- a. Participar dos treinamentos de segurança, seguindo os Procedimentos de Trabalho e Segurança enquanto operam lasers;
- b. Manter o PL ou o OSL informado sobre quaisquer desvios dos procedimentos de segurança estabelecidos;
- c. Participar de treinamentos de segurança de laser (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser);
- d. Relatar qualquer lesão ou incidente com um laser usando o Sistema de Relatório de Incidentes de Funcionários (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser).

3.4 Comitê de Segurança do Laser (CSL)

O CSL deve ser composto por colaboradores qualificados, por seus conhecimentos e experiência para fazer julgamentos e recomendar políticas na área de segurança do laser.

Os membros serão nomeados para o CSL por períodos de até dois anos, podendo manter mais outro período de mesmo tempo.

Um quórum consistirá em uma maioria simples dos membros votantes do CSL. As aprovações do CSL são determinadas pelo recebimento de um voto majoritário simples de aprovação pelos membros votantes do CSL.

O presidente do CSL e o OSL não podem ser a mesma pessoa.

Seguem abaixo as atribuições desse comitê:

- a) Estabelecer e manter políticas, procedimentos e orientações para o controle de riscos do laser (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser);

- b) Analisar todos os padrões de segurança de laser novos para incorporação no programa de segurança a laser;
- c) Suspender ou restringir a operação de um projeto a laser se for considerado que os controles de risco são inadequados;
- d) Revisar as lesões relatadas e incidentes resultantes de avaliações de perigos ao laser ou questões que de outra forma sejam trazidas à atenção do CSL;
- e) Revisar e aprovar todas as revisões do PISOSL (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser).

O CSL deve reunir-se semestralmente e quando surgirem situações que exijam atenção.

As atas das reuniões do CSL, incluindo recomendações ou ocorrências, devem ser registradas e distribuídas a todos os membros do CSL.

4 MEDIDAS DE CONTROLE PARA SEGURANÇA DO LASER

As medidas de controle para segurança do laser foram projetadas para reduzir a possibilidade de exposição dos olhos e da pele à radiação laser além do limite aplicável de EMP e outros perigos associados aos lasers.

O EMP é a exposição máxima segura, sem efeitos perigosos ou alterações biológicas adversas nos olhos ou na pele. O EMP depende do comprimento de onda e da duração da exposição. O EMP não é afetado por alterações físicas no layout da experiência do laser.

A NHZ é a distância em que a exposição ao laser pode exceder o MPE. Para um determinado laser, alterações no nível de potência do laser, no diâmetro do feixe, na divergência do feixe e no MPE afetarão a NHZ.

As medidas de controle são classificadas como medidas de engenharia, administrativo e de proteção individual (EPI). Os controles de engenharia são sempre o método preferido para garantir a segurança. Os controles administrativos e os EPIs devem ser usados apenas quando os controles de engenharia são inadequados ou impraticáveis. É comum que todos os tipos de medidas de controle sejam necessários para um determinado laser.

Uma consideração importante ao implementar medidas de controle é distinguir entre operação, manutenção e serviço do laser. As medidas de controle

devem basear-se na operação normal do laser. Quando a manutenção ou o serviço é realizado, geralmente é necessário implementar medidas de controle adicionais. Isso geralmente se aplica à manutenção ou serviço de lasers incorporados.

O restante desta seção contém mais detalhes para os requisitos e recomendações de medidas de controle para lasers Classe 3B, Classe 4 e incorporados. O OSL pode substituir medidas de controle alternativas que fornecem proteção equivalente.

4.1 Medidas de controle de engenharia

As medidas de controle de engenharia são projetadas ou incorporadas ao laser ou à configuração do laser.

4.1.1 Caixa de proteção (Fonte Laser)

A caixa de proteção deve estar presente e em boas condições (Figura 1). Na sua forma mais básica, o compartimento de proteção é do tipo cilindro ou caixa, que envolve a cavidade óptica e a bomba de luz do laser.

Um laser deve ser operado sem uma caixa de proteção somente se o OSL especificar previamente as medidas de controle alternativas.



Figura 1 – Exemplo de Caixa de proteção de uma fonte laser – marca IPG
Fonte – O autor

Os funcionários (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser), não devem acessar a fonte laser (caixa de proteção). Somente

os profissionais do fabricante da máquina ou do fabricante da fonte laser é que são autorizados a acessarem a “Fonte Laser”.

4.1.2 Painéis de acesso ao serviço

Os painéis de acesso a serviços que permitem acesso à radiação classe 3B ou 4 devem ser intertravados ou removíveis apenas com uma ferramenta e rotulados com a sinalização sobre os riscos.



**Figura 2 – Exemplo de um painel de acesso ao serviço – zona de ação do laser.
Fonte – O autor**

Na Figura 2, pode ser observado um dispositivo de intertravamento eletromecânico monitorado por interface de segurança (relé de segurança) de uma proteção móvel de acesso ao sistema laser, de uma máquina de manufatura aditiva, impossibilitando acesso a zona de trabalho enquanto o laser está ativado.

4.1.3 Sinalizações em máquinas e equipamentos

Todos os lasers devem ter etiquetas, sinalizações de aviso apropriadas e outras etiquetas sobre os equipamentos, como exemplificado na Figura 3. Se o laser e o controle do laser estiverem separados por mais de 2 metros, as etiquetas deverão estar em ambos. Todavia, de acordo com a NR-12, todas as sinalizações devem ser escritas em língua portuguesa.

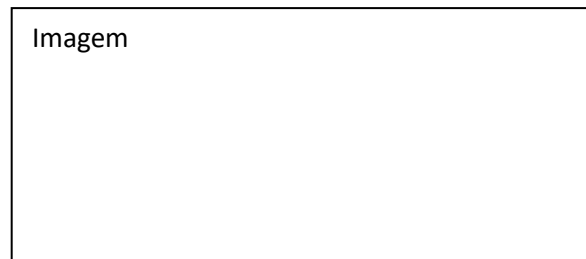


Figura 3 – Exemplo sinalizações de segurança em máquinas
Fonte – O autor

4.1.4 Interruptor geral (Chave Geral)

A máquina a laser, assim como qualquer outra máquina, deve ter uma chave geral ou interruptor principal (Figura 4).

Todas as fontes de energia associadas aos lasers Classe 3B ou Classe 4 devem ser projetadas para permitir procedimentos de bloqueio/ sinalização exigidos pela Norma Reguladora 10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE (NR-10 do Ministério do Trabalho e Previdência) e demais normas técnicas nacionais vigentes.

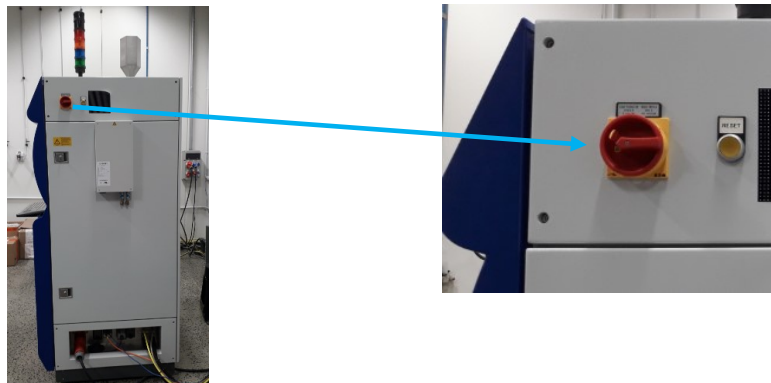


Figura 4 – Exemplo de uma Chave Geral - máquina de manufatura aditiva
Fonte – O autor

4.1.5 Visualizando janelas e telas de vídeo

As janelas de visualização e as telas difusas (refletivas ou transmitidas) incluídas como parte integrante do laser devem dispor de intertravamentos, filtros,

atenuadores, dentre outros, como forma de manter a radiação laser na posição de visualização no EMP ou abaixo dele (Figura 5)



Figura 5 – Caixas de proteção intertravadas de uma máquina de MA marca SLM-125

Fonte – O autor

4.1.7 Barreiras e cortinas de proteção para laser

Uma barreira, tela ou cortina de bloqueio que possa bloquear ou filtrar o feixe na entrada deve ser usada para impedir que a radiação saia da área em níveis acima da EMP. As barreiras ao laser devem ser selecionadas especificamente para suportar feixes diretos e difusamente dispersos, Figura 6. A barreira deve exibir um limiar de dano para a penetração do feixe por um tempo de exposição especificado, proporcional à avaliação de risco total para a instalação e aplicação específica.

Todas as barreiras ao laser vendidas que não sejam parte integrante de um produto devem ser rotuladas com a exposição à barreira à qual o limite se aplica e as condições de exposição ao feixe sob as quais a proteção é oferecida.

As barreiras a laser adquiridas para uso que não são classificadas por laser pelo fornecedor podem ser testadas pelo usuário final de acordo com a ANSI Z136.7-2008, Norma Nacional Americana para Teste e Rotulagem de Equipamentos de Proteção a Laser com aprovação do OSL.

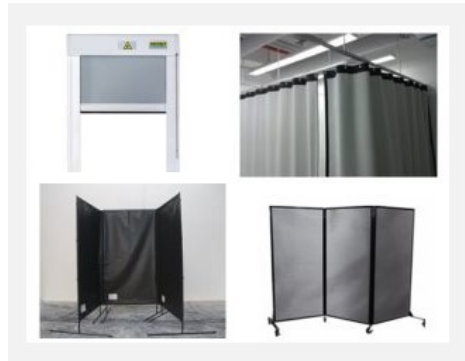


Figura 6 – Exemplos de barreiras e cortinas de proteção para laser
 Fonte – <https://laserlogy.com/pt/acessorios-janelas-filtros-oculos-protecao-laser>

4.1.8 Dispositivo de aviso de área

Uma luz de aviso deve ser visível antes de entrar em uma área controlada na qual se tenha um equipamento emitindo radiação laser ou com laser em operação. A luz serve para avisar que um laser está emitindo radiação ou está prestes a emitir radiação. A Figura 7 exemplifica o dispositivo, na qual é possível visualizar os avisos luminosos em vermelho ou aceso na caixa de luz em uso.



Figura 7 – Exemplo de Luzes de aviso de máquinas a laser destacadas
 Fonte – O autor

4.1.9 Área controlada para laser classe 3 e 4

Todos os controles de segurança da área ou da entrada devem ser projetados para permitir a saída rápida do pessoal do laser em todos os momentos e a entrada na área controlada por laser em condições de emergência.

Para sistemas de laser Classe 3B e Classe 4, cada entrada deve ser registrada com uma placa em conformidade com a ANSI Z136.1 - 2014, porém para atender a legislação brasileira em segurança de máquinas e equipamentos, toda sinalização de segurança deve estar escrita em língua portuguesa, conforme Figura 8.



Figura 8 – Exemplo de Placa de aviso de área controlada – Radiações do Laser
Fonte – O autor

4.1.10 Aviso de emissão de radiação a laser

O painel de controle do laser, ou parte da máquina, deve ter uma luz que indique que um laser está emitindo ou está prestes a começar a emitir radiação.

Se a luz de aviso de emissão de radiação a laser não for facilmente visível em toda a área controlada, uma luz de aviso separada e facilmente visível deve ser instalada na área.



Figura 9 – Exemplo de Aviso de emissão de radiação laser na máquina SLM-125
Fonte – O autor

4.1.11 Situações de emergência

Deve haver um dispositivo de "parada de emergência" claramente sinalizado nas máquinas de acordo com a norma regulamentadora 12 (NR-12). Este dispositivo deve estar indicado na apreciação de risco de cada máquina do ISI. A Figura 10 ilustra um exemplo que depois deve ser alterado por outro dispositivo de uma máquina a qual a instituição possui.

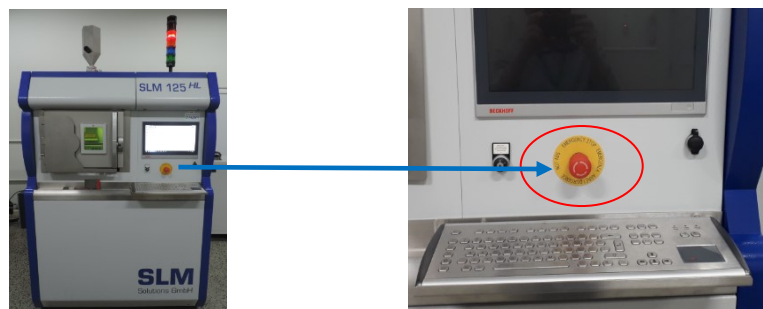


Figura 10 – Exemplo de Dispositivo de parada de emergência da máquina SLM-125
Fonte – O autor

4.1.12 Controle de reflexão

Os materiais que refletem difusamente a radiação laser devem ser utilizados no lugar de superfícies reflexivas especulares sempre que possível. Para minimizar a exposição do pessoal, as superfícies refletoras especulares necessárias para o controle do caminho do feixe devem ser fechadas ou protegidas.

4.1.13 Instalações temporárias

Ocasionalmente, pode ser necessário remover os gabinetes de proteção ou anular os intertravamentos do equipamento ou outros dispositivos de segurança para ajustes de serviço, manutenção, exercícios especiais de treinamento, dentre outros. Nesses casos, uma área temporária controlada do laser deve ser configurada.

Segundo a NR-12, deve haver no painel de comandos da máquina, um comando de "intervenção ou modo manual", para evitar partidas inesperadas, ou acionamentos por terceiros. Os Procedimentos de Trabalho e Segurança (PTS) devem descrever as disposições para proteger o pessoal que pode ser potencialmente exposto.

4.2 Medidas de controle administrativo (Processo)

Os controles administrativos são regras ou práticas de trabalho usadas para ajudar a reduzir o potencial de risco de exposição ao laser.

4.2.1 Procedimentos de Trabalho e Segurança (PTS)

Os PTS devem ser escritos e mantidos para a operação, manutenção ou serviço dos lasers Classe 3B e Classe 4. Os PTS também devem ser escritos para a manutenção ou serviço de lasers incorporados.

Os Procedimentos de Trabalho e Segurança devem estabelecer as seguintes informações:

- a. Designação de uma área de controle para todos os lasers de classe 3B e 4 pelo OSL;
- b. Uma área segura com um caminho de evacuação para emergências;
- c. Instruções passo a passo para situações de emergências;
- d. Especificação para o tipo de óculos de proteção a laser, incluindo comprimento de onda e DO;
- e. Etapas a serem seguidas após um incidente ou quase acidente;
- f. Uma discussão completa dos procedimentos de alinhamento e dos possíveis riscos antes de executar alinhamento do laser.

O PTS deve descrever as condições para visitantes nas áreas controladas para lasers das classes 3B e 4.

As áreas controladas por laser devem:

- a) Permitir a operação do laser somente por pessoal treinado em segurança e operação do laser;
- b) Ter sinalização de segurança com os sinais de alerta de área apropriados;
- c) Ser operado de maneira a que o caminho do feixe seja bem definido;
- d) Exigir a proteção ocular a laser apropriada para o pessoal dentro da área controlada por laser;

Uma área controlada por laser deve:

- a) Estar sob a supervisão direta de um indivíduo com conhecimento em segurança a laser;

- b) Possuir mecanismos para que qualquer feixe potencialmente perigoso termine em uma parada de feixe apropriada;
- c) Ter somente materiais refletores difusos dentro ou próximos ao caminho do feixe, sempre que possível;
- d) Ter todas as janelas, portas, etc. de uma instalação interna, coberta ou restrita, de maneira a reduzir a radiação laser transmitida a níveis iguais ou inferiores a EMP;
- e) Exigir a desenergização ou desativação (por exemplo, remoção da chave ou bloqueio / identificação) do laser quando não estiver em uso, para impedir o uso não autorizado.

4.2.2 Visitantes em áreas controladas

Visitantes não devem ser permitidos dentro de uma área controlada por laser que contenha um laser Classe 3B e laser de classe 4, a menos que as seguintes condições tenham sido atendidas:

- a) A supervisão direta é fornecida por um UL experiente e treinado;
- b) O grau de perigo e como evitá-lo foram explicados ao (s) visitante (s). Isso deve incluir uma explicação do que é uma Zona de Risco Nominal (NHZ);
- c) Medidas de proteção apropriadas são tomadas (por exemplo, existem barreiras para impedir a visualização direta do feixe ou reflexões difusas perigosas, proteção ocular adequada foi fornecida, dentre outros materiais necessários a segurança).

4.2.3 Procedimentos de alinhamento

O alinhamento dos sistemas ópticos a laser da classe 3B ou da classe 4 (por exemplo, espelhos, lentes, defletores de feixe) deve ser realizado de maneira que o feixe primário, ou um reflexo especular ou difuso de um feixe, não exponha o olho a um nível acima do EMP aplicável.

Os PTS que descrevem os métodos de alinhamento devem ser escritos para os lasers da Classe 3B e da Classe 4. Consulte o Apêndice H (ANSI Z-136-1) para obter orientações sobre o procedimento de alinhamento.

4.2.4 Controle do raio

Para minimizar a exposição direta dos olhos, as seguintes precauções devem ser seguidas:

- a. Não olhe diretamente para o raio laser ou para um reflexo especular ou difuso, independentemente de sua potência;
- b. Localize o caminho do feixe em um ponto diferente do nível dos olhos quando estiver em pé ou sentado em uma mesa;
- c. Minimize reflexões especulares. Relógios e joias devem ser removidos ou precisam ser cobertos com luvas e mangas compridas para cobrir itens refletivos. Use ferramentas não refletivas na área do laser;
- d. Monte com segurança o sistema a laser em uma plataforma estável para manter o feixe em uma posição fixa durante a operação e limitar a rotação do feixe durante os ajustes;
- e. Limite os feixes primários e as reflexões perigosas a uma área definida de radiação a laser;
- f. Oriente o laser para que o feixe não seja direcionado para portas ou corredores de entrada;
- g. Identifique claramente os caminhos dos feixes e verifique se eles não cruzam áreas “povoadas” ou áreas de tráfego;
- h. Os gabinetes de feixe de classe 4 devem ser fabricados com materiais resistentes ao fogo.

Os manuais de operação para lasers classe 3 e classe 4 devem estar disponíveis nos laboratórios. Todos os usuários devem observar procedimentos adequados para alinhamento, operação e manutenção do laser.

4.3 Equipamento de Proteção Individual (EPI)

Na hierarquia de medidas de controle dos riscos ocupacionais, está a utilização de equipamentos de proteção individual – EPI.

4.3.1 Proteção ocular contra o laser (POL)

A POL deve ser usada sempre que houver potencial de exposição à radiação laser da classe 3B ou 4. A Figura 11 ilustra esse tipo de proteção.

Quando for especificar os óculos adequados para a utilização do laser, deve ser considerada a transmissão luminosa visível (TLV). A POL deve ter uma TLV de pelo menos 20%, mantendo também a DO (Densidade Óptica) adequada.



Figura 11 – Exemplo de Óculos de proteção para Laser
Fonte – O autor

Há uma calculadora online para realizar consultas quanto a “Densidade Óptica” necessária para cada utilização: <https://www.lia.org/evaluator/od.php>

4.3.2 Óculos de alinhamento

O principal risco ocular durante os procedimentos de alinhamento é o uso inadequado dos POL totalmente protetores que atenuam totalmente o feixe visível difuso (não especular) da fonte pontual, de forma a dificultar a visualização do alinhamento. Nesses casos, a POL é normalmente removida ou não usada para alinhamento do feixe, o que aumenta o potencial de lesão ocular.

Quando forem necessários óculos de alinhamento, o OSL deve recomendar a POL que atenda ao requisito mínimo de OD para visualizar uma reflexão difusa ideal, de fonte pontual e a uma distância de 20 cm.

4.3.3 Rotulagem da proteção dos óculos ao laser

Toda POL deve ser claramente rotulada com a OD e o comprimento de onda para o qual a proteção é oferecida (Figura 12).

A rotulagem não deve ser feita pelo supervisor ou usuário do laser. Se a etiqueta fornecida pelo fabricante não estiver mais legível, entre em contato com o OSL para que a etiqueta seja aplicada.



Figura 12 – Exemplo de Rotulagem dos óculos de proteção contra o laser
Fonte – O autor

4.3.4 Limpeza e inspeção da POL

A limpeza e inspeção periódicas devem ser realizadas na POL para garantir que sejam mantidas em condições satisfatórias. A frequência da inspeção de segurança deve ser realizada pelo OSL a cada seis meses (mínimo duas vezes ao ano), quanto à presença de trincas e rachaduras no material atenuante, integridade mecânica e vazamentos de luz. Os registros das inspeções dos óculos devem ser mantidos no laboratório de laser.

4.3.5 Revisão da compra da POL

Os compradores da POL devem exigir que as seguintes informações acompanhem cada item:

- a) Comprimento (s) de onda e OD correspondente para os quais a proteção é oferecida;
- b) Dados pertinentes, como limiar de danos para fins de segurança do laser;

- c) Recomendações do fabricante sobre prazo de validade, condições de armazenamento, limpeza e uso.

O manual do fabricante do laser indica o nível de proteção ocular necessário para proteger os operadores ao usar um laser específico. O SESMT ou o OSL são responsáveis por determinar/verificar e fornecer a proteção ocular contra o laser para lasers específicos, quando necessário.

4.3.6 Proteção UV para a pele

A exposição à radiação UV deve ser minimizada usando protetores e roupas que atenuem a radiação para níveis abaixo do EMP aplicável para os comprimentos de onda UV específicos. Se existe o potencial de uma exposição prejudicial à pele, especialmente para lasers ultravioleta (295 nm a 400 nm) e/ou aplicação de solda/corte a laser, recomenda-se a cobertura da pele e/ou o uso de cremes para proteção solar.

A proteção da pele pode ser proporcionada pelo uso de roupas para cobrir áreas da pele normalmente expostas. Essa proteção inclui camisas e luvas de mangas compridas. Cremes protetores com classificação UV são recomendados para o rosto e os ouvidos.

Qualquer tipo de luva ou jaleco usado para proteção contra laser classe 4 deve ser feito de material retardador de chama.

5 INVESTIGAÇÃO DE INCIDENTES E ACIDENTES

Neste capítulo, deve ser determinado os passos necessários, juntamente com um fluxograma de como investigar e registrar um incidente ou acidente relacionado com o laser, para tomada de decisões, com plano de ações.

6 TREINAMENTOS E CAPACITAÇÕES

Todos os funcionários e demais pessoas que operam lasers devem participar do treinamento sobre segurança a laser (da empresa/organização que está

implantado esse programa de segurança a laser), inclusive os profissionais de manutenção e quaisquer serviços que tenham exposição as radiações laser.

O treinamento deve garantir que os usuários tenham conhecimento dos riscos potenciais e das medidas de controle para equipamentos a laser que possam ter a oportunidade de usar. Todo o treinamento deve ser compatível com o maior potencial de riscos associados a cada operação do laser e deve ser consistente com os resultados da avaliação de risco realizada.

O treinamento sobre segurança em laser é oferecido pelo CSL por meio de um programa de treinamento presencial e on-line. O treinamento de reciclagem será necessário periodicamente. Os indivíduos que precisam de treinamento de atualização serão notificados por e-mail.

O OSL tem o direito de solicitar provas de treinamento em segurança a laser de fornecedores/trabalhadores externos que estão no local para instalação, manutenção ou serviço. O OSL pode restringir essas atividades se o fornecedor/contratado externo não puder fornecer essa prova.

O nível de treinamento deve ser compatível com o grau de risco potencial do laser, tanto da radiação laser quanto do risco sem feixe.

Deve ser mantido no laboratório ou departamento dos usuários do laser, uma cópia da folha de participação/certificado, para cada pessoa que participa do programa de treinamento.

O treinamento de segurança de laser deve ser realizado antes dos colaboradores iniciarem suas atividades laborais e, em seguida, pelo menos uma vez a cada dois anos para usuários de laser.

O treinamento de reciclagem pode ser uma versão abreviada do treinamento original ou pode ser simplesmente uma visão geral da segurança do laser.

Qualquer que seja a forma do treinamento de reciclagem, o resultado final deve ser que o usuário tenha a consciência e os conhecimentos necessários sobre a segurança do laser para continuar a trabalhar com segurança com a radiação laser.

Uma apresentação de nível de conscientização deve ser realizada para indivíduos que trabalham nas proximidades de lasers, mas não são usuários de laser.

6.1 Qualificações do instrutor

Os programas de treinamentos devem ser conduzidos por indivíduos com habilidades adequadas e apropriadas ao assunto que está sendo ensinado. Isso inclui, mas não se limita ao conhecimento de lasers, conceitos de segurança de laser e padrões de segurança de laser.

São fatores importantes na qualificação do instrutor: a experiência com lasers, boas habilidades de apresentação e um conhecimento profundo dos padrões aplicáveis.

6.2 Treinamento para OSL

O empregador deve fornecer treinamento ao OSL sobre os riscos potenciais (incluindo efeitos biológicos), medidas de controle, padrões aplicáveis, exames médicos (se aplicável) e qualquer outra informação pertinente relativa à segurança do laser e padrões aplicáveis, ou fornecer ao OSL serviços consultivos pertinentes. O treinamento deve ser compatível com, pelo menos, a classe mais alta de laser sob a responsabilidade do OSL. O treinamento também deve incluir considerações para a avaliação e controle de quaisquer perigos sem feixe associados aos lasers e aos sistemas de laser sob a responsabilidade do OSL.

O OSL também deve concluir periodicamente o treinamento de reciclagem de segurança a laser.

6.3 Treinamento operacional

Os supervisores dos laboratórios de Laser devem fornecer aos usuários de laser treinamento operacional para cada laser de classe 3B ou 4 que eles usarão sob sua supervisão. É essencial que os novos usuários de laser recebam treinamento operacional por um trabalhador qualificado, ciente dos riscos envolvidos. O treinamento operacional também é necessário para usuários de lasers incorporados. Todo trabalhador treinado deve ter um registro, uma evidência, do treinamento recebido pelo ISI quanto aos riscos associados ao laser e autorização para iniciar suas atividades pelo CSL.

O supervisor do laboratório, em que é usado um laser de classe 3B ou 4, deve fornecer treinamento específico do local para sua equipe sobre esses lasers. Esse treinamento pode incluir a revisão dos PTS (Procedimentos de Trabalho e Segurança). A documentação do treinamento deve ser mantida no laboratório dos usuários do laser.

O supervisor de laboratório deve documentar aqueles que considera qualificados e autorizados a operar um laser. O supervisor determina a qualificação operacional do funcionário ou bolsista a partir de treinamento técnico ou outra experiência de aprendizado aceitável.

O supervisor deve revisar com o usuário do laser, o manual de operação fornecido pelo fabricante para o equipamento a ser usado, quaisquer PTS específicos ou experimentos a serem realizados, documentando esses treinamentos.

O ISI deve desenvolver e manter atualizados os PTS para todas as máquinas que possuem lasers das classes 3B e 4, consistentes com os documentos fornecidos pelo fabricante de laser.

6.4 Tópicos do programa de treinamento de segurança do laser

Os tópicos de um programa de treinamento de segurança de laser para o uso de lasers 3B e Classe 4 e sistemas de laser podem incluir, no mínimo:

a) Para o pessoal que opera rotineiramente ou potencialmente exposto à radiação de laser Classe 3B ou Classe 4:

- 1- Fundamentos da operação do laser (por exemplo, princípios físicos, construção);
- 2- Efeitos biológicos da radiação laser nos olhos e na pele;
- 3- Significado das reflexões especulares e difusas;
- 4- Riscos de lasers sem feixe;
- 5- Classificações de laser e sistema de laser;
- 6- Medidas de controle;
- 7- Responsabilidades gerais da gestão e funcionário;
- 8- Primeiros socorros.

b) Para o OSL ou outro indivíduo responsável pelo programa de segurança do laser, avaliação dos perigos e implementação de medidas de controle, ou quaisquer

outros, se orientado pela administração para obter um conhecimento completo da segurança do laser:

- 1- Os tópicos anteriormente mencionados para o pessoal que opera rotineiramente ou potencialmente exposto à radiação de laser Classe 3B ou Classe 4;
- 2- Terminologia de laser;
- 3- Tipos de lasers, comprimentos de onda, formas de pulso, modos e potência / energia;
- 4- Unidades radiométricas básicas e dispositivos de medição;
- 5- EMP;
- 6- Avaliações de risco de laser e outros cálculos.

6.5 Pessoal autorizado

Os lasers da classe 3B e da classe 4 devem ser operados, mantidos ou reparados apenas por pessoas registradas e autorizadas. Os lasers incorporados devem ser operados apenas por indivíduos autorizados. Os lasers incorporados devem ser mantidos ou reparados apenas por indivíduos registrados e autorizados.

ANEXO I – PERIGOS E RISCOS ASSOCIADOS AO LASER

Todas as exposições à radiação laser devem ser mantidas abaixo EMP. A EMP é o nível de radiação laser ao qual uma pessoa pode ser exposta sem efeito perigoso ou alterações biológicas adversas no olho ou na pele. Os critérios para EMP para olhos e pele estão listados na ANSI Z136.1-2014. A EMP depende de vários fatores, incluindo o comprimento de onda, a duração da exposição e se a exposição é ao olho ou à pele. **Consulte a Seção 8 da ANSI Z136.1-2014 para obter informações sobre como determinar o EMP para qualquer situação específica.**

1. Exposição ocular

O maior risco no uso de lasers é o dano ocular causado pela radiação que o laser emite.

Para lasers que operam no espectro visível, se o olho intercepta o feixe total, o brilho no olho é o mesmo, independentemente da distância do espectador à fonte. Isso ocorre porque a exposição na retina permanece a mesma devido às propriedades de foco do olho.

A exposição aguda do olho a lasers de certos comprimentos de onda e potência pode causar queimaduras na córnea e/ou na retina. A lente é sensível a comprimentos de onda próximos ao infravermelho e UV. Os raios laser invisíveis por infravermelho e UV têm maior probabilidade de causar exposições oculares.

A exposição crônica a níveis excessivos pode causar opacidades corneanas ou lenticulares (cataratas) ou lesão na retina.

1.1 Retina

A região de risco da retina envolve radiação óptica nas regiões visíveis (comprimento de onda 400 - 700nm) e infravermelho próximo (700 - 1400nm). Lesões retinianas podem ocorrer instantaneamente com lasers de Classe 3B e 4 e os danos podem ser irreparáveis. Isso pode resultar nos seguintes tipos de danos:

- Queimadura térmica - o foco normal pelo olho resulta em uma amplificação da irradiância de aproximadamente 100.000. Portanto, um feixe de 1 mW/cm²

entrando no olho resultará em exposição de 100 W/cm^2 na retina, ocasionando dano permanente.

- Dano Acústico - Pulsos de laser com duração inferior a 10 microssegundos (μs) induzem uma onda de choque no tecido retiniano que pode causar uma ruptura do tecido. O dano acústico é potencialmente mais destrutivo do que uma queimadura térmica.
- Danos fotoquímicos - Comprimentos de onda de 400 a 600nm podem resultar em efeitos fotoquímicos na retina. Os efeitos fotoquímicos podem ser acumulativos ao longo do tempo.

1.2 Córnea

A córnea é sensível aos comprimentos de onda do infravermelho e do UV. A córnea e o tecido da conjuntiva ao redor do olho também podem ser danificados por exposição à radiação laser. Danos à córnea e ao tecido da conjuntiva geralmente ocorrem em maiores níveis de potência. Portanto, esses problemas só se tornam uma preocupação para esses comprimentos de onda que não penetram na retina, como UV ($<315\text{nm}$) e infravermelho distante ($> 1.400\text{nm}$).

Para radiações de laser ultravioleta ou infravermelho distante que entra no olho, grande parte da luz é absorvido pela córnea e pelo cristalino. Dependendo do nível de exposição, isso pode causar queimaduras térmicas imediatas ou o desenvolvimento de cataratas ao longo dos anos.

2. Exposições de pele

A pele tem a maior probabilidade de entrar em contato com um feixe de laser. Se o feixe é de energia suficiente, a pele pode sofrer queimaduras térmicas, lesões acústicas e fotoquímicas. O comprimento de onda do feixe determina a camada da pele que será afetado.

O risco de exposição da pele para lasers UV é maior do que para outros. Exposições crônicas aos comprimentos de onda UV (290-320 nm) podem resultar em carcinogênese.

EPI, incluindo luvas e mangas compridas são recomendadas se houver possibilidade de danos à pele pelas radiações do laser.

Segue abaixo, resumo dos efeitos biológicos básicos, segundo o Programa de Segurança de Laser da Universidade do Estado de Ohio – EUA:

| Comprimento de Onda | Olho | Pele |
|----------------------------------|--|---|
| UV-C (100 – 280 nm) | Fotoceratite Catarata fotoquímica | Eritema (queimadura solar) Câncer de pele |
| UV-B (280 – 320 nm) | | Envelhecimento cutâneo acelerado Câncer de pele |
| UV-A (320 – 400 nm) | | Escurecimento do pigmento Reações fotossensíveis Queimadura na pele |
| Visível (400 – 700 nm) | Fotoquímico Lesão térmica da retina | Reações fotossensíveis Queimadura na pele |
| IR-A (700 – 1400 nm) | Queimaduras na retina Catarata | Queimadura na pele |
| IR-B (1400 – 3000 nm) | Queimadura da córnea Chama aquosa Catarata | Queimadura na pele |
| IR-C (3000 – 10 ⁶ nm) | Apenas queimadura da córnea | Queimadura na pele |

Quadro 01 – Efeitos biológicos à pele e aos olhos pela radiação laser.

Fonte - Adaptado – Programa de segurança da Universidade Estadual de Ohio – EUA - jun 2020

3. Equipamentos e sistemas elétricos

Existem riscos de ferimentos e incêndio nas operações a laser devido à presença de fontes de energia elétrica. Os capacitores de alta tensão requerem aterramento para descarregar o componente antes da manutenção do laser ou do componente laser.

Todas as máquinas do ISI, devem ser aterradas de acordo com normas técnicas oficiais vigentes.

A equipe de pesquisa não possui permissão para instalar fiação ou tomadas elétricas em laboratórios ou para instalar as régua de energia em cadeia.

4. Radiação ionizante e não ionizante

Uma operação a laser pode envolver radiação ionizante originária da presença de materiais radioativos ou do uso de energia elétrica superior a 15 kV.

Os campos de microondas e radiofrequência (RF) podem ser gerados por sistemas a laser.

5. Materiais perigosos

Somente os materiais necessários para a operação de um laser devem ser levados para um laboratório de laser. Todos os produtos químicos perigosos devem ser rotulados, usados, armazenados e controlados adequadamente.

Todos os produtos químicos perigosos devem ser inseridos no Sistema de Inventário Químico / PGR (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser). Entre em contato com o SESMT (Quando houver) para obter detalhes sobre este sistema.

Não deve ser permitido que radiações diretas ou reflexivas do laser colidam com materiais combustíveis, gases altamente inflamáveis ou substâncias que se decomponham em produtos tóxicos sob temperaturas elevadas, sem fornecer controles adequados.

Contaminantes de ar gerado por laser (LGAC) podem ser gerados quando os feixes de laser de classe 3B e de classe 4 interagem com a matéria. A medida de controle principal para LGAC deve ser o uso de controles de engenharia. Os controles de engenharia requerem ventilação geral e podem incluir ventilação local por exaustão ou isolamento do processo. Os sistemas locais de ventilação de exaustão podem incluir coifas, dutos, purificadores de ar e ventiladores.

A proteção respiratória, ou o Programa de Proteção Respiratória, deve ser implementado, quando a concentração dos agentes químicos, estiverem acima do nível de ação. Entre em contato com o SESMT (Quando houver) para obter informações adicionais.

6. Gases comprimidos

Os PTS devem ser desenvolvidos quando uma aplicação a laser incluir gases como cloro, flúor, cloreto de hidrogênio ou fluoreto de hidrogênio. Qualquer gás comprimido, com uma classificação GHS de 1 ou 2, usado ou armazenado em um laboratório a laser ou em outro local de suporte de laboratório, deve ser colocado em um local ventilado.

Todos os cilindros de gás devem ser rotulados e diferentes classes de gases devem ser armazenadas separadamente.

Todos os cilindros de gás comprimido devem ser armazenados na vertical e fixados à parede ou bancada de acordo com recomendações de normas técnicas oficiais vigentes.

Todo o pessoal que trabalha em um laboratório de laser usando gases comprimidos deve concluir anualmente o treinamento em segurança de gases e de NR-23 – Proteção Contra Incêndio.

7. Líquidos criogênicos

Líquidos criogênicos, como nitrogênio líquido, são usados ocasionalmente para resfriar lasers e sensores usados como receptores de sinais de laser refletidos ou transmitidos.

Luvas apropriadas, roupas sem bolsos ou mangotes e óculos de proteção contra respingos químicos ou protetores faciais devem ser usados ao transportar ou usar materiais criogênicos. Óculos de segurança sem proteção lateral são inadequados.

Gás inerte pode reduzir o nível de oxigênio em uma sala, causando inconsciência ou morte.

O treinamento geral de segurança de gás, conforme listado acima, fornecerá instruções necessárias para o uso adequado desses materiais.

ANEXO II – EMENTA DE CAPACITAÇÃO PARA OPERAÇÃO SEGURA DE MÁQUINAS A LASER CLASSE 3 E 4.

| ITEM | CONTEÚDO PROGRAMÁTICO | REFERÊNCIA |
|------|---|---|
| 1 | Descrição e identificação dos riscos associados com cada máquina e equipamento e as proteções específicas contra cada um deles; | <ul style="list-style-type: none"> • Apreciação de Riscos de cada máquina (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser). |
| 2 | Fundamentos da operação do laser (por exemplo, princípios físicos, construção); | <ul style="list-style-type: none"> • HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. |
| 3 | Efeitos biológicos da radiação laser nos olhos e na pele; | <ul style="list-style-type: none"> • AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z-136.1. Protective Equipment. USA. 2014. |
| 4 | Significado das reflexões especulares e difusas; | <ul style="list-style-type: none"> • HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. |
| 5 | Riscos de lasers sem feixe (Riscos adicionais); | <ul style="list-style-type: none"> • HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. • AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z-136.1. Protective Equipment. USA. 2014. |
| 6 | Classificações de laser e sistema de laser; | <ul style="list-style-type: none"> • AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE ANSI Z-136.1. Protective Equipment. USA. 2014. |
| 7 | Medidas de controle; | <ul style="list-style-type: none"> • Apreciação de Riscos de cada máquina (da empresa/organização que está implantado esse programa de segurança a laser), e Manuais do Fabricante. • HENDERSON, Roy.; SCHULMEISTER, Karl. Laser Safety. New York, NY 2004. |
| 8 | Funcionamento das proteções, como e por que devem ser usadas; | <ul style="list-style-type: none"> • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 9 | Como e em que circunstâncias uma proteção pode ser removida, e por quem; | <ul style="list-style-type: none"> • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |

| | | |
|----|--|---|
| 10 | O que fazer, se uma proteção foi danificada ou se perdeu sua função; | • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 11 | Quais os princípios de segurança na utilização da máquina ou equipamento; | • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 12 | Segurança para riscos mecânicos, elétricos e outros relevantes; | • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 13 | Método de trabalho seguro; | • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 14 | Sistema de bloqueio durante operações de inspeção, limpeza, lubrificação e manutenção; | • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 15 | Responsabilidades gerais da gestão e funcionário; | • NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos |
| 16 | RCP para pessoal de manutenção ou trabalho em lasers com altas tensões expostas e / ou com capacidade de produzir correntes elétricas potencialmente letais. | • https://cpr.heart.org/-/media/CPR-Files/CPR-Guidelines-Files/Highlights/Hghlghts_2020ECCGuidelines_Portuguese.pdf |

ANEXO III – INVENTÁRIO DE MÁQUINAS A LASER (da empresa/organização que está implantado o PISOSL)

1 – Nome da máquina 1

Inserir o Tipo da Fonte Laser

Inserir as informações do Laser,
exemplo:

- Laser de Fibra – Itérbio (Yb)
- Comprimento de Onda: 1064 nm
- Laser Pulsado: 25 – 100 ns
- Frequência: 2 kHz – 300 kHz
- Potência: 2000 W
- Diâmetro da fibra: 600 μm
- M^2 : 70
- Refrigeração: Água

Processos

Inserir os tipos de Processo
realizados pela máquina, exemplo:

- Limpeza a Laser
- Texturização de superfícies
- Funcionalização de superfícies

Inserir uma imagem da máquina neste
local

n – Nome da Máquina

Inserir o Tipo da Fonte Laser

Inserir as informações do Laser,
exemplo:

- Laser de Fibra – Itérbio (Yb)
- Comprimento de Onda: 1064 nm
- Laser Pulsado: FWHM (9 – 46 ns)
- Frequência: 2 kHz – 1000 kHz
- Potência: 70 W
- Distribuição Gaussiana
- M^2 : < 1.6
- Refrigeração: Ar

Processos

Inserir os tipos de Processo
realizados pela máquina, exemplo:

- Texturização de superfícies
- Funcionalização de superfícies

Inserir uma imagem da máquina neste
local

ANEXO IV – TABELAS DAS EMP PARA OS COMPRIMENTOS DE ONDAS DE RADIAÇÕES DO LASER EMITIDAS PELAS MÁQUINAS DE MA (da empresa/organização que está implantado o PISOSL) (SEGUINDO O INVENTÁRIO DO ANEXO IV DESTE PISOSL) - SEGUNDO A ANSI Z-136-1

1- Exposição Máxima Permitida (EMP) para uma Exposição Ocular a um feixe de laser para comprimentos de onda de 180 a 400 nm (adaptado - Tabela 5a - ANSI Z-136-1:2014):

| | Comprimento de onda λ (nm) | Duração da exposição t(s) | EMP | | Notas |
|--------------|--|---------------------------|------------------------|---|------------------|
| | | | Térmico | Córnea | |
| | | | (J.cm ⁻²) | (J.cm ⁻²) | |
| Ultravioleta | 180 a 302.5 | 10 ⁻⁹ a 10 | 0.56 t ^{0.25} | 3 x 10 ⁻³ | Nota 6 Nota 7 |
| | | 10 a 30,000 | - | | |
| | 302.5 a 315 | 10 ⁻⁹ a 10 | 0.56 t ^{0.25} | 10 ^{0.2(\lambda-295)} x 10⁻⁴} | |
| | | 10 a 30,000 | - | | |
| | 315 a 400 | 10 ⁻⁹ a 10 | 0.56 t ^{0.25} | - | |
| | | 10 a 30,000 | - | 1.0 | |
| Nota 6 | Consulte a Tabela 8a e a Tabela 8b para limitar a abertura e a Tabela 9 (ANSI Z 136-1) para a abertura de medição | | | | |
| Nota 7 | Consulte a Tabela 6a para os fatores de correção dependentes do comprimento de onda C _A e C _C e o parâmetro K _λ | | | | |

Legendas:

| | |
|----------------|---|
| C _A | Fator de correção que aumenta a EMP na banda espectral do infravermelho próximo (IR-A) (700 – 1400 nm) com base nas propriedades de absorção reduzidas dos grânulos de pigmento de melanina encontrados na pele e no epitélio pigmentar da retina |
| C _B | Fator de correção que aumenta a EMP em porções do espectro visível (450 nm a 600 nm), devido ao risco fotoquímico bastante reduzido |
| C _C | Fator de correção que aumenta a EMP para exposição ocular por causa da absorção pré-retiniana de energia radiante na região espectral entre 1150 e 1400 nm |
| T ₁ | É a duração da exposição (tempo) além da qual as EMP baseados em lesão fotoquímica são menores (mais restritivos) do que as EMP baseados em lesão térmica, para exposição a fontes pontuais. |
| K _λ | Parâmetro/Fator de correção de comprimentos de ondas |

**ANEXO IV – TABELAS DAS EMP PARA OS COMPRIMENTOS DE ONDAS DE
RADIAÇÕES DO LASER EMITIDAS PELAS MÁQUINAS DE MA (da
empresa/organização que está implantado o PISOSL)
(SEGUINDO O INVENTÁRIO DO ANEXO IV DESTE PISOSL) - SEGUNDO A ANSI
Z-136-1
(Continuação)**

2- Exposição Máxima Permitida (EMP) para uma Exposição Ocular de fonte pontual a um feixe de laser para comprimentos de onda de 400 a 700 nm (adaptado - Tabela 5b - ANSI Z-136-1:2014):

| | Comprimento de onda λ (nm) | Duração da exposição t(s) | EMP | | Notas |
|---------------------------|--|--|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | | | (J.cm ⁻²) | (W.cm ⁻²) | |
| VISÍVEL | 400 a 450 | 10 ⁻¹³ a 10 ⁻¹¹ | 1.0 x 10 ⁻⁷ | - | Nota 1 Nota 2 Nota 3 Nota 4 |
| | | 10 ⁻¹¹ a 5 x 10 ⁻⁶ | 2.0 x 10 ⁻⁷ | - | |
| | | 5 x 10 ⁻⁶ a 10 | 1.8 t ^{0.75} x 10 ⁻³ | - | |
| | | 10 a 100 | 1.0 x 10 ⁻² | - | |
| | | 100 a 30,000 | - | C _B x 10 ⁻⁴ | |
| | 450 a 500 | 10 ⁻¹³ a 10 ⁻¹¹ | 1.0 x 10 ⁻⁷ | - | Nota 1 Nota 2 Nota 3 |
| | | 10 ⁻¹¹ a 5 x 10 ⁻⁶ | 2.0 x 10 ⁻⁷ | - | |
| | | 5 x 10 ⁻⁶ a 10 | 1.8 t ^{0.75} x 10 ⁻³ | - | |
| | | 10 a T ₁ | - | 1.0 x 10 ⁻³ | |
| | | T ₁ a 100 | C _B x 10 ⁻² | - | |
| | 500 a 700 | 10 ⁻¹³ a 10 ⁻¹¹ | 1.0 x 10 ⁻⁷ | - | Nota 1 Nota 2 |
| | | 10 ⁻¹¹ a 5 x 10 ⁻⁶ | 2.0 x 10 ⁻⁷ | - | |
| 5 x 10 ⁻⁶ a 10 | | 1.8 t ^{0.75} x 10 ⁻³ | - | | |
| 10 a 30,000 | | - | 1.0 x 10 ⁻³ | | |
| Nota 1 | Consulte a Tabela 8a e a Tabela 8b para limitar a abertura e a Tabela 9 (ANSI Z 136-1) para a abertura de medição | | | | |
| Nota 2 | Consulte 8.3 (ANSI Z-136-1) para condições de exposição especiais que se aplicam a, por exemplo, instrumentos oftálmicos. | | | | |
| Nota 3 | Para comprimento de onda de 400nm a 500nm, aplica-se um limite duplo. Para duração de exposição t menor que T ₁ , o EMP térmico é menor que o EMP fotoquímico. Para t maior que T ₁ , o EMP fotoquímico é inferior ao EMP térmico. A tabela reflete esse limite duplo (mas consulte a Tabela 5e para o EMP de origem estendida). Consulte a Tabela 6a para o fator de correção dependente do comprimento de onda C _B e tempo T ₁ . | | | | |
| Nota 4 - T ₁ | 10 s nesta faixa de comprimento de onda | | | | |

**ANEXO IV – TABELAS DAS EMP PARA OS COMPRIMENTOS DE ONDAS DE
RADIAÇÕES DO LASER EMITIDAS PELAS MÁQUINAS DE MA (da
empresa/organização que está implantado o PISOSL)
(SEGUINDO O INVENTÁRIO DO ANEXO IV DESTE PISOSL) - SEGUNDO A ANSI
Z-136-1
(Continuação)**

3- Exposição Máxima Permitida (EMP) para uma Exposição Ocular de fonte pontual a um feixe de laser para comprimentos de onda de 700 a 1400 nm (adaptado -Tabela 5c - ANSI Z-136-1:2014):

| | Comprimento de onda λ (nm) | Duração da exposição t(s) | EMP | | Notas | |
|--------------------------|--|---|--|---------------------------------------|-------|--|
| | | | Retina | | | Córnea |
| | | | J.cm ⁻² | W.cm ⁻² | | (J.cm ⁻²) exceto conforme indicado |
| Próximo ao Infravermelho | 700 a 1050 | 10 ⁻¹³ a 10 ⁻¹¹ | 1.0 x 10 ⁻⁷ | - | - | Nota 1 Nota 2 Nota 3 |
| | | 10 ⁻¹¹ a 5x10 ⁻⁶ | 2.0 C _A 10 ⁻⁷ | - | - | |
| | | 5x10 ⁻⁶ a 10 | 1.8 C _A t ^{0.75} x10 ⁻³ | - | - | |
| | | 10 a 30,000 | - | C _A x 10 ⁻³ | - | |
| | 1050 a 1200 | 10 ⁻¹³ a 10 ⁻¹¹ | 1.0 C _C x 10 ⁻⁷ | - | - | Nota 1 Nota 2 |
| | | 10 ⁻¹¹ a 13x10 ⁻⁶ | 2.0 C _C x 10 ⁻⁶ | - | - | |
| | | 13x10 ⁻⁶ a 10 | 9.0 C _C t ^{0.75} x10 ⁻³ | - | - | |
| | | 10 a 30,000 | - | 5.0 C _C x 10 ⁻³ | - | |
| Nota 1 | Consulte a Tabela 8a e a Tabela 8b para limitar a abertura e a Tabela 9 (ANSI Z 136-1) para a abertura de medição | | | | | |
| Nota 2 | Consulte a Tabela 6a para os fatores de correção dependentes do comprimento de onda C _A e C _C e o parâmetro K _λ | | | | | |
| Nota 3 | A EMP para 10 ⁻¹³ a 10 ⁻¹¹ s não inclui o fator C _A para esta faixa de comprimento de onda | | | | | |
| Nota 4 | A EMP mais baixo considerando os efeitos da retina e da córnea deve ser escolhido. As EMP devem estar nas mesmas unidades. | | | | | |

**ANEXO IV – TABELAS DAS EMP PARA OS COMPRIMENTOS DE ONDAS DE
RADIAÇÕES DO LASER EMITIDAS PELAS MÁQUINAS DE MA (da
empresa/organização que está implantado o PISOSL)
(SEGUINDO O INVENTÁRIO DO ANEXO IV DESTE PISOSL) - SEGUNDO A ANSI
Z-136-1
(Continuação)**

4- Exposição Máxima Permitida (EMP) para Exposição da Pele a um feixe de laser para comprimentos de onda de 180 a 400nm (adaptado - Tabela 7a - ANSI Z-136-1:2014):

| | Comprimento de onda λ (nm) | Duração da exposição t(s) | EMP | | Notas |
|--------------------------|--|---------------------------|------------------------|---|------------------|
| | | | Térmico | Fotoquímico | |
| | | | (J.cm ⁻²) | (J.cm ⁻²) (W.cm ⁻²) | |
| Ultravioleta | 180 a 302.5 | 10 ⁻⁹ a 10 | 0.56 t ^{0.25} | 3.0 x 10 ⁻³ | Nota 1 Nota 2 |
| | | 10 a 30,000 | - | | |
| | 302.5 a 315 | 10 ⁻⁹ a 10 | 0.56 t ^{0.25} | 10 ^{0.2(\lambda-295)} x 10⁻⁴} | |
| | | 10 a 30,000 | - | | |
| | 315 a 400 | 10 ⁻⁹ a 10 | 0.56 t ^{0.25} | - | |
| | | 10 a 10 ³ | - | 1.0 | |
| 10 ³ a 30,000 | | - | - | 1.0 x 10 ⁻³ | |
| Nota 1 | Uma abertura limitadora de 3,5 mm de diâmetro deve ser usada para avaliação de risco. (Tabela 8ª) ANSI Z-136-1 | | | | |
| Nota 2 | A EMP mais baixo considerando os efeitos térmicos e fotoquímicos deve ser escolhido. | | | | |

5- Exposição Máxima Permitida (EMP) para Exposição da Pele a um feixe de laser para comprimentos de onda de 400 a 1400 nm (adaptado - Tabela 7b – ANSI Z-136-1:2014):

| | Comprimento de onda λ (nm) | Duração da exposição t(s) | EMP | | Notas |
|------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| | | | (J.cm ⁻²) | (W.cm ⁻²) | |
| VISÍVEL E PRÓXIMO DO INFRAVERMELHO | 400 a 1400 | 10 ⁻⁹ a 10 ⁻⁷ | 2.0 C _A x 10 ⁻² | - | Nota 1 Nota 2 |
| | | 10 ⁻⁷ a 10 | 1.1 C _A t ^{0.25} | - | |
| | | 10 a 3 x 10 ⁴ | - | 0.2 C _A | |
| Nota 1 | Uma abertura limitadora de 3,5 mm de diâmetro deve ser usada para avaliação de risco. (Tabela 8a) ANSI Z-136-1 | | | | |
| Nota 2 | Consulte a Tabela 6a para o fator de correção dependente do comprimento de onda C _A | | | | |

ANEXO V – PROCEDIMENTO DE TRABALHO E SEGURANÇA – PTS – OPERAÇÃO DA MÁQUINA (Exemplo)

1. Objetivo

Estabelecer exigências mínimas e procedimentos de trabalho e segurança para operação de máquinas e/ou equipamentos em todas as suas fases de utilização.

2. Aplicação

Este procedimento aplica-se nas fases de montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção e inspeção de máquinas e/ou equipamentos.

3. Responsabilidades

É de responsabilidade de todos os envolvidos neste processo seguir exatamente o que foi determinado neste procedimento.

4. Histórico de Revisões

| DATA | REVISÃO | DESCRIÇÃO DA ALTERAÇÃO |
|------------|---------|------------------------|
| 27/09/2021 | 00 | Documento original. |

5. Visão geral da máquina



6. Aspectos de Segurança

O sistema é exclusivamente para uso na construção de componentes feitos de pós de metal com base em dados CAD 3-D usando o processo de fusão a laser seletivo (SLM). O tamanho dos componentes é limitado ao tamanho do envelope de construção. Somente pós-metálicos aprovados com um tamanho de grão final entre 10 e 65 µm podem ser usados.



! O uso impróprio da unidade pode resultar em situações perigosas.

- Não use nenhum pó de metal tóxico ou não aprovado.
- São proibidas modificações de qualquer tipo ou modificações no software.
- Nunca opere a unidade sem gás inerte (argônio / nitrogênio).
- Nunca opere a unidade com gases não aprovados.
- Nunca opere a unidade sem o equipamento de segurança em funcionamento.


Há risco de ferimentos graves e danos materiais consideráveis, quando pessoas não qualificadas realizam trabalhos na máquina.

- As ações devem ser realizadas apenas por pessoas qualificadas.
- Mantenha as pessoas não qualificadas fora das áreas de risco.

7. Descrição das Atividades e Procedimentos

AVISO! Execute todas as etapas de operação de acordo com as informações e instruções desta PTS. - Antes de iniciar o trabalho, certifique-se de que: - Todas as tampas e dispositivos de segurança estão instalados e funcionando corretamente – Há alguém na área de risco - Nunca desconecte ou desative os dispositivos de segurança durante a operação.

7.1. Ligando a Máquina

| ETAPA | PROCEDIMENTOS |
|---|--|
| 1 | Gire o interruptor principal da máquina para a posição "I ON". |
| 2 | Assim que o logotipo SLM e a versão do Scout e do TLM / LMC forem mostrados no monitor SPS, o botão [RESET] deve ser pressionado |
|  | Depois de ligar a máquina, há um período de espera de 30 minutos antes que um processo de construção possa ser iniciado. Caso contrário, pode haver consequências negativas para a qualidade da peça construída ou danos à máquina. |

| | |
|---|--|
| 3 | O PC de controle é iniciado automaticamente. |
| 4 | Faça login no PC. |
| 5 | Inicie o MCS se não estiver incluído na inicialização automática. |
| 6 | Realize o homing no recobridor. Para fazer isso, pressione o botão [Homing] no menu [Motor]. |

7.2. Dispositivo de Partida, Acionamento e Parada

Os seguintes dispositivos de partida, acionamento e parada estão instalados na máquina e/ou equipamento:

| | |
|----------------|---------------------|
| Partida/Liga | Foto do dispositivo |
| Parada/Desliga | Foto do dispositivo |
| Rearme | Foto do Dispositivo |
| Emergência | Foto do Dispositivo |

Todos os dispositivos de partida, acionamento e parada da máquina e/ou equipamento devem ser mantidos desobstruídos. É expressamente proibido burlar ou danificar o seu correto funcionamento.






7.3. Preparação

AVISO! Pós de metais podem pegar fogo ou formar uma mistura explosiva quando dispersos no ar atmosférico. Isso pode causar ferimentos graves e até fatais.

- a) Não fume dentro da zona de perigo ou nas imediações. Evite usar luz aberta, fogo ou fontes de ignição de qualquer tipo.
- b) Mantenha os agentes extintores adequados disponíveis (manta anti-incêndio, extintor).
- c) No caso de formação de poeira pesada, interrompa a tarefa imediatamente. Espere primeiro até que a poeira assente e, em seguida, remova a camada de poeira.
- d) Em caso de incêndio, pare imediatamente o trabalho. Deixe a zona de perigo até que o sinal claro seja dado e acione os serviços de emergência.
- e) Mantenha a área de perigo livre de poeira.
- f) Limpe o pó de metal apenas com um aspirador de segurança.

7.4 Equipamentos de Proteção Individual – EPI

Para operação da máquina em todas as suas fases de utilização, é obrigatório utilizar os seguintes equipamentos de proteção individual – EPI listados abaixo:

| Vestimenta de proteção | Equipamento de proteção respiratória | Óculos de segurança | Luvas de proteção | Sapatos de segurança |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |

Quanto ao EPI, os operadores devem:

- a) Usar, utilizando-o apenas para a finalidade a que se destina;
- b) Responsabilizar-se pela guarda e conservação;
- c) Comunicar ao empregador qualquer alteração que o torne impróprio para uso;
- d) Cumprir as determinações do empregador sobre o uso adequado.

7.5 Operação e Manutenção

Siga as etapas de acordo com as figuras 01 e 02 abaixo:

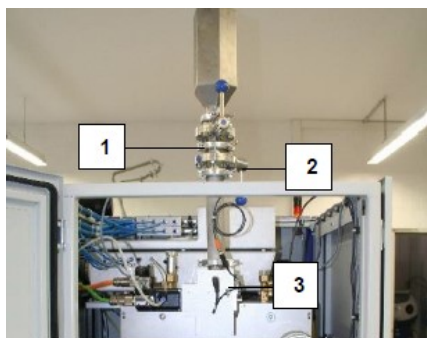


Fig. 1_ Frasco de pó

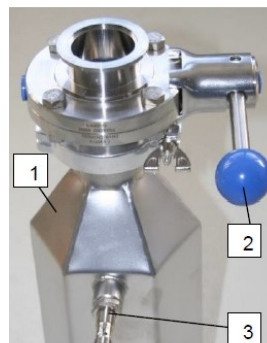



Fig. 2_ Frasco de pó

| ETAPA | PROCEDIMENTOS |
|---|---|
| 1 | Feche a válvula de retenção nos conectores (Fig. 1/ 2) |
| 2 | Abra a tampa da braçadeira (Fig. 01/1) e remova com o anel de centragem e os bujões falsos. Se um frasco de pó vazio tiver sido instalado, remova a tampa da braçadeira com o anel de centralização e o frasco de pó. |
| 3 | Empurre o frasco de pó com pó metálico (Fig. 02/1) com a válvula fechada (Fig. 02/2) e o anel de centragem nas uniões de ligação e fixe com o fecho de braçadeira (Fig. 01/1) |
|  | <p>Enchendo os frascos de pó! Os frascos de pó devem ser limpos antes do enchimento inicial ou reenchimento. Encha as garrafas apenas com pó metálico filtrado.</p> <ul style="list-style-type: none"> Partículas maiores provenientes do derramamento ou de resíduos da produção podem causar danos / quebra da carregadeira. |
| 4 | Abra a válvula de retenção nas uniões de conexão (Fig. 01/2). |
| 5 | <p>Abra a válvula de retenção no frasco de pó (Fig. 02/2).</p> <ul style="list-style-type: none"> O pó metálico cairá agora no carregador 1 (Fig. 01/3). |

7.6 Segurança na Operação

7.6.1 - A máquina deve operar somente quando as proteções estiverem fechadas, quando instaladas.

7.6.2 - As áreas de circulação devem ser mantidas desobstruídas.

7.6.3 - As áreas demarcadas de acordo com os limites de operação da máquina e/ou equipamento devem ser mantidas desobstruídas.

7.6.4 - Obrigatório utilizar todo e qualquer equipamento de proteção individual especificado para o setor, atividade ou máquina e/ou equipamento.

7.6.5 - O quadro ou painel de comando e potência da máquina e/ou equipamento deve:

- a) Permanecer permanentemente fechado, exceto nas situações de manutenção, pesquisa de defeitos e outras intervenções.
- b) Ser mantido em bom estado de conservação, limpo e livre de objetos e ferramentas.

7.6.6 – Na falta de informações necessárias para iniciar o trabalho com a máquina e/ou equipamento, consultar o superior imediato.

7.6.7 - Os materiais e peças devem ser alocados em áreas específicas, previamente demarcadas no setor de armazenamento.

7.7 Manutenção

7.7.1 - A manutenção, inspeção, reparos, limpeza, ajuste e outras intervenções que se fizerem necessárias devem ser executadas por profissionais capacitados, qualificados ou legalmente habilitados, formalmente autorizados pelo empregador, com a máquina e/ou equipamento parado e adoção dos seguintes procedimentos:

- a) Isolamento e descarga de todas as fontes de energia da máquina ou equipamento, de modo visível ou facilmente identificável por meio dos dispositivos de comando.
- b) Bloqueio mecânico e elétrico na posição “desligado” ou “fechado” de todos os dispositivos de corte de fontes de energia, a fim de impedir a reenergização, e sinalização com cartão ou etiqueta de bloqueio contendo o horário e a data do bloqueio, o motivo da manutenção e o nome do responsável (Exemplo vide Anexo I).
- c) Medidas que garantam que à jusante dos pontos de corte de energia não exista possibilidade de gerar risco de acidentes.
- d) Medidas adicionais de segurança, quando for realizada manutenção, inspeção e reparos da máquina ou equipamento sustentados somente por sistemas hidráulicos e pneumáticos.

7.7.2 - Nas manutenções, com a máquina ou equipamento parado deve ser fixado em local visível uma placa de sinalização e advertência indicando a condição de manutenção (Exemplo vide Anexo II).

7.7.3 - Nas manutenções de máquina ou equipamento, sempre que detectado qualquer defeito em peça ou componente que comprometa a segurança, deve ser providenciada sua reparação ou substituição imediata por outra peça ou componente original ou equivalente, de modo a garantir as mesmas características e condições seguras de uso.

7.7.4 - Todas as ações de manutenção realizadas na máquina ou equipamento devem ser registradas em livro próprio, ficha ou sistema informatizado interno da empresa.

7.7.5 - As intervenções em instalações elétricas com tensão igual ou superior a 50 Volts em corrente alternada ou superior a 120 Volts em corrente contínua somente podem ser realizadas por trabalhadores com Curso Básico NR10 – Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade.

7.7.6 - É vedado o uso de adornos pessoais nos trabalhos com instalações elétricas ou em suas proximidades.

7.7.7 - As ferramentas e materiais utilizados nas intervenções na máquina ou equipamento devem ser adequados às operações realizadas.

7.8 Situações de Emergência

7.8.1 - Em caso de emergência, o trabalhador deve:

- a) Acionar imediatamente o dispositivo de parada de emergência;
- b) Se você não está colocando em risco a sua saúde, retire as pessoas da zona de perigo;
- c) Se necessário, inicie medidas de primeiros socorros;
- d) Acionar a brigada de incêndio e / ou serviço de resgate;
- e) Informe as pessoas responsáveis, superior imediato;
- f) Desligar a máquina e proteja-a contra reinicialização, desligando a chave geral.
- g) Desobstruir as rotas de acesso para assistência aos primeiros socorros;
- h) Se a gravidade da emergência assim o exigir, notifique as autoridades responsáveis.
- i) Acione o pessoal especializado para corrigir a falha.
- j) Verifique o sistema antes do reinício da máquina e certifique-se de que todo o equipamento de segurança esteja instalado e funcionando corretamente.



AVISO! A reinicialização não autorizada ou não controlada do fornecimento de energia pode causar ferimentos graves ou até mesmo a morte. - Antes de reiniciar, certifique-se de que todo o equipamento de segurança está ativado e que ninguém está em risco.

7.9 Disposições Gerais

7.9.1 Cabe aos trabalhadores:

- a) Cumprir todas as orientações relativas aos procedimentos seguros de operação, alimentação, abastecimento, limpeza, manutenção, inspeção, transporte, desativação, desmonte e descarte da máquina ou equipamento;

- b) Não realizar qualquer tipo de alteração nas proteções mecânicas ou dispositivos de segurança da máquina ou equipamento;
- c) Comunicar seu superior imediato se uma proteção ou dispositivo de segurança foi removido, danificado ou se perdeu sua função;
- d) Participar dos treinamentos fornecidos pelo empregador para atender às exigências/requisitos descritos na NR12;
- e) Colaborar com o empregador na implementação das disposições contidas nas Normas Regulamentadoras, em especial, a NR12;
- f) Ao início de cada turno de trabalho ou após nova preparação da máquina, o operador deve efetuar inspeção das condições de operacionalidade e segurança e, se constatadas anormalidades que afetem a segurança, as atividades devem ser interrompidas, com a comunicação ao superior hierárquico.
- g) É proibido o porte de ferramentas manuais em bolsos ou locais não apropriados a essa finalidade.
- h) Os locais de trabalho devem permanecer limpos e organizados.

ANEXO VI – MODELO DE AVALIAÇÃO E MELHORIA DO PROGRAMA (PISOSL)

| Requisito | Período | Não Implantado | Parcialmente Implantado | | Totalmente Implantado | | Evidências da Implantação | Melhorias Sugeridas |
|---|---|----------------|-------------------------|------|-----------------------|-----|---------------------------|---------------------|
| | | | | 5% | | 10% | | |
| 1- Elaboração / atualização do Inventário de máquinas | Na aquisição de máquinas e revisão anual | | | 5% | | 10% | | |
| 2- Apreciação de riscos nas máquinas a laser | Na aquisição da máquina ou quando ocorrer alterações físicas ou de processo | | | 5% | | 10% | | |
| 3 - Adequação das máquinas de acordo com as apreciações de riscos | Na aquisição da máquina ou quando ocorrer alterações físicas ou de processo | | | 2,5% | | 5% | | |
| 4 - Sinalizações de segurança em língua portuguesa | Na aquisição de máquinas e sempre que a apreciação de risco indicar | | | 2,5% | | 5% | | |
| 5 - Elaboração de PTS de operação para cada uma das máquinas | Na aquisição da máquina ou quando ocorrer alterações físicas ou de processo | | | 2,5% | | 5% | | |
| 6 - Operadores possuem EPI's adequados aos riscos expostos | Sempre que a apreciação de risco indicar. A entrega deve ser feita no início da atividade laboral | | | 2,5% | | 5% | | |
| 7 - Formação do Comitê de Segurança a laser | Na implantação do PISOSL e revisão/renovação de forma Bienal – podendo se repetir por mais um período | | | 5% | | 10% | | |
| 8 - Reuniões periódicas do CSL | Trimestralmente e quando for solicitado por alguém do comitê | | | 2,5% | | 5% | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|--|--|------|--|------|------------------|--|
| 9 - Oficial de Segurança a Laser (OSL) | Permanente | | | 5% | | 10% | | |
| 10 - Capacitação do OSL | No início das atividades e a reciclagem bienal | | | 2,5% | | 5% | | |
| 11 - Capacitações do UL | No início das atividades e a reciclagem bienal | | | 2,5% | | 5% | | |
| 12 - Capacitação de Operação de máquinas a laser (com o uso das PTS) | Ao iniciar as atividades e quando houver alterações na PTS | | | 2,5% | | 5% | | |
| 13 - Os trabalhadores estão envolvidos em todas as atividades de revisão do Programa | Constantemente | | | 1,5% | | 2,5% | | |
| 14 - O programa é modificado conforme necessário para corrigir deficiências | Nas reuniões do CSL | | | 2,5% | | 5% | | |
| 15 - Os indicadores de desempenho são utilizados para acompanhar as melhorias do Programa | Nas reuniões do CSL | | | 1% | | 2,5% | | |
| 16 - O desempenho é acompanhado pelos líderes através de indicadores | Após reuniões do CSL | | | 1% | | 2,5% | | |
| 17 - Os dados de desempenho são analisados e compartilhados com os trabalhadores. | Após reuniões do CSL | | | 1,5% | | 2,5% | | |
| 18 - A Administração revisa o Programa, para garantir que ele seja totalmente implantado e funcionando como planejado | Anual | | | 2,5% | | 5% | | |
| SOMATÓRIO DO PERCENTUAL DE IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA | | | | | | | TOTAL (%) | |
| RESPONSÁVEL PELA AVALIAÇÃO | | | | | | | DATA | |

REFERÊNCIAS (DO PROGRAMA – MODELO)

Citar aqui as referências utilizadas para esse programa de segurança. Exemplo:

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE **ANSI Z-136.1**. Protective Equipment. USA. 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDENCIA. **NR-12 Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Portaria MTP n.º 428, de 07 de outubro de 2021 08/10/21 (última atualização Diário Oficial da União).

TRÄGER, Frank (Ed.). **Springer handbook of lasers and optics**. New York, NY, USA: springer, 2012.