



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

MICHEL WILSON PEREIRA DE ALMEIDA, Cap Esp Arm

Gestão Sustentável de Resíduos no PAMB-RJ: Inovação nos Processos de Manutenção

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

MICHEL WILSON PEREIRA DE ALMEIDA, Cap Esp Arm

Gestão Sustentável de Resíduos no PAMB-RJ: Inovação nos Processos de Manutenção

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Gestão Institucional

Orientador: Marcos Zeitone Koialainski Junior,
Maj Av

Rio de Janeiro

2024

MICHEL WILSON PEREIRA DE ALMEIDA, Cap Esp Arm

Gestão Sustentável de Resíduos no PAMB-RJ: Inovação nos Processos de Manutenção

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Marcos Zeitone Koialainski Junior, Maj Av - EAOAR

Alexandra Vidal Pedinotti Zuma, Maj Farm - EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

O Parque de Material Bélico da Aeronáutica do Rio de Janeiro, responsável pela manutenção dos armamentos da Força Aérea Brasileira, atualmente utiliza o jateamento com esferas de vidro, técnica que gera resíduos e oferece riscos à saúde dos operadores devido à produção de partículas contaminantes, em seu processo de decapagem. Este ensaio aborda a tese da implementação da decapagem a laser como uma solução sustentável e eficiente para a manutenção de armamentos a ser realizada pelo PAMB-RJ. A tecnologia de decapagem a laser é apresentada como uma solução sustentável e eficiente que substitui o método tradicional de jateamento abrasivo. A decapagem a laser, que funciona por meio da remoção de revestimentos de superfícies metálicas por meio de ablação térmica, reduz significativamente a geração de resíduos e elimina a necessidade de sistemas de ventilação para controle de contaminantes. Esta técnica possui menor potencial de dano ao ecossistema e a saúde dos operadores. Isso se alinha com o Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS) do Governo Federal, que incentiva práticas ambientalmente responsáveis. Além disso, tem a capacidade de diminuir o tempo necessário para a manutenção, aumentando a disponibilidade operacional dos armamentos, e ainda permite automação, melhorando a segurança e eficiência dos processos de manutenção. Assim, a introdução da decapagem a laser representa uma inovação que não apenas moderniza o processo de manutenção no PAMB-RJ, mas que também pode ser estendida a outras OM da FAB, como por exemplo o processo de decapagem de aeronaves que ocorre nos Parques de Material Aeronáuticos.

Palavras-chave: sustentável; eficiência; armamento; laser.

1. Inovação Sustentável na Manutenção de Armamentos: O Papel do PAMB-RJ

O Parque de Material Bélico da Aeronáutica do Rio de Janeiro (PAMB-RJ) é responsável pela manutenção, de alto escalão, de todas as armas de fogo da Força Aérea Brasileira. Os armamentos são recolhidos de diferentes Organizações Militares da FAB e enviados ao PAMB-RJ conforme seus respectivos ciclos de manutenção. Uma das etapas desta manutenção é a decapagem, processo de remoção da pintura eletroestática antiga, essencial para identificar trincas ou danos nessas armas.

Atualmente, o método de decapagem utilizado no PAMB-RJ é o jateamento com esferas de vidro, onde microesferas, impulsionadas por ar comprimido, removem o revestimento da superfície das armas por abrasão. Apesar de eficaz, essa técnica gera detritos como poeira e partículas de vidro contaminadas, o que exige a utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para mitigar os riscos à saúde dos envolvidos, e um descarte adequado dos resíduos para evitar impactos ambientais.

Com o avanço tecnológico e as crescentes demandas por sustentabilidade, faz-se necessário adotar gestões que preservem a saúde e o meio ambiente. Neste contexto, é fundamental a implementação da decapagem a laser como uma solução sustentável e eficiente para a manutenção de armamentos no PAMB-RJ.

A técnica de decapagem a Laser se mostra uma solução moderna e voltada à preservação do ecossistema e da saúde pública, a qual reduz a produção de resíduos e diminui os riscos à saúde dos operadores, o que a torna uma resposta alinhada à gestão sustentável, e principalmente, ao Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS) do Governo Federal.

Este método também proporciona maior eficiência na limpeza das peças, resultando em um processo de manutenção mais ágil e otimizado. Com isso, o tempo de decapagem é reduzido significativamente, o que é crucial para o PAMB-RJ, que realiza a manutenção de centenas de armamentos anualmente.

2. Sustentabilidade e Eficiência: A Chave para a Modernização

Em um contexto global de crescente responsabilidade ambiental, a modernização da Força Aérea Brasileira é essencial. A substituição do jateamento por decapagem a laser na manutenção de armamentos é uma inovação acertada que promove a gestão sustentável no PAMB-RJ, uma vez que essa tecnologia reduz os riscos à saúde e o impacto ambiental.

A implementação da decapagem a laser no PAMB-RJ simboliza um marco de eficiência e inovação na manutenção dos armamentos do acervo da FAB. Esse método moderno, reduz o tempo de manutenção e permite a possibilidade de automação, ampliando a produtividade e otimizando os ciclos de manutenção.

Para melhor compreensão do processo de decapagem a laser, é imperioso identificar que “Laser” é um acrônimo, o qual significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, traduzido para o português como Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação. Embora haja muitas discussões acerca da autoria do desenvolvimento do Laser, a base teórica que o sustentou originou-se da pesquisa de Albert Einstein, intitulada “Sobre a Teoria Quântica da Radiação”, publicada em 1917.

2.1. Decapagem a Laser: Implementação da Ablação Térmica com Foco na Gestão Sustentável

A decapagem a laser utiliza feixes pulsados sobre superfícies metálicas, onde a radiação é absorvida e convertida em calor, possibilitando a remoção da pintura por ablação. Segundo Phipps (2007), a ablação ocorre quando um feixe intenso atinge a superfície, criando um jato de alta temperatura que remove o material desta com eficiência. Na ablação, o material é removido da superfície por vaporização ou sublimação, sem deixar resíduos sólidos.

Chen *et al.* (2012) reforçam que o laser de alta potência pode ser uma alternativa promissora ao jateamento abrasivo convencional na limpeza industrial. A implementação da referida tecnologia traria resultados extremamente benéficos sob a luz da gestão sustentável do meio ambiente e saúde. Um dos exemplos seria o alinhamento com o Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS), implementado pela Portaria SEGES/ME nº 8.678, de 19 de julho de 2021, que é um instrumento de governança da administração pública federal, o qual estabelece a estratégia das contratações e da logística, com foco em práticas de sustentabilidade, nas dimensões econômica, social, ambiental, de saúde pública e cultural.

Na busca pela sustentabilidade, no âmbito da saúde pública, Xiaoguang *et al.* (2017) abordam os riscos à saúde enfrentados por trabalhadores de estaleiros navais que utilizam a técnica de jateamento para remoção de pinturas em navios. Os autores defendem a adoção de técnicas mais seguras e menos danosas tanto para os operadores quanto para o meio ambiente, incentivando uma transição para métodos mais sustentáveis.

Neste cenário, a utilização da tecnologia a laser no PAMB-RJ dispensaria a necessidade de manejo especial dos subprodutos hoje gerados pela decapagem mecânica, além de mitigar os riscos gerados à saúde dos militares e civis que operam atualmente no Setor de Tratamento de Superfícies.

Na esfera ambiental, Martins (2020) em sua dissertação de mestrado, *Aplicação da Tecnologia Laser para a Limpeza de Superfícies Metálicas na Aeronáutica*, cita o seguinte:

[...]Esta dissertação tinha como objetivo estudar o efeito da tecnologia laser na remoção do esquema de pintura em aeronaves militares e civis, em colaboração com a empresa OGMA. O processo a laser pretende ser uma alternativa aos métodos convencionais usados por esta empresa. Esses métodos além de serem muito agressivos apresentam ainda a desvantagem de os materiais não poderem ser reutilizáveis. Além disso, existe uma grande contaminação das águas e um acumular de desperdícios, os quais contribuem para poluir cada vez mais o planeta. (Martins, 2020, p. 43).

Traçando um paralelo com o panorama atual do PAMB-RJ, o jateamento com esferas de vidro, por ser um processo mecânico, gera poeira e partículas que contaminam o ar, exigindo sistemas de ventilação e filtragem para evitar a dispersão de substâncias nocivas, o que exige Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para mitigar riscos à saúde dos operadores do Parque. Tal processo também produz resíduos sólidos, como esferas desgastadas e contaminantes, que precisam ser coletados e descartados adequadamente, passível de efeitos ao meio ambiente.

Em análise de tudo o que fora discutido acima, referenciado nas experiências trazidas pelos autores supracitados, fica evidenciada a necessidade de se implementar a decapagem a laser na manutenção de armamentos no PAMB-RJ, pois essa mudança tecnológica, fundamentada em práticas mais sustentáveis, não apenas reduz os riscos à saúde dos operadores, como também o dano ambiental.

2.2. Gestão Eficiente: Inovação nos Processos de Manutenção do PAMB-RJ

A tecnologia de remoção a laser destaca-se como uma alternativa altamente eficiente e precisa em comparação com os métodos convencionais, especialmente na manutenção de armamentos no PAMB-RJ.

Da Silva (2018) em sua dissertação de mestrado, Tecnologia laser para limpeza de superfícies na indústria naval, cita o seguinte:

[...]O processo convencional (decapagem por jato de granalha) tem um rendimento médio, entre 2 e 4 m²/hora, dependendo da espessura de tinta a remover. Através da otimização de um sistema adequado às necessidades da empresa poderá ser possível realizar este tratamento de uma forma mais eficaz, com uma velocidade mais rápida e sem formação de resíduos (Da Silva, 2018, p. 44).

No trecho, a autora descreve a observação da substituição da decapagem por jato convencional pela decapagem a laser em uma empresa naval na cidade de Aveiro em Portugal. O trecho apresenta como a técnica reduz significativamente o tempo de operação, garantindo uma limpeza mais rápida e uniforme.

Na conjuntura da manutenção de armamentos no PAMB-RJ, essa redução no tempo de operação permitiria realizar a manutenção de um maior número de armas em um período mais curto. Isso contribuiria para aumentar a disponibilidade de armamentos em todas as Organizações Militares da Força Aérea Brasileira.

Rivas *et al.* (2013) citam que a limpeza a laser surge como uma nova ferramenta de precisão para remover material de qualquer superfície, e destaca que foi avaliada a eficácia desta abordagem para a limpeza de tintas e vernizes, metais, entre outros materiais.

Considerando o trecho acima, o autor destaca que a decapagem a laser surge como uma ferramenta precisa na remoção de material de qualquer superfície. Essa precisão é essencial na manutenção de armamentos, pois permite a preservação de componentes críticos, aumentando a durabilidade e a confiabilidade das peças.

Além disso, ele também destaca a versatilidade da técnica de limpeza a laser, que pode ser aplicada a uma ampla variedade de substratos, incluindo materiais metálicos e não metálicos. Na manutenção do PAMB-RJ, isso se apresenta com extrema importância, uma vez que o método convencional deve ser empregado com cautela, pois tem potencial para provocar danos na superfície da estrutura metálica dos itens bélicos, por ser abrasiva, além de ser desaconselhada na utilização em polímeros dos acabamentos e empunhaduras das armas.

Neste sentido, a técnica a laser promove uma manutenção mais eficiente, ao remover rapidamente camadas indesejadas, como tinta, óxidos e outros contaminantes, sem comprometer a integridade do material subjacente e potencializando o desempenho das operações no PAMB-RJ.

Com capacidade de automação, o laser permite um controle detalhado da intensidade e área de atuação, e aumenta a eficiência do processo, tornando-o uma solução tecnologicamente avançada.

“[...]Uma outra vantagem passa pela possibilidade de operar o laser e os seus parâmetros de processamento à distância, tornando-se num processo totalmente automatizado, resultando numa diminuição do número de trabalhadores” (Da Silva, 2018, p. 1).

Na realidade do PAMB-RJ, onde a escassez de militares para atividades de mão de obra direta é cada vez mais evidente na Tabela de Lotação de Pessoal, a automação permitiria realocar aqueles que atualmente atuam no jateamento de areia para outras tarefas. Isso aumentaria a eficiência na execução do Plano de Trabalho Anual do Parque.

Com base nos pontos destacados pelos autores referenciados nesta seção, percebe-se que a decapagem a laser oferece maior precisão no processo, removendo contaminantes de forma seletiva sem danificar o material subjacente, o que resulta em menos retrabalho e maior durabilidade dos componentes. A rapidez do procedimento também reduz o tempo de manutenção, melhorando assim a disponibilidade operacional dos armamentos.

3. Os Benefícios da Decapagem a Laser no PAMB-RJ

O PAMB-RJ desempenha um papel fundamental na Força Aérea Brasileira, sendo responsável pela manutenção, nível Parque, das armas de fogo da Instituição. Durante a manutenção destas, uma das etapas mais importantes é a decapagem, que consiste na remoção da pintura eletrostática antiga das armas, possibilitando a inspeção para identificar possíveis trincas ou danos.

O processo de decapagem no PAMB-RJ, atualmente, utiliza jateamento com esferas de vidro, onde microesferas impulsionadas por ar comprimido removem o revestimento por abrasão. Embora eficaz, essa técnica gera resíduos, como poeira e partículas de vidro contaminadas, exigindo EPIs para proteção dos profissionais e descarte adequado para reduzir impactos ambientais.

A implementação da decapagem a laser como uma solução sustentável e eficiente na manutenção de armamentos no PAMB-RJ representa um avanço significativo na modernização e no desenvolvimento sustentável. Ao adotar essa tecnologia, o PAMB-RJ se alinha com práticas inovadoras que minimizam os riscos à saúde dos operadores e reduzem o impacto ambiental, demonstrando um compromisso com a eficiência e a preservação de recursos.

A técnica de decapagem a laser também contribui para a preservação do ecossistema e para a saúde pública, promovendo uma gestão sustentável no contexto da manutenção de armamentos. Em vez de gerar resíduos sólidos e contaminantes atmosféricos como ocorre no processo de jateamento, a decapagem a laser oferece uma alternativa limpa e contemporânea. Isso é essencial em um cenário de crescente preocupação ambiental e de conformidade com políticas públicas voltadas para a sustentabilidade, como o Plano Diretor de Logística Sustentável (PLS).

Além disso, a precisão e o controle proporcionados pela tecnologia laser tornam este método extremamente otimizado. A redução do tempo de operação e o aumento da durabilidade dos componentes aumentam a eficiência da manutenção, garantindo que um maior número de armamentos esteja disponível em um período reduzido, o que é crucial para a prontidão operacional do PAMB-RJ. Além disso, a possibilidade de operar de forma automatizada permite a realocação de pessoal visando à otimização dos processos no Parque.

Em conclusão, a implementação da decapagem a laser, como uma solução sustentável e eficiente para a manutenção de armamentos, no PAMB-RJ se mostra como uma solução alinhada ao desenvolvimento sustentável, que vai ao encontro das demandas por eco inovação. Além de melhorar a eficiência dos processos de manutenção, esta tecnologia diminui os danos ambientais e protege a saúde dos trabalhadores envolvidos.

Assim, a adoção da decapagem a laser moderniza o processo de manutenção no PAMB-RJ e pode ser estendida a outras OM da FAB, como nos Parques de Material Aeronáutico, responsáveis pela decapagem de aeronaves. Essa inovação fortalece a infraestrutura logística do SISMA e reafirma o compromisso do PAMB-RJ com práticas sustentáveis, consolidando-o como um exemplo de inovação e responsabilidade ambiental na Força Aérea Brasileira.

REFERÊNCIAS

- CHEN, G. X. *et al.* High-power fibre laser cleaning for green shipbuilding. **Journal of Laser Micro/Nanoengineering**, v. 7, n. 3, 2012.
- DA SILVA, B. F. R. **Tecnologia Laser Para Limpeza de Superfícies na Indústria Naval**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro (Portugal).
- MARTINS, A. L. L. **Aplicação da Tecnologia Laser para a Limpeza de Superfícies Metálicas na Aeronáutica**. Disponível em: <https://oasisbr.ibict.br/>. Acesso em: 28 SET 2024.
- PHIPPS, C. (Ed.). **Laser ablation and its applications**. Springer, 2007.
- RIVAS, T. *et al.* Comparative study of ornamental granite cleaning using femtosecond and nanosecond pulsed lasers. **Applied surface science**, v. 278, p. 226-233, 2013.
- XIAO GUANG, L. *et al.* “Laser cleaning of steel structure surface for paint removal and repaint adhesion,” **Opto-Electronic Eng.**, vol. 44, no. 3, pp. 340–344, 2017.