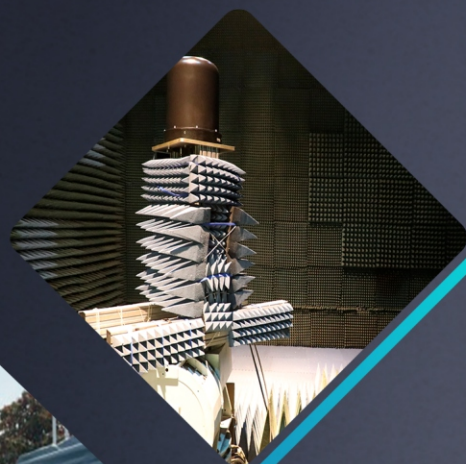


CTMRJ

CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO

7 ANOS

Há 7 anos construindo
a Marinha do amanhã
e do futuro



Editorial

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro

Alexandre de Vasconcelos Siciliano
Contra-Almirante (EN)

Vice-Diretor do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro

José Roberto Moura de Souza
Capitão de Mar e Guerra

Equipe Editorial

Fabiana Fontes da Silva
1ºTEN (RM2-T)
Assessora de Comunicação Social

1ºSG-PD Adriana Marques Barbosa Vencioneck
Supervisora de Comunicação Social

Arte Final e Produção Gráfica

1ºSG-PD Adriana Marques Barbosa Vencioneck

Fotografia

MN-RM2 Wesley da Silva Soares
Acervo IEAPM
Acervo IPqM
Acervo CASNAV

Colaboradores

CMG (EN) Marcio Martins Lobão
CF (EN) Ali Kamel Ismael Junior
CF Rodrigo da Silva Vieira
CC Victor Araújo
CC(IM) Tiago Queiroz Rebello
Gabinete do CTMRJ

Agradecimento aos entrevistados:

Alfredo Martins Muradas
Vice-Almirante (RM1)

SO-MR André Pereira da Silva



Tecnologia eletromagnética do LASER, RADAR e L

Canhão Laser de Alta Potência LaWS (Laser Weapon System - Sistemas de Armas à Laser)

Em face do vertiginoso desenvolvimento tecnológico experimentado pelo mundo desde o fim da Segunda Guerra Mundial, principalmente com o advento de tecnologias de energia eletromagnética direcional de potência, especialmente no caso do LASER (*"Light Amplification Stimulated Emission of Radiation"*) e do RADAR (*"Radio Detection and Ranging"*) e das Micro-ondas, o que se percebe é o desenvolvimento constante de inovações nessa área de forma a ampliar a utilização desse tipo de tecnologia não somente para uso em defesa e contramedidas, mas também para o ataque. Dessa forma, o objetivo deste artigo é fazer um resumo sobre os fundamentos dessas tecnologias e as últimas novidades em termos de equipamentos e utilização em guerra.

Tecnologias Laser, Radar e Micro-ondas de Potência - uso em Defesa

O Laser

Conforme explanado por Issmael Junior (2021a), nos anos 1950, a partir dos fundamentos estabelecidos por Einstein em 1917, Charles Hard

[...] um material fluorescente colocado numa cavidade ótica apropriada que, em geral, é composta por dois espelhos, um de frente para o outro. A luz fluorescente não é direcional, mas uma parte da luz emitida pelo material incide nos espelhos e volta passando pela fonte. Se os dois espelhos estão alinhados corretamente e o meio fluorescente é opticamente homogêneo, é possível haver um certo número de reflexões" (Young, 1998)

Townes e Arthur Leonard Schawlow desenvolveram os conceitos iniciais do que viria ser o laser, que significa "amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação", ou, no original na língua inglesa, *"Light Amplification Stimulated Emission of Radiation"*. O primeiro laser, de fato, foi construído em 1960 por Theodore H. Maiman no Hughes Research Laboratories, com base no trabalho teórico de Schawlow e Twones. Conforme explanado por Young (1998).

Young (1998) ainda nos explica que ao se amplificar a luz que atravessa a substância fluorescente, utilizando um processo chamado de emissão estimulada, essa emissão de luz consegue superar a absorção, mudando as características da emissão da forma difusa e não direcional para um feixe intenso e altamente direcionado, que acompanha a direção do eixo definido pelos dois espelhos e de forma coerente, apresentando, assim, o "efeito laser".

Desde o trabalho de Maiman nos anos 60, a tecnologia laser foi sendo aperfeiçoada, culminando com experiências de utilização do laser para levantamentos batimétricos, escaneamento e geração de imagens de superfícies, entre outras aplicações que deram origem, a partir da década de

As ondas de ondas nas faixas Micro-ondas

Por CF (EN) Ali Kamel Issmael Junior



das para os ataques desse tipo de plataforma. Conforme também explanado por Issmael Junior (2021b), que cita Albright ao descrever o estágio atual nas medidas anti-drones aéreos:

“A tecnologia dos drones não é a única coisa que avança rapidamente. Organizações civis e militares se esforçam no desenvolvimento de contramedidas para os drones. A Boeing, por exemplo, testou recentemente um canhão laser anti-drones que pode derrubar drones, foguetes, e obuses de 60mm dentre mais de 100 outros tipos de alvo. Como teste, foi usado um laser de 10kW, mas a Boeing planeja aumentar a potência para 50 ou 60kW quando for destinado ao uso militar. O mais curioso desse teste é que o operador do laser usava um controle de Xbox. A marinha americana testou um aparato similar no ano passado, que derrubou um drone militar durante uma simulação em tempo real. Esses lasers serão instalados em barcos e caminhões, tornando-os móveis o bastante para promover a defesa de uma vasta área de território. Mas e os outros tipos de tecnologia anti-drones? O fato é que os UAVs são plataformas que necessitam de GPS, rádio, e outras formas de sinal, o que os torna suscetível a outras formas de ataque. O Irã alega ter conseguido, há alguns anos atrás, “hackear” um drone americano e tê-lo feito pousar, enquanto os EUA afirmam que esse drone teve uma pane e caiu. De qualquer forma, fica claro que

1970, à tecnologia “LIDAR” (LIGHT, DETECTION AND RANGING). O LIDAR se trata de uma tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e/ou outras informações a respeito um determinado objeto distante. O método mais utilizado para determinar a distância a um objeto é a utilização de laser pulsado, onde a distância do objeto é

determinada medindo-se a diferença de tempo entre a emissão de um pulso laser e a detecção do sinal refletido, de forma semelhante à tecnologia do radar, que se utiliza ondas de rádio, podendo ser empregada em plataformas móveis ou fixas.

O uso do LIDAR ou em Veículos Terrestres e Aéreos

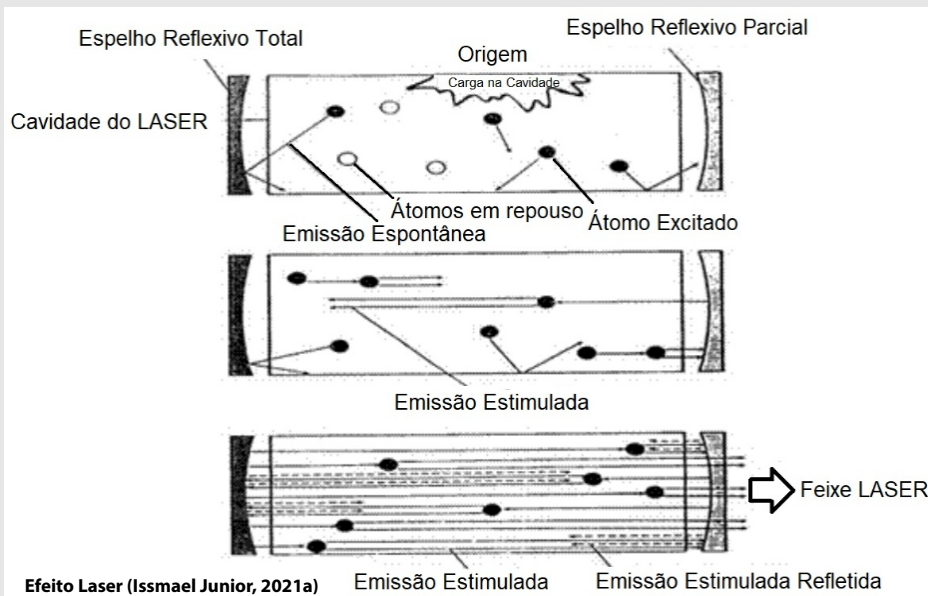
Não Tripulados já é bem difundido e utilizado para tanto em aplicações civis e militares para monitoramento de cidades, instalações industriais e áreas florestais. Face às limitações e vulnerabilidades dos drones, uma nova frente de equipamentos se abriu que são as contramedi

“hackear” um drone pode ser um problema a ser seriamente considerado. Uma empresa do Oregon, a Domestic Drone Countermeasures, DDC, vem desenvolvendo já há algum tempo um sistema de detecção eletrônica de drones, apesar da malfadada campanha Kickstarter. Enquanto o sistema atualmente só detecta drones em vôo baixo, como os usados por civis

e polícia, eles esperam que esse sistema possa vir a desativar a câmera e outros sensores desses drones” (Issmael Junior, 2021a).

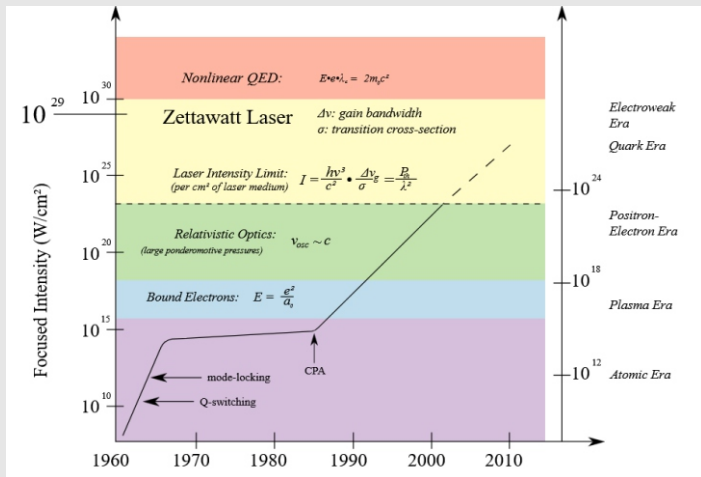
Em termos de inovações (Wikipedia, 2024), desde o início da história do laser, a pesquisa produziu uma variedade de tipos de laser aprimorados e

especializados, otimizados para diferentes objetivos de desempenho, incluindo novas faixas de comprimento de onda, potência média máxima de saída, energia máxima de pulso de pico, duração mínima do pulso de saída, largura de linha mínima, máxima eficiência energé-



tica e minimização de custos e estas pesquisas continuam até hoje. A seguir, é ilustrada a evolução do histórico da intensidade máxima do pulso de laser desde 1960 até 2015 (Wikipedia, 2024).

Podem-se citar alguns desenvolvimentos que podem ser destacados, nesta última década, na área de laser:



a) Em 2015, os pesquisadores criaram um laser branco, cuja luz é modulada por uma nanofolha sintética feita de zinco, cádmio, enxofre e selênio que pode emitir luz vermelha, verde e azul em proporções variadas, com cada comprimento de onda abrangendo 191 nm, conforme Keller (2015), Condliffe (2019) e Gershgorin (2019). De acordo com Cassidy et al. (2017) e Delft University of Technology (2017), pesquisadores da Delft University of Technology demonstraram um laser de micro-ondas de junção AC Josephson. Como o laser opera em regime supercondutor, ele é mais estável do que outros lasers baseados em semicondutores. O dispositivo tem potencial para aplicações em computação quântica;

b) Em 2017, pesquisadores da Universidade Técnica de Munique demonstraram o menor laser de bloqueio de modo capaz de emitir pares de pulsos de laser de picossegundos bloqueados por fase com uma frequência de repetição de até 200 GHz (Mayer et al., 2017); e

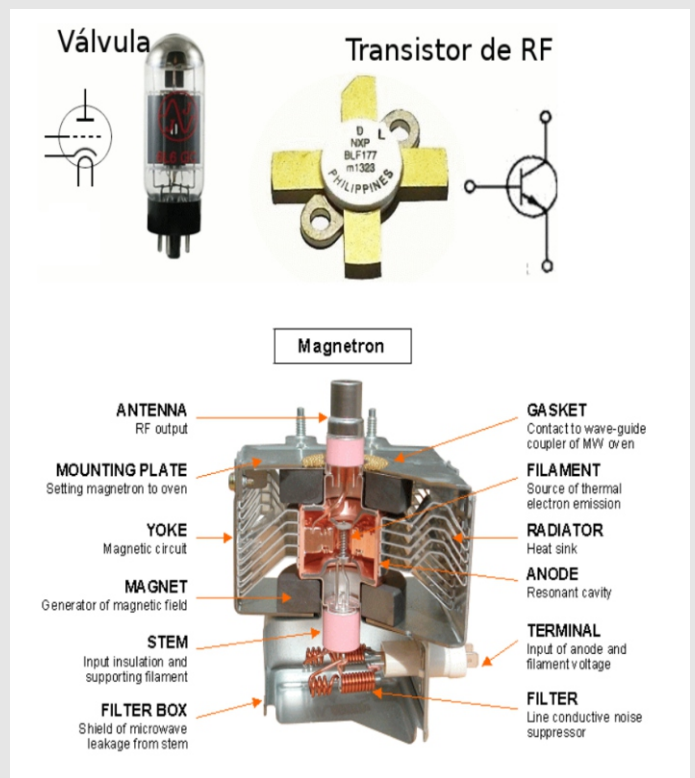
c) Também em 2017, pesquisadores do Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), juntamente com pesquisadores norte-americanos do JILA, um instituto conjunto do Institute of Standards and Technology (NIST) e da Universidade do Colorado Boulder, estabeleceram um novo recorde mundial ao desenvolver um Laser de fibra dopada com érbio com largura de linha de apenas 10 milihertz (Schow, 2017 e Matei et al., 2017).

Radio Frequência (RF) e Micro-ondas

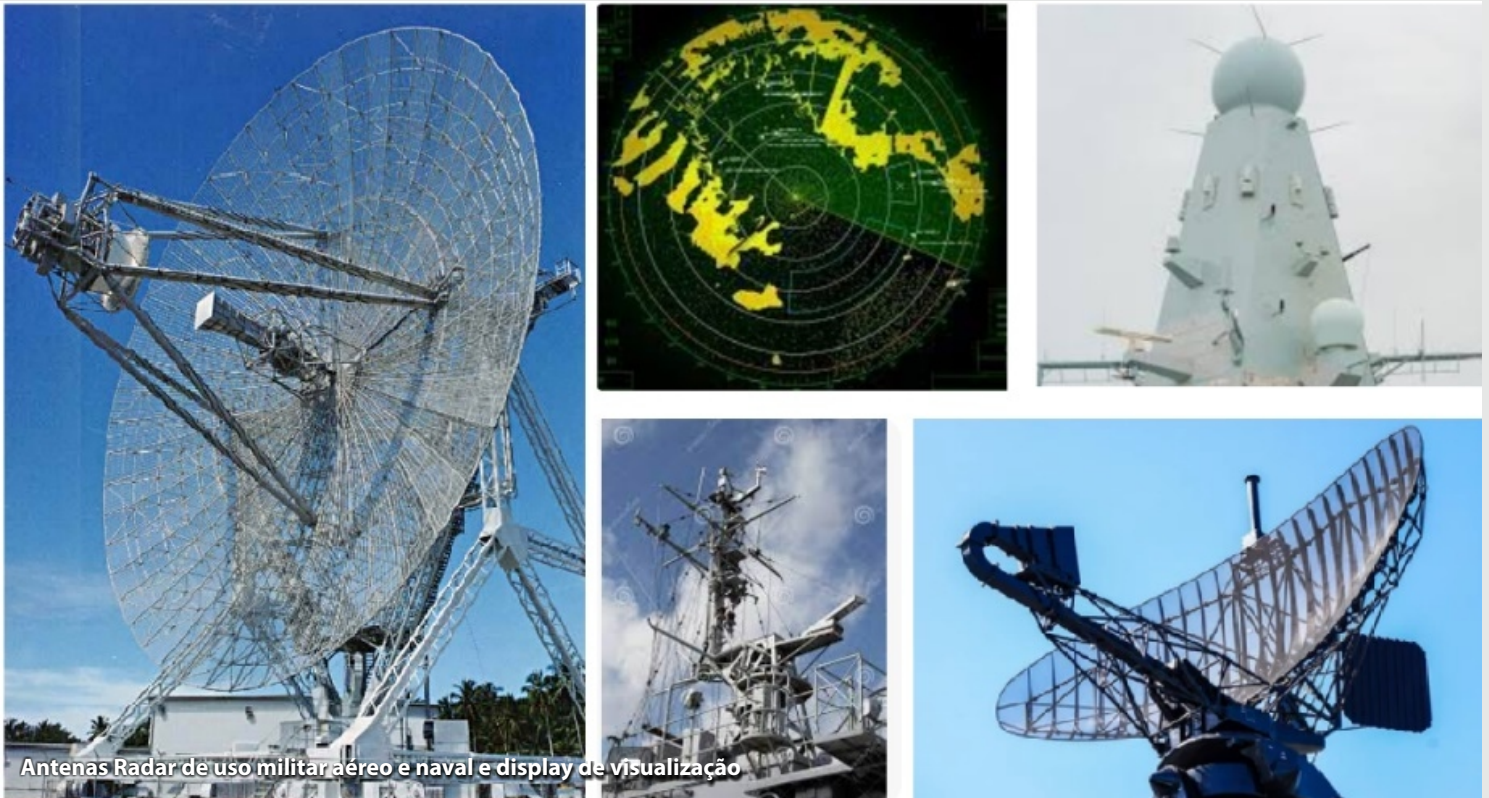
Conforme explanado por Wikipedia (2023a e 2023b), radio frequência (RF) é a faixa de frequência que abrange aproximadamente de 3 kHz a 300 GHz e que corresponde à frequência das ondas de rádio, geralmente se referindo a oscilações eletromagnéticas ao invés de mecânicas nessa faixa de frequência, embora existam sistemas mecânicos em RF.

Já as micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda maiores que os dos raios infravermelhos, mas menores que o comprimento de ondas de rádio variando o comprimento de onda, consoante os autores, de 1 m (0,3 GHz de frequência) até 1,0 mm (300 GHz de frequência).

Acima dos 300 GHz, a absorção da radiação eletromagnética pela atmosfera da Terra é tão grande que a atmosfera é praticamente opaca para as frequências mais altas, até que se torna novamente transparente na, assim chamada, "janela" do infravermelho até a luz visível. Para a geração de micro-ondas podem ser utilizados transistores de efeito de campo (FET: Field Effect Transistor), transistores bipolares, diodo Gunn e diodo IMPATT, entre outros. Dispositivos a válvula, ou válvulas termiônicas, por exemplo: magnetron, o klystron, o TWT e o gyrotron.



Dispositivos comerciais para geração de micro-ondas



Antenas Radar de uso militar aéreo e naval e display de visualização

A principal aplicação militar das ondas de rádio e de micro-ondas é o uso para detecção e acompanhamento de alvos pelo RADAR. Esses tipos de ondas eletromagnéticas são emitidas por uma antena transmissora/receptora de forma direcional e refletidas por objetos distantes. De maneira mais simples, a detecção das ondas refletidas e o cálculo do tempo entre transmissão e recepção permitem determinar a localização do objeto.

Em radares mais sofisticados, outras propriedades das ondas eletromagnéticas são aproveitadas de forma a se melhorar a precisão de informações inerentes, ou a fim de se obterem demais informações concernentes aos alvos, a exemplo, suas velocidades, etc.

Desenvolvimentos e iniciativas recentes

Conforme explanado por Padilha (2023), pesquisadores de armas eletromagnéticas da Marinha dos EUA (US Navy), em face das possíveis aplicações militares dessas tecnologias, estão consultando a indústria para encontrar empresas capazes de apoiar esforços de pesquisa em armas de RF (Rádio Frequência), micro-ondas de alta potência e lasers de alta potência para proteger navios de guerra de superfície contra mísseis de cruzeiro antinavio, barcos em enxame e aeronaves não tripuladas.

Os esforços empreendidos envolvem melhorar as contramedidas de RF, ondas milimétricas e infravermelho para defesa contra mísseis inimigos, explosivos improvisados, aeronaves não tripuladas e

ataques de enxames de pequenas embarcações para defesa de navios, sendo desenvolvidas tecnologias de micro-ondas de alta potência que exigem design, desenvolvimento, prototipagem rápida e produção limitada adicionais e suporte para análise e *design* de sistema, desenvolvimento de protótipo, teste de sistema, coleta de dados e simulação computacional (Padilha, 2023). Nos Estados Unidos, o *Naval Research Laboratory* (NRL) é o responsável pela pesquisa em sistemas de guerra eletromagnética, como energia dirigida e sistemas de contramedidas eletrônicas para melhores contramedidas de defesa de navios que usam RF de alta potência, lasers de alta potência e sistemas de descarga eletrostática para parar embarcações inimigas e cegar seus sensores.

O site Poder Aéreo (2023) também apresenta os estudos que a Força Aérea Americana vem depreendendo para avaliar se substituirá os canhões convencionais de 105 mm de suas aeronaves AC-130J por canhões a laser ou mísseis de cruzeiro, onde essas modificações representariam uma grande mudança na forma como este avião de combate apoiaria as forças de operações especiais e os militares em grande escala numa guerra sofisticada contra adversários com tecnologias avançadas, com o objetivo de aumentar a letalidade, versatilidade e adaptabilidade do AC-130J em uma ampla gama de cenários operacionais. Este artigo explanou, de forma não exaustiva, as tecnologias de ondas eletromagnéticas nas faixas do LASER, RADAR e micro-ondas, além de suas múltiplas e complexas possibilidades de aplicação militar, bem como os desenvolvimentos e iniciativas mais recentes.

No tocante às perspectivas para o Brasil, do ponto de vista do autor, é vital o desenvolvimento autóctone e o incentivo à Tríplice Hélice nestas áreas, de forma a contribuir para uma maior grau de independência do país em relação ao mercado externo, de forma a melhor mitigar ameaças externas.

Referências

BRASIL ESCOLA. Ondas eletromagnéticas. Site Brasil Escola. Disponível no site:

</<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-que-sao-ondas-eletromagneticas.htm/>>

Acesso em 12 nov. 2023.

CASSIDY, M. C. et al. Demonstration of an ac Josephson junction laser. *Science*. 355 (6328): 939–942. doi:10.1126/science.aah6640. 2. mar. 2017.

CONDLIFFE, Jamie. Scientists Finally Created a White Laser—and It Could Light Your Home". *gizmodo.com*. July 30, 2015. Archived from the original on December 16, 2019. Retrieved December 16, 2019. <https://gizmodo.com/scientists-finally-created-a-white-laser-and-it-could-l-1721027962>

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Researchers demonstrate new type of laser". *Phys.org*. 3. mar. 2017. Disponível no site: </<https://phys.org/news/2017-03-laser.html/>>. Acesso em 10. abr. 2024.

GERSHGORN, Dave. For The First Time, A Laser That Shines Pure White. *Popular Science*. March 18, 2019. Archived from the original on December 16, 2019. Retrieved December 16, 2019. Disponível no site: </<https://www.popsci.com/scientists-have-finally-made-white-laser/>>. Acesso em 10. abr. 2024.

ISSMAEL JUNIOR, A.K. Estudo, Modelamento e Simulação das Principais Figuras de Mérito de Fotodetectores Infravermelhos a Poços Quânticos. Trabalho Individual para conclusão do Curso de Especialização em Análise Eletromagnética (CEAAE). Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 2007. Disponível no site: </<https://www.akij.com.br/publicacoes/>>. Acesso em 12 nov. 2023.

ISSMAEL JUNIOR, A.K., Limitações e vulnerabilidades em Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados (SARP). *Revista "A Macega"* - Ano XV - Edição N°63. 2021a. Aniversário 105 anos da Aviação Naval. São Pedro da Aldeia/RJ.

ISSMAEL JUNIOR, A.K. Tecnologia LIDAR: evoluções para a guerra anti-submarino. *Revista "O Periscópio"* - Ano LXXII. - nº 72. 2021b. Niterói/RJ, ISSN 1806-5643.

Referências

KELLER, Sharon. For The First Time, A Laser That Shines Pure White. *Popular Science*. March 18, 2019. Archived from the original on December 16, 2019. Retrieved December 16, 2019. Disponível no site: </<https://phys.org/news/2015-07-world-white-lasers.html/>>. Acesso em 10. abr. 2024.

MATEI, D.G et al. 1.5 μm Lasers with Sub-10 mHz Linewidth. *Phys. Rev. Lett.* 118 (26): 263202. doi:10.1103/PhysRevLett.118.263202. 30. jun. 2017.

MAYER, B. et al. Long-term mutual phase locking of picosecond pulse pairs generated by a semiconductor nanowire laser. *Nature Communications*. 8: 15521. doi:10.1038/ncomms15521. 23. mai. 2017.

PADILHA, L. US Navy busca armas eletromagnéticas e lasers de alta potência para defesa de seus navios. *Site Defesa Aérea e Naval*. 15. out. 2023. Disponível no site: </<https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/us-navy-busca-armas-eletromagneticas-e-lasers-de-alta-potencia-para-defesa-de-seus-navios/>>. Acesso em 12. nov. 2023.

PODER AÉREO. Arma a laser ou mísseis de cruzeiro. O que a USAF vai colocar no lugar do canhão de 105mm do AC-130?. *Site Poder Aéreo*. 09 nov. 2023. Disponível no site: </<https://www.aereo.jor.br/2023/11/09/arma-a-laser-ou-misseis-de-cruzeiro-o-que-a-usaf-vai-colocar-no-lugar-do-canhao-de-105mm-do-ac-130/>>. Acesso em 12. nov. 2023.

SCHOW, Erika. The Physikalisch-Technische Bundesanstalt has developed a laser with a linewidth of only 10 mHz.. 29. jun. 2017. Disponível no site: </<https://web.archive.org/web/20170703235028/http://www.ptb.de/cms/en/presseaktuelles/journalisten/news-press-releases/press-release.html/>>. Acesso em 10. abr. 2024.

WIKIPEDIA. Radiofrequência. Site Wikipedia. Disponível no site: </<https://pt.wikipedia.org/wiki/Radiofrequência/>>. Acesso em 12. nov. 2023a.

WIKIPEDIA. Micro-ondas. Site Wikipedia. Disponível no site: </<https://pt.wikipedia.org/wiki/Micro-ondas/>>. Acesso em 12. nov. 2023b.

WIKIPEDIA. Laser. Site Wikipedia. Disponível no site: </<https://en.wikipedia.org/wiki/Laser/>>. Acesso em 10. abr. 2024

YOUNG, Matt. *Óptica e lasers*. Traduzido por Yara Tavares. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1998.