



UNIVERSIDADE FEDERAL  
DE ALAGOAS

**Universidade Federal de Alagoas – UFAL**  
**Instituto de Física – IF**  
**Bacharelado em Física**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Tereza de Araújo**

# **O LASER**

**DE SEUS FUNDAMENTOS TEÓRICOS,  
SEU HISTÓRICO E SUAS APLICAÇÕES**

**Rafael Silva de Amorim**

**Maceió**  
**20 de março de 2026**

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Fundamentos teóricos</b>	<b>4</b>
2.1	Níveis de energia . . . . .	4
2.2	Emissão estimulada . . . . .	4
2.3	O laser . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Histórico</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Aplicações</b>	<b>7</b>
4.1	Científicas . . . . .	7
4.2	Médicas . . . . .	8
4.3	Comerciais e industriais . . . . .	8
4.4	Bélicas . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>9</b>
	<b>Referências</b>	<b>10</b>

# 1 Introdução

O laser é uma das aplicações mais bem sucedidas da física quântica. Desde sua concepção na década de 1960, feixes laser foram utilizados nas mais variadas áreas científicas, industriais, comerciais e até militares, impactando-as de forma irreversível.

Tendo em vista tamanha importância, este trabalho se propõe a abordar de forma introdutória e abrangente o laser e sua relevância para a ciência moderna. O texto está organizado em três capítulos.

A primeira seção expõe os fundamentos teóricos que possibilitam a existência da luz laser, além do funcionamento de um laser típico. Por sua vez, a segunda seção discorre sobre um breve histórico da tecnologia laser e, por fim, a última seção concentra descrições de aplicações em diversas áreas.

## 2 Fundamentos teóricos

Nesta seção, iremos explorar o funcionamento de um sistema laser e seus fundamentos físicos. A concepção do laser está apoiada na mecânica quântica, especialmente nos chamados **níveis de energia** e no fenômeno da emissão estimulada de luz pelos átomos.

### 2.1 Níveis de energia

Todos os átomos possuem duas regiões, chamadas **núcleo** e **eletrosfera**. Enquanto a primeira é composta pelos prótons, de carga positiva, e pelos nêutrons, de carga neutra, a eletrosfera é formada por elétrons, partículas de carga negativa. Estes elétrons podem tanto estar estáveis, sob uma condição de menor energia chamada **estado fundamental**, como também com maiores energias, chamados **estados excitados**. A absorção de energia, geralmente em forma de luz, provoca a excitação de um elétron e a sua saída do estado fundamental.[1]

Elétrons excitados logo liberam sua energia comumente em forma de luz ou calor, retornando ao estado fundamental, com o tempo necessário para este retorno sendo denominado **tempo de vida** do estado excitado. Estados excitados com tempos de vida consideravelmente maiores em relação a seus pares recebem a nomenclatura de **meta-estáveis**. Estes estados possuem como característica fundamental uma baixa probabilidade de transição em relação a seus pares, com sua existência e número próprias de cada material.[1]

### 2.2 Emissão estimulada

A **emissão estimulada** é um fenômeno teoricamente previsto por Einstein e confirmado experimentalmente por Ladenburg, relacionado a liberação de energia por meio de fótons, quando os elétrons retornam ao estado fundamental.[1]

Este fenômeno ocorre quando um fóton de energia compatível interage com um elétron excitado, estimulando o decaimento deste elétron para o estado fundamental por meio da emissão de um fóton de características idênticas ao fóton interagente — frequência, fase, polarização e direção de propagação.[1]

Embora possa ocorrer de forma conjunta com outros fenômenos de caráter luminescente, a emissão estimulada é potencializada pela **inversão de população**, a predominância de número de elétrons excitados em relação a elétrons em estado fundamental. Essa inversão pode ser provocada por meio da constante excitação do material (nos lasers chamado de **meio ativo**) das mais variadas maneiras, como corrente elétrica (aplicação de diferença de potencial) ou iluminação intensa (como lâmpadas de flash). Este processo de excitação recebe o nome de **bombeamento**. [1]

## 2.3 O laser

A partir destes fenômenos, é possível a construção de um aparato óptico para a produção desta luz especial. A luz laser é altamente coerente e direcional, características fundamentais decorrentes da produção de fótons idênticos em suas propriedades (frequência, fase, ...). Essa relação de fase bem definida entre os fótons distingue o laser das chamadas **luzes convencionais**, como a solar ou de lâmpadas incandescentes.[1]

De forma geral, os aparelhos de produção de luz laser possuem uma **cavidade óptica**, um espaço fechado com espelhos. Em uma extremidade, situa-se um espelho completamente reflexivo, com outro espelho semitransparente posicionado na outra extremidade.[1]

Estes espelhos são essenciais para o funcionamento do aparato, pois refletem os fótons emitidos pelo meio ativo para que estes continuem a estimular o material a liberar mais fótons. O espelho semitransparente permite a saída parcial da luz para o exterior, possibilitando a utilização do **feixe laser**. [1]

É interessante ainda mencionar que o laser só é de fato produzido quando o chamado **ganho óptico** do sistema supera as perdas da cavidade, ou seja, o meio ativo produz mais fótons por emissão estimulada do que perde por absorção, espalhamento ou perdas nos espelhos, por exemplo. A inversão de população é justamente a condição que potencializa este ganho, pois a probabilidade de absorção torna-se menor que a probabilidade de emissão. Quando este ganho positivo é alcançado, diz-se que o sistema passou pela **condição limiar do laser**. [2]

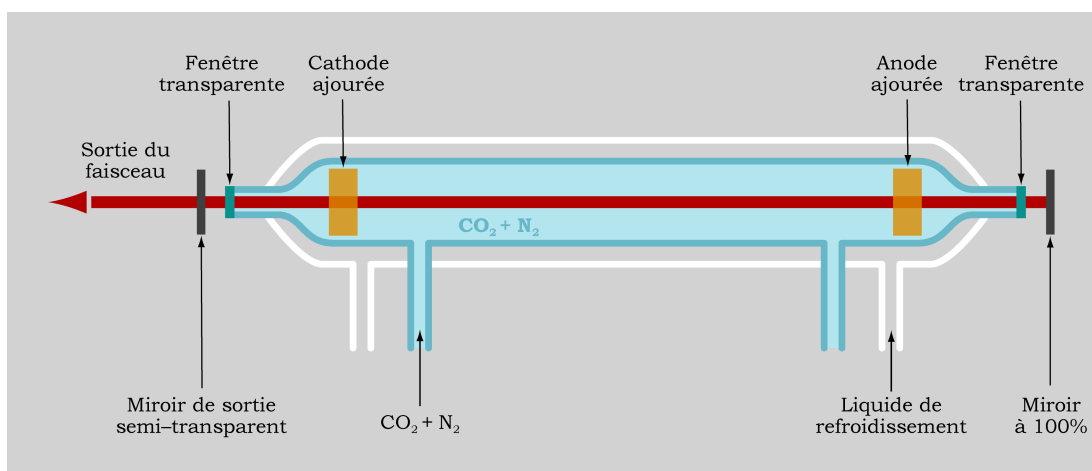


Figura 1: Diagrama de um laser de CO<sub>2</sub>. R. Brierre, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons.

### 3 Histórico

O laser traça suas origens ao início do século XX, em 1916, com uma sugestão do físico alemão Albert Einstein sobre o comportamento de átomos excitados. Einstein sugeriu que estes átomos excitados poderiam dissipar sua energia em forma de luz.[1]

Doze anos mais tarde, o fenômeno idealizado foi observado pela primeira vez por outro alemão, o físico Rudolf Walther Ladenburg, sendo nomeado "emissão estimulada". Nenhuma utilidade prática foi idealizada para tal fenômeno, permanecendo como uma curiosidade científica por mais alguns anos, até meados do século.[1]

Em 1951, Charles H. Townes, americano, acadêmico da Universidade de Columbia no estado de Nova Iorque, idealiza o maser (acrônimo para *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* — Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação), provocando uma explosão de pesquisas sobre o fenômeno.[1]

Enquanto isso, Townes divide algumas de suas ideias com um graduando da universidade de Columbia, Gordon Gould, e com seu cunhado e ex-orientando Arthur Schwalow. Townes e Schwalow propõem a criação de um "maser óptico", isto é, um maser que produz feixes com energias no campo da luz visível, num artigo de 1958 na *Physical Review*. [3] Gould cunha o termo "laser" e torna-se milionário ao longo dos anos por suas patentes, embora travasse diversas disputas judiciais com Townes sobre o título de "inventor" do laser.[1]

Alguns anos depois, o prêmio Nobel de 1964 é dividido entre Townes e os soviéticos Aleksandr Prokhorov e Nikolay Basov por suas contribuições sobre o maser. A Townes pelo seu invento, e a Prokhorov e Basov por sua exploração e aprofundamento teóricos.[1]

A proposta de Townes e Schwalow para a criação de um laser é adotada por diversos grupos de pesquisa ao redor do globo, enquanto a proposta realizada por Gould é alvo de um contrato militar confidencial. A visão dos primeiros, com algumas modificações, se concretizou nos trabalhos de Theodore Maiman enquanto este trabalhava para a Hugh Research Laboratories em Malibu, Califórnia. Maiman construiu um laser que se utilizava de uma mistura de átomos de cromo e rubi, conseguindo produzir um feixe vermelho pulsado com aproximadamente dois centímetros de diâmetro em 16 de maio de 1960.[1]

A vitória de Maiman impulsionou a criação do primeiro laser a gás, o laser de Hélio-Neônio, em dezembro daquele mesmo ano pelos físicos Ali Javan, William Bennett Jr. e Donald Herriott. Este laser foi o primeiro a render uma aplicação comercial, por meio da projeção de linhas retas para fins de alinhamento na construção civil e na irrigação de terras agrícolas.[1]

Cerca de dois anos depois, Robert N. Hall, que também colaborou durante a Segunda Guerra Mundial para a construção de magnetrons que se popularizaram depois em fornos de microondas, enquanto trabalhava para a General Electric, produziu em conjunto com seus colegas o primeiro laser que se utilizava de materiais semicondutores.[1]

Por fim, após os seus primeiros anos como aparelho puramente experimental, a história do laser confunde-se com a história de suas aplicações conforme a necessidade da indústria. Essas aplicações foram enumeradas e percorridas com mais detalhes na próxima seção.

## 4 Aplicações

Desde sua concepção, numerosas aplicações para os lasers foram concebidas, desde de aplicações científicas na ciência dos materiais e geofísica, até bélicas por meio de guias de mísseis ou visores de armas.

### 4.1 Científicas

Como aparato originalmente científico, o laser possui diversas aplicações no estudo de fenômenos ópticos. Dentre os mais notáveis, podemos citar a espectroscopia Raman, o LiDAR e os interferômetros.

A espectroscopia Raman é uma técnica de análise da estrutura de compostos químicos que se apoia num fenômeno físico conhecido por espalhamento Raman. O espalhamento Raman, teorizado inicialmente pelo físico austríaco Adolf Smekal e confirmado experimentalmente pelos físicos indianos Chandrasekhara Venkata Raman e Kariamanikkam Srinivasa Krishnan em 1928.[4]

Este espalhamento da luz incidente na matéria contrasta-se com o espalhamento mais conhecido, o Rayleigh, por ser inelástico (não há conservação de energia), ao contrário do causador das cores do céu, que possui natureza elástica.[4]

A depender da estrutura da molécula, a luz desviada pode possuir um comprimento de onda maior ou menor do que o incidente, permitindo a caracterização de "impressões digitais" de materiais. Essa espectroscopia é utilizada em larga escala pelo mundo em laboratórios de ciência de materiais, como o Grupo de Óptica e Nanoscopia, na Universidade Federal de Alagoas.[5]

O LiDAR (do inglês *Light Detection And Ranging*[6] ou, alternativamente, *Laser Imaging, Detection and Ranging*[7]), por sua vez, é um sistema cujo funcionamento é idêntico ao radar, porém com a utilização de feixes laser ao invés de ondas de rádio para determinar as distâncias em relação aos objetos. Os sistemas LiDAR possuem a capacidade de operar tanto em orientações fixas ou móveis, combinando técnicas de mapeamento 3D para a formação de mapas de altitude, por exemplo.[8][9]

Interferômetros são instrumentos que utilizam a interferência de feixes de luz para extrair a informação de algo desejado. Desde pelo menos o século XIX, com o famoso experimento de Michaelson-Morley, físicos de diversas especialidades utilizam-se desses aparelhos para experimentos e medições. Recentemente, é possível destacar o Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (do inglês *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* — LIGO) nos Estados Unidos que observou pela primeira vez ondas gravitacionais, previstas teoricamente por Einstein no começo do século XX.[10][11]

## 4.2 Médicas

Pela alta precisão dos feixes de laser, diversas aplicações médicas foram desenvolvidas ao longo dos anos. De fato, a primeira aplicação na área surgiu apenas um ano depois da invenção do aparelho por Maiman: um tumor retinal foi destruído por um único pulso de um laser de rubi pelo médico estadunidense Charles J. Campbell.[12] Dois anos depois, em 1963, o médico Leon Goldman tratou células da pele hiperpigmentadas por meio de feixes de laser de rubi.[13]

Na década de sessenta, o uso de lasers de argônio foi consolidado na medicina, em especial para cirurgias de descolamento de retina, embora tenha sido praticamente substituído pelo laser de dióxido de carbono (em razão de seu forte poder de cauterização), que ganhou aplicações também na indústria.[14][1]

Desde então, aplicações gastroenterológicas, urológicas, estéticas e pneumológicas foram desenvolvidas, auxiliando no tratamento de hemorragias por cauterização precisa (pioneira por Peter Kiefhaber) e no tratamento preciso de tumores, auxiliado pelo desenvolvimento dos lasers de corantes.[15]

## 4.3 Comerciais e industriais

Possivelmente a maior área de aplicação desde a concepção do laser, suas aplicações comerciais e industriais são inúmeras. Dentre elas, podemos citar sistemas de segurança, luzes de entretenimento (como as vistas em *shows*) e máquinas de cortes. No campo da música, a harpa a laser foi popularizada pelo artista francês Jean-Michel Jarre.[1][16]

De fato, a primeira aplicação comercial-industrial do laser surgiu com os lasers de Hélio-Neônio e sua luz monocromática vermelha, por meio da invenção dos *scanners* de códigos de barra e dos equipamentos de alinhamento a laser, utilizados na construção civil. Essas aplicações foram efetuadas ainda em meados dos anos 1970, tornando-se universais nos dias atuais.[1][17]

Uma outra aplicação que se popularizou rapidamente foi a invenção dos discos ópticos (CDs e DVDs) e seu aprimoramento por meio da tecnologia *BluRay*, que permitiu o armazenamento de grandes volumes de dados, em formato digital, em pequenos discos. A mesma tecnologia é utilizada em impressoras a laser para impressões rápidas, sem a necessidade de "secar o papel", que nem pode ocorrer em impressoras de tecnologia de jato de tinta (*InkJet*).[1][18]

## 4.4 Bélicas

No campo militar, lasers de baixa, média e alta potência encontraram variadas aplicações, desde auxílio óptico para atiradores até guias de mísseis de médio alcance. No campo da baixa potência, isto é, para lasers de potência menor que 1 kW, sua principal utilização está, além do já mencionado auxílio para *snipers*, em equipamentos conhecidos como *dazzlers*, que possuem o objetivo de provocar incômodo na visão dos soldados inimigos. Como outra aplicação, é importante citar a provocação de interferência em sistemas de comunicação.[19]

Em potências intermediárias, a destruição de equipamentos ópticos ou optoeletrônicos é considerada como aplicação. Finalmente, lasers de altas energias são reservados para sistemas de defesa antiaérea, com linhas de pesquisa considerando inclusive armas espaciais. Entre as potências com maior interesse nesta tecnologia, destacam-se os Estados Unidos, a Rússia, a China, a Índia e a Alemanha.[19]

## 5 Conclusão

O trabalho buscou apresentar de forma simples e abrangente os fundamentos teóricos, história e aplicações da tecnologia laser em suas mais variadas formas. A primeira seção abordou conceitos como níveis de energia, emissão estimulada, coerência, meio ativo, bombeamento e ganho óptico, enquanto a seção seguinte concentrou-se em contextualizar esses avanços técnicos na história.

Por fim, o trabalho finalizou com uma descrição das diferentes aplicações da tecnologia laser em diversas áreas, sejam elas científicas ou bélicas. É possível notar a flexibilidade do laser e seu impacto revolucionário no avanço tecnológico da humanidade. Mesmo após quase 70 anos de sua criação, diversas aplicações continuam a ser criadas todos os anos, nos mais variados campos de conhecimento técnico-científico.

## Referências

- [1] Encyclopaedia Britannica. Laser. <https://www.britannica.com/technology/laser>, 2025. Acesso em 9 de março de 2026.
- [2] R. Paschotta. Laser threshold. RP Photonics Encyclopedia, 2005. Disponível em [https://www.rp-photonics.com/laser\\_threshold.html](https://www.rp-photonics.com/laser_threshold.html). Acesso em 16 de março de 2026.
- [3] C. H. Schawlow, A. L. e Townes. Infrared and optical masers. *Phys. Rev.*, 112:1940–1949, Dec 1958.
- [4] Daniel Wolverson. *Characterization of Semiconductors Heterostructures and Nanostructures*. Elsevier, 2008.
- [5] Q. S. Ribas, A.; Lima e R. C. Martins. Dft method in ala, dha and epa molecules in raman vibrational analysis of ostrich oil from the amazon. *Scientia Amazonia*, 11(2), 2022.
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration. What is lidar. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>, 2021. Acesso em 13 de março de 2026.
- [7] Travis S. Taylor. *Introduction to Laser Science and Engineering*. CRC Press, 2019.
- [8] Jie Shan and Charles K. Toth. *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing, Second Edition*. CRC Press, 2018.
- [9] Arthur P. Cracknell and Ladson Hayles. *Introduction to Remote Sensing*. Taylor and Francis, 2nd edition, 2007.
- [10] Laser Interferometers Gravitational-Wave Observatory — LIGO. What is an interferometer? <https://www.ligo.caltech.edu/page/what-is-interferometer>. Acesso em 13 de março de 2026.
- [11] National Institute for Nuclear Physics — INFN. 10 years of gravitational waves. <https://www.infn.it/en/10-years-of-gravitational-waves/>, 2025. Acesso em 13 de março de 2026.
- [12] HealthMatters — New York-Presbyterian. It happened here: The ruby laser. <https://healthmatters.nyp.org/ruby-laser/>, 2017. Acesso em 13 de março de 2026.
- [13] Karen Appold. The history of aesthetic lasers. *Dermatology Times*, 40(4), 2019.
- [14] National Inventors Hall of Fame. C. kumar n. patel. <https://www.invent.org/inductees/c-kumar-n-patel>. Acesso em 13 de março de 2026.
- [15] Serge Mordon. Différents effets des lasers médicaux. *Techniques de L'ingénieur*, 2013.
- [16] Jean Michel Jarre. Laser harp controller. <https://www.jeanmicheljarre.eu/instruments/laser-harp-controller/>. Acesso em 13 de março de 2026.
- [17] National Inventors Hall of Fame. Bernard silver. <https://www.invent.org/inductees/bernard-silver>. Acesso em 13 de março de 2026.
- [18] Lenovo. What are the differences between inkjet and laser printers? <https://www.lenovo.com/us/en/glossary/difference-between-inkjet-and-laser-printer>. Acesso em 13 de março de 2026.

[19] Lyubomir Lazov, Edmunds Teirumnieks, and Risham Ghalot. Applications of laser technology in the army. *Journal of Defense Management*, 11:1–8, 05 2021.