

# O magnífico *las*

## Aplicações modernas de uma solução em busca de problemas



*É bem provável que, nos meses que separam a finalização deste artigo pelo autor até este exato momento – em que ele é lido por você, leitor –,*

*dezenas ou mesmo centenas de novas aplicações para o laser já tenham sido idealizadas e desenvolvidas.*

*Daí se dizer que esse magnífico instrumento é “uma solução em busca de problemas”.*

*Da própria física à medicina, da indústria ao comércio, da computação ao entretenimento, não há hoje atividade humana em que essa invenção não tenha uma aplicação. Currículo invejável para algo com pouco menos de meio século de vida.*

*Embora suas aplicações sejam importantes, o estudo do laser em si está longe de ser concluído.*

*Entender esse fenômeno é papel de uma das mais ativas áreas da investigação científica deste início de século.*

**Vanderlei Salvador Bagnato**  
 Instituto de Física de São Carlos,  
 Universidade de São Paulo

er

O princípio básico de funcionamento do *laser* está baseado nas leis fundamentais da interação da radiação luminosa com a matéria. Mais especificamente, a luz *laser* é resultado de um fenômeno denominado emissão estimulada. E daí vem seu nome: *laser*, em inglês, significa luz amplificada pela emissão estimulada de radiação.

A emissão estimulada consiste no seguinte: vamos imaginar um átomo de determinado material e supor um elétron desse átomo que esteja em um estado excitado, ou seja, com ‘excesso’ de energia.

Esse elétron excitado apresenta uma forte tendência de voltar para o seu estado ‘natural’, isto é, para um nível de energia mais baixa. Ao fazer isso, ele devolve ao meio essa energia na forma de um pacote de luz (fóton). Porém, sozinho esse retorno é extremamente demorado – pelo menos, nas escalas de tempo dos processos atômicos. Mas ele pode ser antecipado com a ajuda de um agente externo: outro fóton. Portanto, a emissão estimulada resulta em dois fótons: um emitido pelo átomo excitado ao voltar ao seu estado de energia mais baixo, e o próprio fóton que ‘acelerou’ (ou estimulou) esse processo. Os dois são idênticos.

Na produção da luz *laser*, basicamente, um meio ativo – ou seja, uma amostra sólida, líquida ou gasosa –, contendo energia na forma de inúmeros átomos excitados, é colocado no interior de uma cavidade óptica – para nossos propósitos aqui, podemos imaginar essa cavidade como um recipiente com as paredes internas espelhadas.

A luz do *laser*, portanto, provém justamente da emissão de fótons que ocorre quando, em um processo estimulado pela própria luz, elétrons retornam de seus estados excitados para níveis mais baixos de energia, acumulando na cavidade porções de luz fisicamente idênticas.

## Formação do feixe

Imagine um fóton que deu início ao processo de emissão estimulada, gerando dois fótons idênticos. Estes, por sua vez, podem estimular outros dois, que agora se somam a eles, formando quatro fótons idênticos e assim sucessivamente, até termos uma enorme quantidade de luz idêntica emergindo do sistema.

Imagine, agora, o que ocorrerá se os fótons que emergem desse sistema forem novamente jogados sobre ele com a ajuda de espelhos que são colocados em cada extremidade do meio ativo. A amplificação da luz ocorrerá de forma multiplicativa, gerando uma razoável quantidade de luz com as mesmas características de direção de propagação e frequência, entre outras.

Após vários passos, os fótons que se movimentam na direção determinada pelo eixo principal da cavidade óptica – composta por espelhos ao redor, bem como nas extremidades do meio ativo – formarão um feixe que apresenta uma intensidade considerável.

Uma abertura – ou mesmo um dos espelhos na extremidade da cavidade óptica que deixa passar parte da luz (reflexão parcial) – permite que uma fração dessa luz escape continuamente do sistema. Essa fração é o feixe de luz *laser*. A figura 1 resume o princípio de funcionamento do *laser*.

FOTO GETTY IMAGES

Figura 1. Esquema simplificado das partes que constituem um *laser*. O bombeamento fornece energia ao meio ativo. Com isso, há acúmulo de energia na cavidade. Nesta, um espelho semitransparente permite um pequeno vazamento da luz produzida, que constitui o feixe de luz *laser*



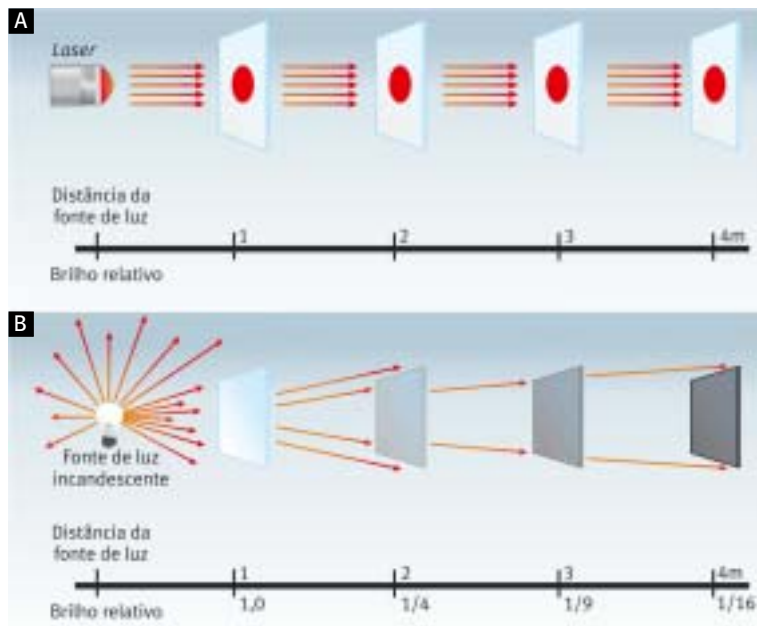
## Quatro características

As diversas possibilidades de meios ativos é que geram os vários tipos de aparelhos *laser* disponíveis. Normalmente, cada meio ativo acaba possibilitando a ação *laser* em um certo comprimento de onda específico – lembre-se de que o comprimento de onda é associado com a cor da luz emergente do *laser*.

As principais características desse feixe emergente são:

i) a luz *laser* é monocromática – ou seja, tem uma só cor (ou comprimento de onda) –, enquanto uma fonte de luz incandescente é formada por vários comprimentos de ondas. Esse caráter mo-

Figura 2. Em A, o brilho relativo da luz *laser* praticamente não diminui com a distância à fonte. Em B, diminuição do brilho relativo de uma fonte incandescente



nocromático da luz *laser* vem do fato de a energia carregada pelo fóton estimulante e pelo fóton emitido serem as mesmas;

ii) a potência do feixe *laser* pode ser muito grande, ao contrário das fontes de luz convencionais. Pode atingir trilhões de watts – ou, na nomenclatura científica,  $10^{12}$  watts – nos chamados *lasers* pulsados, em que a energia acumulada por um longo tempo é emitida toda em um intervalo de tempo muito curto, da ordem de trilionésimos de segundo ( $10^{-12}$  s) ou menor;

iii) o feixe resultante é colimado, ou seja, propaga-se na mesma direção, havendo um mínimo de divergência. Essa característica é extremamente importante para uma série de aplicações. A figura 2A mostra a pouca divergência da luz *laser*. Em contraste, na figura 2B, mostramos a divergência de uma fonte de luz comum. Nesta, a intensidade de energia carregada pela luz decresce com o quadrado da distância entre a fonte e o observador;

iv) a luz *laser* é dita coerente. Isso ocorre porque as diferentes porções sucessivas de uma mesma onda luminosa oscilam para cima e para baixo de forma sincronizada. Quando essas oscilações não ocorrem de forma sincronizada, dizemos que a fonte não é coerente.

Quanto ao meio ativo, há vários tipos de *laser*. Cada tipo tem suas características peculiares, que os tornam adequados para determinadas aplicações. A figura 3, que classifica os *lasers* segundo o estado físico de seu meio ativo, está longe de esgotar todos os tipos de *laser* conhecidos hoje.

## Grande invasão

O primeiro *laser* foi inventado em 1960 (ver ‘O inventor do *laser*’). Porém, os primeiros equipamentos estavam restritos ao uso em laboratórios. O passo inicial rumo à grande invasão dos *lasers* em nosso cotidiano se deu com a invenção, em 1962, do *laser* de estado sólido do tipo semiconductor – mais especificamente, o *laser* semiconductor de arseneto de gálio.

Em um semiconductor, os elétrons encontram-se em duas bandas (níveis) de energia: uma denominada banda de valência, na qual eles estão ‘semilivres’, e a outra chamada banda de condução, em que, como o nome diz, eles estão livres de seus átomos. Uma fonte externa de energia – corrente elétrica, por exemplo – pode bombear energia para o semiconductor e, assim, excitar os elétrons e os fazer passar da primeira para a segunda banda.

Simplificando um processo que é complexo, podemos dizer que, na volta para a banda de va-

lência, os elétrons devolvem ao meio a energia extra na forma de luz (fótons), que acabam confinados ao próprio semiconductor, pois suas faces são bem polidas – em outras palavras, o semiconductor age como uma cavidade óptica. O aumento de corrente permite aumentar o número de elétrons excitados, aumentando, assim, a quantidade de luz emergente.

Por serem excitados por corrente elétrica de forma direta – o que permite o uso de pilhas ou baterias – e por terem dimensões tão pequenas – o cristal de semiconductor pode ser submilimétrico –, esse tipo de *laser* encontra uma infinidade de aplicações. Talvez, os exemplos mais próximos do cotidiano de um *laser* de semiconductor sejam o das ‘canetinhas’ *laser*, comumente usadas em palestras, e os usados nos CDs.

Mudando-se os tipos de dopantes (quantidades mínimas de elementos químicos que são misturados aos semicondutores), pode-se alterar a distância entre as bandas de valência e de condução e, portanto, a cor (comprimento de onda) da luz emergente. ▶

Tipo de <i>laser</i>	Meio ativo	Comprimento de onda de operação
<b>Gasoso</b>	Hélio-Neônio (He-Ne)	0,63 $\mu\text{m}$ , 1,15 $\mu\text{m}$
	Gás carbônico ( $\text{CO}_2$ )	10,6 $\mu\text{m}$
	Argônio (Ar)	0,488 $\mu\text{m}$ , 0,514 $\mu\text{m}$
	Nitrogênio (N)	0,337 $\mu\text{m}$
	Álcool	
<b>Sólido</b>	Rubi ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$ )	0,694 $\mu\text{m}$
	Neodímio-YAG	1,06 $\mu\text{m}$
	Érbio-YAG	2,94 $\mu\text{m}$
	Neodímio-YAG – dobrado	0,532 $\mu\text{m}$
	Hólmio-YAG	2,10 $\mu\text{m}$
	Arseneto de gálio (Ga-As)	0,6 – 1.1 $\mu\text{m}$
<b>Líquido</b>	Corantes	Todo espectro

Figura 3. Tipos de *laser* segundo o meio ativo. YAG é uma pedra sintética que se assemelha ao diamante e que, para uso em *lasers*, recebe pequenas porções – diz-se que é dopada – de outros elementos químicos em sua estrutura. Os comprimentos de onda estão representados em milionésimos de metro ( $\mu\text{m}$ )

## O INVENTOR DO LASER

Não seria justo deixar de mencionar um pouco da vida do físico norte-americano Charles Hard Townes, o inventor do *laser*. Townes nasceu em Greenville, na Carolina do Sul (Estados Unidos) em 1915. Formou-se em física pela Universidade de Furman e fez pós-graduação no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), onde recebeu seu doutorado em física em 1939.

Na Segunda Guerra Mundial, Townes desenvolveu sistemas de radares para os laboratórios da Bell Telephone. Em 1950, transferiu-se para a Universidade Columbia, onde fez sua descoberta mais importante. Como fazia pesquisas com radares, ele identificou a carência de um mecanismo que gerasse microondas de alta intensidade. Nenhum circuito eletrônico era capaz de criar essas ondas. Ele sabia que o calor ou a eletricidade podia dar às moléculas de amônia a energia necessária para a liberação de microondas. Um pequeno raio de microondas enviado através do gás amoníaco estimulava as moléculas a liberarem simultaneamente sua energia. Até um raio bem fraco conseguia iniciar o processo e amplificar sua energia. O resultado era uma avalanche de microondas de mesmo comprimento de onda.

Em dezembro de 1953, Townes e seus alunos

construíram esse sistema, capaz de excitar as moléculas de amônia e retirar delas a energia com um fraco feixe de luz, que incorporava em si mesmo a energia. Esse dispositivo ficou conhecido como o *maser* (sigla, em inglês, para amplificação de microondas por emissão estimulada de radiação).

Em 1958, Townes, juntamente com seu cunhado, Arthur Leonard Schawlow (1921-1999), realizaram experimentos, alcançando grande progresso na direção de produzirem um *maser* de luz visível. Esse seria o *laser*. Dois anos depois, o físico Theodore Maiman, da Universidade Stanford (Estados Unidos), construiu o primeiro *laser* de estado sólido, feito com base em um rubi.

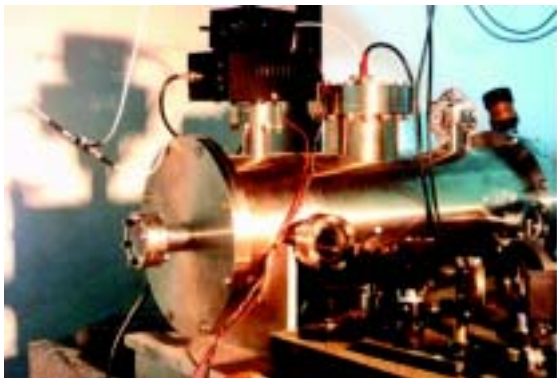
Neste Ano Internacional da Física, vale lembrar que o ponto seminal para o surgimento do *maser* e do *laser* foi a chamada emissão estimulada – ou seja, a luz pode estimular átomos a emitirem mais luz. Os processos de emissão (espontânea e estimulada) e de absorção de radiação pela matéria foram tratados pelo físico de origem alemã Albert Einstein (1879-1955) em três artigos publicados entre 1916 e 1917.



Townes: prêmio Nobel de Física em 1964

HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (HKUST)

Figura 4. Relógio atômico de átomos de célio, o primeiro construído no Brasil. Dois feixes de luz *laser* preparam e analisam as oscilações atômicas, definindo o padrão de tempo



## Aplicações científicas

Hoje, é praticamente impossível um campo das ciências experimentais que não tenha algum uso para o *laser*. Na física, a pesquisa sobre o *laser* é uma área por si só. Normalmente denominada óptica quântica, ela se dedica exclusivamente ao estudo do desenvolvimento de teorias e modelos que expliquem as inúmeras propriedades dessa radiação e de sua interação com a matéria.

Na espectroscopia (estudo da matéria através de sua interação com a luz), o *laser* tornou possível entender detalhes delicados da natureza atômica e molecular. Métodos analíticos de precisão sem precedentes são atualmente rotina nos laboratórios de química e física no mundo.

O *laser* nos permite ainda controlar o movimento de átomos, produzindo a chamada física dos átomos frios, na qual tem sido possível realizar experimentos inéditos que revelam a natureza quântica da matéria. As técnicas de manipulação de átomos com luz fizeram surgir a chamada computação quântica (ver 'A RMN e suas aplicações atuais', em *CH* nº 221).

Na biologia, o *laser* ganhou terreno com as chamadas pinças ópticas (feixes de luz que agem como pinças mecânicas e que possibilitam movimentar ou segurar organelas celulares, por exemplo) e com técnicas modernas de microscopia.

Um exemplo de avanço recente é o chamado relógio atômico – mostrado na figura 4 –, um padrão de tempo e frequência usado em todo o mundo, definido a partir da determinação precisa de certas frequências da luz emitida quando um átomo de célio excitado volta ao seu estado 'natural'.

A técnica de resfriar átomos a baixíssimas temperaturas com a ajuda da luz permitiu a realização experimental de uma das mais importantes previsões físicas do século passado: o condensado de Bose-Einstein, 'estado' da matéria em que um conjunto de átomos se comporta coletivamente, como se fosse um 'átomo gigante'.

Figura 5. Feixe de luz *laser* corta placa de aço, um trabalho preciso e rápido e sem perda de material

Na fronteira entre física e arte, o *laser* permitiu o surgimento dos hologramas (fotografias em três dimensões), de enorme beleza e aplicabilidade técnica – nesse último caso, por exemplo, na forma de selos que comprovam a autenticidade do produto.

## O surgimento da fotônica

Uma das grandes aplicações atuais do *laser* está em seu uso nas telecomunicações. Que a luz é capaz de transmitir muito mais informações que a corrente elétrica, isto já se sabia havia muito. O principal problema era que a tecnologia não estava avançada o suficiente para permitir a implementação dessa idéia.

Com o advento do *laser*, esse problema foi resolvido em parte, e a transferência de informação via luz começou a despertar interesse, embora de forma bem modesta. Com as fibras ópticas, a comunicação óptica explodiu e conquistou a sociedade. A capacidade de transmitir informação via luz acoplada a uma fibra óptica é tremenda. Por exemplo, toda a cidade de São Paulo poderia falar com a do Rio de Janeiro, por telefone, através de meia dúzia de fibras ópticas. A constante demanda por mais informação – e em uma velocidade cada vez maior – transformou a comunicação óptica em um dos campos mais prósperos da tecnologia atual.

O princípio da comunicação óptica é simples: a luz, em vez da corrente elétrica, carrega a informação. A propagação da luz através de uma fibra óptica é baseada na chamada reflexão interna total da luz. Dentro de uma fibra óptica, a luz reflete na superfície interna quando sua incidência supera um certo ângulo de incidência em relação a ela. Assim, uma vez introduzida na fibra, a luz realiza um ziguezague fantástico, causado pelas reflexões internas, até emergir do outro lado, praticamente sem perder energia.



## Na indústria

O fato de o raio de luz andar em linha reta tornou o *laser* um excelente elemento de alinhamento e medida. Paquímetros (instrumentos de medida de precisão em mecânica) são hoje operados com *laser* e incorporados à linha de produção de peças e produtos, gerando um controle de qualidade sem precedentes. Na indústria bélica, o *laser* é utilizado como elemento para mira e guiamento de mísseis.

De soldagens especiais e análise da rugosidade de superfícies à produção do corte preciso de uma lâmina de barbear, tudo indica que o *laser* veio para ficar na indústria.

O *laser* tem aplicação na confecção de moldes de peças. Hoje, é possível programar, através do computador, a peça desejada. Feito isso, um *laser* acoplado a um sistema de varredura produz, em resina sensível à luz (fotocurável), o modelo em minutos. Na indústria gráfica, o *laser*, através das impressoras de alta qualidade, tem promovido um avanço impressionante.

Outro exemplo de aplicação está na remoção de tinta de aviões. Nesse caso, o *laser* deve ser escolhido de forma a ser absorvido apenas pela tinta, preservando o material metálico abaixo dela. Assim, a camada de tinta será evaporada, preservando a estrutura metálica da nave. O comprimento de onda adequado evapora a tinta e será refletido pelo metal. Nesse caso, nenhum outro método compete com a eficiência do *laser*, que executa a tarefa e preserva a estrutura básica da superfície do avião.

## Lentes e braços articulados

Para ações de corte, é preciso que o *laser* seja focalizado e, para isso, utiliza-se um conjunto de lentes. O 'tamanho' (diâmetro) do feixe no foco irá determinar o quanto de intensidade de luz é depositada naquele ponto, e esse tamanho pode ser ajustado pelo movimento das lentes.

A manipulação do feixe também é importante. Seu direcionamento deve ser feito com componentes compatíveis com sua energia e, mais importante, com seu comprimento de onda. Por exemplo, um pedaço de metal pode ser um excelente refletor para um *laser* de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), mas, no caso de um *laser* de argônio, é um espelho terrível.

O uso de braços articulados ou de fibras ópticas são os principais meios para manipular a luz *laser*. Os braços articulados são conjuntos de seguimentos

## INOVAÇÃO E DIFUSÃO

O Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica, da USP de São Carlos, coordenado por Vanderlei S. Bagnato, desenvolve atividades científicas, de inovação tecnológica e de difusão científica na área de óptica, mais especificamente envolvendo *lasers*. Nos estudos (básicos e aplicados), os pesquisadores do Centro trabalham com aprisionamento e resfriamento de átomos, inclusive com a produção de condensados de Bose-Einstein e investigações de colisões de partículas a temperaturas próximas do zero absoluto. O grupo construiu o primeiro relógio atômico nacional e acaba de colocar em operação a primeira fountain atômica, também chamada de chafariz de átomos (um novo relógio atômico, mais preciso, que usa átomos resfriados). Aplicações de *lasers* para diagnóstico e tratamento do câncer e de outras doenças têm sido importantes focos do grupo, que mantém colaboração com faculdades de medicina e veterinária e com outras instituições do Brasil e do exterior. Na área de odontologia, são desenvolvidas novas formas de processamento de materiais resinosos para uso em obturações e próteses. A tecnologia gerada nessas pesquisas tem sido absorvida por empresas, permitindo o lançamento de vários tipos de produtos.

retos de tubo, contendo, em seu interior, espelhos e lentes que permitem, através de reflexões adequadas, conduzir o feixe e focalizá-lo no ponto certo.

## Corte, marcação e solda

Atualmente, as aplicações industriais do *laser* são enormemente diversificadas, mas certamente suas utilizações como instrumento de corte, marcação e solda são as mais amplamente difundidas.

Como instrumento de furo e corte, a vantagem do *laser* reside no fato de ele evaporar o material no local do furo ou da linha de corte, removendo automaticamente o subproduto, sem deixar vestígios. Isso o torna mais preciso que outros meios mecânicos (figura 5).

Se quisermos realizar um furo em uma placa, o *laser* escolhido deve ser altamente absorvido pelo material dela – caso contrário, não haverá uma transferência eficiente de energia do *laser* para ela. Um furo feito a *laser* normalmente apresenta uma borda muito mais precisa e limpa que o realizado por brocas convencionais. Nessas aplicações de corte e furo, em que ocorre a evaporação do material, o melhor regime de operação é atingido ao se utilizar um regime pulsado. Nesse regime, entre pulsos, o material evaporado tem tempo de escapar, não criando obstáculo para o próprio feixe. Também, no regime pulsado, mais energia pode ser depositada no ponto de trabalho. ▶

A operação de corte com *laser* pode ser feita ou movimentando-se o feixe *laser* com um braço articulado, ou movendo-se a peça a ser cortada. O movimento normalmente determina o formato do corte. Ao trabalharmos com pulsos curtos de *laser*, o calor normalmente não tem tempo de se difundir pelas laterais, concentrando-se na evaporação. Nesse caso, a precisão do corte é maior, e a região termicamente afetada menor.

Como elemento de marcação e soldagem, o princípio é basicamente o mesmo, com a diferença de que agora o *laser* deve depositar no material energia que seja apenas suficiente para remover uma pequena porção deste, deixando uma marca permanente ou, no caso de soldagem, promovendo a fusão das áreas adjacentes sem sua intensa vaporização. São exemplos de marcação a *laser* as usadas nos tubos de PVC, amplamente empregados nas residências, e aquelas sobre componentes eletrônicos.

## No comércio

Atualmente, em muitos estabelecimentos comerciais, é comum a leitura de código de barras utilizando sistemas ópticos que empregam um feixe de *laser* varrendo os produtos.

O leitor de código de barras emprega uma sucessão de reflexões que têm duração diferente, em função da variação de espessura das barras do código estampado no produto. Isso permite associar, com essa seqüência, um código numérico para o produto.

Ao ler o código, o computador automaticamente associa o produto ao preço. E faz imediatamente a correlação da saída do produto com a variação do estoque e, possivelmente, o pedido de nova quantidade da mercadoria.

Figura 6. Seqüência mostrando a eliminação de um tumor pela técnica de terapia fotodinâmica. Depois da aplicação, a mudança de cor do tumor representa danos celulares que o levam à morte. Após cerca de 30 dias, a massa tumoral morta já desapareceu. O Hospital Amaral Carvalho de Jaú (SP), bem como a Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, da Universidade de São Paulo, são pioneiros nessa técnica no Brasil



O leitor de código de barras por vias ópticas é um dos maiores avanços para a automação do comércio.

## Cirurgia e terapia com luz

O *laser* é um excelente instrumento de corte e desbaste e, por isso, já se tornou um dos instrumentos cirúrgicos mais importantes. As famosas cirurgias oftalmológicas só conseguiram alcançar o atual grau de sucesso graças ao *laser*.

Na oncologia (área médica que lida com o câncer), o *laser* tem sido rotineiramente usado como instrumento de tratamento e diagnóstico para os vários tipos dessa doença. A eliminação de cálculos renais através de ondas de choque causadas por pulsos intensos de luz ou a desobstrução de artérias são procedimentos a *laser* empregados em muitos hospitais. Além disso, a precisão do *laser* tem permitido invadir o interior da célula e realizar microalterações que a fazem tomar um novo curso em seu ciclo vital.

Nesta última década, pesquisadores norte-americanos e europeus começaram a investigar a possibilidade de usar a seletividade da luz *laser* – ou seja, a interação dessa luz com uma determinada molécula em um universo de várias delas – para a terapia de células cancerosas. Dessas pesquisas, nasceu a terapia fotodinâmica, técnica que usa a propriedade de seletividade da luz de *laser* para o combate ao câncer e emprega uma substância fotosensível (aquela que é alterada quando iluminada) administrada de forma endovenosa no paciente. A droga percorre todo o corpo, sendo absorvida por todas as células. As células sadias eliminam essa droga em um período de tempo que varia entre 24 a 36 horas, enquanto as células tumorais, por apresentarem um metabolismo diferenciado, retêm a droga por mais tempo.

Assim, esperando mais de 24 horas após a administração da droga, a substância fotosensível estará mais concentrada nas células cancerosas. Essa substância fotosensível, quando iluminada por uma luz *laser* de cor específica, é excitada e, uma vez nesse estado energético, provoca uma reação química com o oxigênio molecular, produzindo uma espécie eletrônica do oxigênio (o estado singleto) altamente reativa para os constituintes celulares e, portanto, bastante tóxica para a célula. Como consequência, o tecido tumoral é levado à morte, eliminando a lesão.

Essa técnica, que pode ser realizada ambulatorialmente, foi aprovada pela rigorosa FDA (agência

norte-americana de controle de alimentos e medicamentos). Seu grande limitante está mais relacionado com as dificuldades de se levar a luz *laser* até o local do que com o tipo de lesão. No Brasil, ela passou a ser usada a partir de 1998 (figura 6).

## Biópsia óptica

Quando um tecido é iluminado com um determinado comprimento de onda (cor), parte da energia luminosa é absorvida, excitando biomoléculas. Esse excesso de energia pode ser perdido na forma de luz, sendo um desses processos a chamada fluorescência.

A fluorescência pode ser usada para a diferenciação de tecidos biológicos, pois, dependendo da composição e forma do tecido, a interação luz/tecido será distinta, o que propiciará a reemissão da luz proveniente do tecido-alvo. Dessa forma, haverá padrões de fluorescência para diferentes tipos de lesões.

Tendo como base o fenômeno da fluorescência, a biópsia óptica, um procedimento não invasivo, pode se tornar um importante método auxiliar no diagnóstico de lesões extensas e múltiplas. Uma das principais indicações é a avaliação de pacientes com alto risco de incidência de carcinoma oral, bem como o acompanhamento de possível reincidência da doença.

Outra aplicação é o auxílio na determinação do melhor sítio de remoção de material para ser submetido à biópsia convencional, pois a região que apresenta uma maior variação espectral em comparação com o tecido normal pode ser a escolhida.

## Substituindo as brocas do dentista

Na odontologia, o *laser* tem sido considerado um substituto para o motor de alta rotação – a famosa broca do dentista –, que alguns tremem só de ouvir o barulho estridente. Na remoção de cáries, o *laser* age de duas maneiras distintas. Primeiro, a energia dele pode ser absorvida pelo tecido dental, que, nesse caso, é removido por evaporação. Esse processo é denominado ablação, e vários tipos de *laser* de estado sólido podem ser utilizados para essa finalidade.

Além disso, para evitar problemas causados por aquecimento, outra possibilidade é o uso de pulsos ultracurtos de luz, que são capazes de depositar grande energia no sistema em intervalos de tempo



Figura 7. Procedimento dental a *laser*

extremamente pequenos – de bilionésimos até milésimos de bilionésimos de segundo. Assim, toda a energia é utilizada para evaporar o material, não havendo tempo para que a condução de calor aqueça o material adjacente (figura 7).

## Conhecimento em cubos

Através de uma série de entalhes feitos em uma trilha – por exemplo, traços e pontos –, o *laser* é capaz, semelhantemente ao código Morse, de ler e transformar, em sons ou imagens, toda uma seqüência de escavações. CDs e DVDs são exemplos do emprego dessa técnica. Na gravação, ocorre o oposto: o som ou a imagem são transformados em códigos que são impressos em cada uma das trilhas do disco.

Apesar dos avanços recentes, a era digital do som e da imagem parece estar apenas começando. Já se fala inclusive na chamada memória óptica gravada por *laser*. Nesse caso, um cristal de certo sólido vai ter elementos atômicos em sua rede cristalina capaz de armazenar informações. Em vez dos pontos e traços dos atuais CDs, estaremos excitando átomos em suas posições na rede cristalina dentro do sólido. Cada átomo, excitado ou não, será um elemento da seqüência que, em seguida, poderá ser lida.

Como podemos colocar muitos trilhões de átomos em cada centímetro cúbico de um cristal, dá para se imaginar a potência dessas memórias. Possivelmente, todo conhecimento escrito da humanidade poderá ser armazenado em pequenos cubos desses materiais.

A leitura e produção dessas fantásticas memórias só poderiam ser feitas com um instrumento de altíssima precisão. Bem, fica a cargo do leitor adivinhar quem, desde já, é o melhor candidato para essa função. ■

### SUGESTÕES PARA LEITURA

- BAGNATO, V.S. *Os fundamentos da luz laser* (Sociedade Brasileira de Física, São Paulo, série Física na Escola, volume 2, 2001).
- TOWNES, C. H. *How the laser happened: adventures of a scientist* (Oxford University Press, Nova York, 1999).
- BAGNATO, V. S. e ZILIO, S. C. 'Controlando átomos com luz' in *Ciência Hoje*, n. 53, maio de 1989.
- POTTER, T. (ed.). *An Usborne introduction to lasers* (EDC Publishing, 1984).
- BORAICO, A. A. 'Lasers – a splendid light' in *National Geographic*, março de 1984, pp. 334-363.