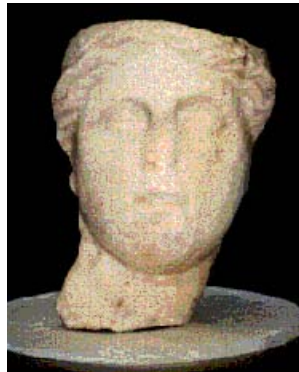


# *Desenvolvimentos Recentes na Limpeza por Laser*

*Martin Cooper*

*Tradução por António de Borja Araújo, Engenheiro Civil, I.S.T*



Uma cabeça de mármore Greco-romana escavada em Shropshire.

À esquerda, depois de limpa com laser com um Laser Nd:TAG.

Na extrema esquerda, coberta de terra e de caiação.

O tratamento removeu todos os vestígios de terra e de caiação sem danificar a superfície do mármore.

A limpeza é uma parte crítica do processo de conservação. Ela serve não só para melhorar o aspecto estético de um objecto, mas também para revelar a sua verdadeira condição, por forma a que possa ser executada a acção adequada para que esse objecto sobreviva para ser apreciado por muitas gerações futuras.

Durante os anos mais recentes, houve uma preocupação crescente centrada sobre métodos mais convencionais de limpeza usados na escultura e na decoração escultórica das edificações históricas. A falta de cuidado e a utilização de técnicas inadequadas, tais como as limpezas abrasivas com ar e as limpezas com vapor podem provocar sérios danos na superfície de pedra subjacente. A perda dos pormenores dessa superfície por uma limpeza demasiadamente intensa pode reduzir o apelo visual de uma superfície e, em casos extremos, levar até à sua degradação acelerada. Mesmo que a limpeza seja executada muito cuidadosamente, técnicas tais como a limpeza abrasiva com ar vão resultar na perda de material da superfície, especialmente se for uma superfície degradada e em pulverização, simplesmente porque as partículas do abrasivo não distinguem entre sujidade e pedra. A remoção das incrustações negras de uma pedra calcária é geralmente acompanhada pela remoção da patina que se desenvolve durante um período de tempo, e sob a qual o relevo original da superfície se mantém preservado. As técnicas à base de produtos químicos também têm problemas associados : os químicos deixam frequentemente resíduos dentro da pedra que podem causar problemas mais tarde, e uma vez aplicados, a sua reacção não pode ser adequadamente controlada. Em Glasgow, alguns edifícios em arenito que foram limpos por processos químicos, anos mais tarde começaram a ficar verdes a uma velocidade alarmante, já tinham sido criadas condições ideais para a formação de algas na sua superfície. O desenvolvimento das técnicas com base no laser durante os últimos anos foi um avanço significativo na criação de métodos de conservação menos intrusivos e mais controláveis. A diferença fundamental entre

a limpeza com raios laser e os métodos convencionais é que as partículas de luz, ou fótons, podem distinguir entre o substrato e a sujidade. Isto permite ao conservador controlar o nível a que a superfície vai ser limpa.

O laser é uma fonte de luz singular, que fornece energia sob a forma de um feixe monocromático (uma só cor ou comprimento de onda) muito intenso e bem concentrado (um laser típico alarga apenas alguns milímetros de pois de viajar diversos metros). Quando um feixe de laser interage com a superfície, parte da sua energia é reflectida e a restante é absorvida (não assumindo transmissão). A fracção de energia absorvida depende do comprimento de onda da radiação laser e das propriedades químicas e físicas da superfície. Um feixe de laser pode não ter nenhum efeito sobre uma superfície a menos que seja pelo menos parcialmente absorvido.

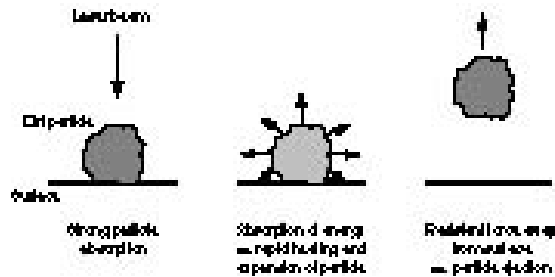
O laser mais vulgarmente usado em conservação no momento presente é o laser Q-switched Nd:YAG que gera impulsos a um ritmo curto (tipicamente com 5-10 ns de duração) ou perto da radiação infravermelha a um comprimento de onda de 1.064 mm (ou  $1.064 \times 10^{-6}$  m). Trata-se efectivamente de muito curtos impulsos de calor. O ritmo de duração curta é importante já que evita que o calor seja conduzido abaixo da sujidade até à superfície da pedra. Este tipo de laser é geralmente usado uma vez que a maioria das camadas de sujidade são muito mais fortemente absorventes do que o substrato inferior aos 1.064 mm. Isto significa que, desde que a limpeza seja executada dentro de parâmetros de segurança, uma vez que a sujidade seja removida, os impulsos seguintes já não irão ter efeito sobre a superfície, porque é absorvida energia insuficiente para produzir qualquer tipo de dano – por outras palavras, o processo é auto limitador. O laser Nd:YAG é também extremamente fiável, fácil de manter, relativamente compacto e robusto.

Os sistemas comerciais de limpeza por laser passaram a estar à venda durante os últimos anos e agora são usados por estúdios de conservação em toda a Europa. Num sistema de laser típico, a cabeça de laser, e as fontes de energia e de arrefecimento estão alojados numa única unidade portátil que pesa cerca de 125 kg e trabalha a 13 A / 240 V. Neste caso o feixe de laser é dirigido por meio de um braço de 7 articulações, com o feixe a emergir através de uma ponteira tipo lápis, dentro da qual uma lente é usada para produzir um feixe divergente. O conservador controla o efeito de limpeza através de ajustamentos da energia em cada impulso, do número de impulsos disparados por segundo (taxa de repetição) e da distância entre a ferramenta e a superfície (que controla a intensidade ou espalhamento do feixe). A energia máxima do impulso e a taxa de repetição variam entre sistemas e alguns deles usam a fibra óptica em vez do braço articulado para conduzirem o feixe. A maioria dos sistemas comerciais estão preparados para trabalharem em estúdio e no exterior.

O parâmetro de limpeza mais importante é a densidade de energia, ou fluência, do feixe de laser, a qual se define como a energia por unidade de área incidente na superfície (energia por tamanho do impulso / feixe sobre a superfície) e, geralmente, é medido em joules por centímetro quadrado ( $J/cm^2$ ). Quando se trabalha, a fluência pode ser suficientemente elevada para serem removidas as camadas de sujidade mas suficientemente baixa para se garantir que a superfície subjacente não é danificada. No comprimento de onda Nd:YAG existe uma “janela de trabalho” segura dentro da qual isto pode ser conseguido para uma larga gama de materiais. Este é o regime “auto limitador” da limpeza por laser. Se a fluência tivesse que ser elevada acima da garantia contra danos do substrato, para se remover a sujidade, então o sistema não era auto limitador e, conforme se passa com os métodos de limpeza convencionais, o conservador teria que deter o processo logo que a sujidade ficasse removida, para evitar qualquer dano.

A limpeza por laser produz-se por uma combinação de mecanismos, em que a importância relativa de cada um depende da fluência usada e das características da sujidade. Como a maioria dos tipos de sujidade absorvem fortemente abaixo dos 1.064 mm, geralmente a limpeza pode ser executada

com uma fluência relativamente baixa ( $< 1 \text{ J/cm}^2$ ), para se minimizar o risco de produção de danos no substrato. A forte absorção de energia provoca um rápido aquecimento e a subsequente expansão das partículas de sujidade (ver a figura). Uma vez que a duração do impulso é tão curta, a expansão acontece tão rapidamente que as forças resultantes geradas são suficientes para ejectarem a partícula para fora da superfície. Este processo é muito selectivo. Se a fluência for aumentada ligeiramente, então parte do material será aquecido a uma temperatura suficientemente elevada para provocar a sua vaporização. A fluências ainda mais elevadas (acima de aproximadamente  $1.5 \text{ J/cm}^2$ ; os valores dependem das características da sujidade) os mecanismos de remoção tornam-se mais complexos e envolvem a formação de um plasma logo acima da superfície e a geração de uma onda de choque. Este mecanismo é menos selectivo e pode provocar danos no substrato subjacente. Portanto, a limpeza não deve ser executada fora da fluência mais baixa para que os mecanismos mais selectivos possam operar.



Representação esquemática da remoção de poeiras por 'expansão térmica rápida'. Este mecanismo selectivo parece dominar o processo de limpeza a baixa fluência.

Pode ser usada água, por vezes para potenciar o efeito de limpeza. Escovando-se ou aspergindo-se uma fina camada de água sobre a superfície suja imediatamente antes da irradiação, podem ser removidos os depósitos mais teimosos de sujidade sem se aumentar a frequência até níveis inaceitavelmente elevados. As partículas de sujidade ficam revestidas com uma fina película de água que também consegue penetrar nas fendas e nos poros da própria camada de sujidade. A absorção do feixe de laser pela camada de sujidade acontece como normalmente, e o aquecimento rápido do interface sujidade / água leva a uma vaporização explosiva das moléculas da água, que exerce forças sobre e dentro da camada de sujidade, suficientes para ejectarem mias material da superfície. A adição de água geralmente aumenta a taxa de limpeza significativamente.

As principais vantagens da limpeza com laser são :

### Selectividade

Desde que a limpeza seja executada dentro de parâmetros adequados, é possível removerem-se camadas de sujidade sem se remover nenhum material original da superfície do objecto. Tal controlo permite ao conservador seleccionar exactamente o que é removido de uma superfície e também lhe permite voltar a uma área que já tinha sido limpa para remover restos de sujidade, sem correr o risco de sobre limpeza. Esta técnica é suficientemente sensível para preservar o relevo da superfície, as marcas originais da ferramenta podem ser descobertas e as patinas delicadas ficam intactas.

### Não contacto

Como a energia é conduzida sob a forma de luz, não existe nenhum contacto mecânico com a superfície. Isto permite que se trabalhe em superfícies extremamente frágeis.

### Acção localizada

O laser limpa apenas onde está direccionado. Um único laser pode fornecer um feixe que tem um diâmetro variável entre uma fracção de milímetro e um centímetro, permitindo que a mesma ferramenta possa ser usada para trabalhos extremamente precisos e para trabalhos em larga escala.

## Controlo e resposta imediatos

A acção de limpeza é instantaneamente detida mesmo com o laser ligado para que o conservador possa parar o processo sempre que o decida fazer. A condição da superfície pode ser continuamente monitorizada pelo conservador durante a limpeza, permitindo que sejam tomadas decisões num estado muito prematuro.

## Ambiente

A limpeza por laser gera apenas muito pequenas quantidades de material de lixo (na ordem dos 100 g/m<sup>2</sup> para uma crosta negra uniforme de espessura aproximada a 0.1 mm sobre uma pedra calcária em meio exterior). O único lixo gerado é a sujidade ejectada da superfície a qual é recolhida e seguidamente despejada pela utilização de um qualquer sistema de extracção eficiente. Não se utilizam químicos ou solventes perigosos e o único equipamento de segurança necessário são luvas e máscara de segurança. A limpeza laser é uma técnica limpa e silenciosa que causa uma perturbação mínima.

## Versatilidade e fiabilidade

A radiação laser a 1.06 µm tem sido usada com sucesso na remoção de sujidades e outros revestimentos de uma larga gama de materiais tais como mármore, pedras calcárias, arenitos, terracota, alabastro, estuque, alumínio, osso, marfim e pergaminho. Nalguns casos a disponibilidade de radiações com outros comprimentos de onda pode aumentar a flexibilidade da ferramenta, por exemplo na remoção de alguns tipos de crescimentos orgânicos. Como os lasers têm muito poucas peças móveis, eles são extremamente fiáveis.

O laser descrito neste artigo foi especificamente projectado para trabalhar sobre esculturas e pormenores esculturais de edifícios. Existem à venda outros sistemas de laser mais potentes capazes de limparem aproximadamente dez vezes mais depressa e mais adequados para trabalhos de limpeza em grande escala.

A limpeza por laser não trabalha sobre toda e qualquer coisa. A limpeza de escultura policroma põe problemas. Uma vez que os pigmentos absorvem diferentes quantidades de radiação, sendo certos tipos muito sensíveis. Por exemplo, um único impulso a baixa energia pode ser suficiente para transformar o vermelho e o vermelhão em preto. Em certos casos em que existem evidências de pigmentos sobre uma pedra, a limpeza superficial é geralmente executada de forma tal que a área não fica exposta à radiação laser, a menos que se saiba que ela é estável à frequência que está a ser usada.

Apesar de a limpeza da escultura ser geralmente mais rápida do que a limpeza por outras técnicas convencionais mais sensíveis, a limpeza em larga escala de edifícios não consegue competir, neste momento, em termos de velocidade, com técnicas tais como a projecção de abrasivos. No entanto, ela deixa a superfície intacta. O desenvolvimento de equipamentos laser está a ser tão rápido que pode não demorar muito até que fiquem à venda sistemas em larga escala de limpeza por laser.

Os custos iniciais de compra relativamente elevados de um sistema laser podem ser encarados como uma desvantagem. Mas devem ser apreciados contra o baixo custo de manutenção e com as economias que são feitas com o tempo em que se executa um trabalho. A compra de um equipamento laser é um investimento a longo prazo. Num curto prazo, pode ser mais sensato alugar-se um sistema adequado para cada trabalho específico. Existem cursos de treino que ensinam ao conservador como e quando deve usar um laser.

Em anos recentes, o interesse pelos lasers para limpeza aumentou rapidamente, culminando no LACONA I, a primeira conferência internacional sobre limpeza com laser na conservação de obras de arte, que teve lugar em Creta, em Outubro de 1995. Esta conferência juntou cientistas, engenheiros e conservadores na discussão de trabalhos em curso (que incluíam o uso de muitos tipos diferentes de lasers) e dos futuros desenvolvimentos deste campo em rápida expansão. O LACNOA II teve lugar em Liverpool em Abril de 1997.

## BIBLIOGRAFIA

Asmus, JF, Seracini, M and Zetler, MJ, *Surface morphology of laser-cleaned stone*, Lithoclastia, 1 (1976) pp23-45.

Verges-Belmin, V, Pichot, C and Oriol, G, *Elimination des croutes noires sur marbre et craie; a quel niveau arreter le nettoyage? Conservation of Stone and other Materials*, Thiel, MJ (ed), Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris 29 June - 1 July 1993 pp534-541.

Cooper, MI, Emmony, DC and Larson, JH, *Characterisation of laser cleaning of limestone*, *Optics and Laser Technology*, 27 (1) (1995) pp69-73.

Cooper, MI and Larson JH, *The use of laser cleaning to preserve patina on marble sculpture*, *The Conservator*, 20 (1996).

Wilson, J and Hawkes, JFB, *Optoelectronics: An Introduction*, Prentice-Hall International (1983) pp254-261.

Tam, AC, Leung, WP, Zapka, W and Ziemlich, W, *Laser-cleaning techniques for removal of surface particulates*, *Journal of Applied Physics*, 71 (7) (1992) pp3515-3523.

## AUTOR

**MARTIN COOPER** tem um grau honorário em Física pela Loughborough University. Ele completo um PhD em 1994, também em Loughborough, intitulado "A Limpeza da Escultura de Pedra com Laser". Este trabalho levou ao desenvolvimento do sistema de limpeza por laser actualmente usado nos Museus Nacionais e nas Galerias em Merseyside. Durante os últimos anos ele tem trabalhado com Investigador Associado em Leverhulme, na NMGM, continuando a pesquisa e o desenvolvimento sobre a limpeza laser.

[National Museums and Galleries on Merseyside](http://www.nmgm.org.uk) (NMGM), The Conservation Centre, Whitechapel, Liverpool L1 6HZ Tel 0151 478 4904