

# O LASER na Defesa: o seu futuro em Force Protection

João M. P. Coelho, J. Cabrita Freitas

Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Dep. Física, Lab. de Óptica, Lasers e Sistemas,  
Campus do Lumiar, Estrada do Paço do Lumiar, Edifício D, 1649-038 Lisboa

joao.coelho@fc.ul.pt

## Resumo

À medida que as ameaças a infra-estruturas estratégicas se tornaram mais comuns e a identificação e discriminação entre “amigo” e “inimigo” tomou relevância estratégica, o laser emergiu como uma nova e importante solução. A sua capacidade para atingir, de forma rápida e precisa, alvos em cenários onde este tipo de intervenção cirúrgica é necessária e onde existe pouca margem para danos colaterais, tornou a tecnologia laser uma ferramenta para o combate ao terrorismo, em geral, e para a denominada *Force Protection*, em particular. Este artigo descreve a evolução do laser como ferramenta de protecção nos cenários actuais de envolvimento militar e de luta contra o terrorismo.

## Introdução

*Force Protection* (FP) pode ser entendido como o conjunto de medidas tendentes a prevenir ou diminuir o sucesso de acções hostis contra pessoas ou instalações na retaguarda de uma frente de combate [1].

A luz foi uma das primeiras medidas contra ameaças às bases da humanidade, sendo a ideia de “controlar” o fogo um dos principais pontos de viragem na nossa evolução. Isto permitiu aos primeiros humanos protegerem-se dos predadores nocturnos e terá igualmente permitido “prolongar” o dia e usar a noite no desenvolvimento da sociedade. Neste último caso, os efeitos só se fizeram sentir a longo prazo: a protecção imediata ao grupo, e àqueles que providenciavam comida e protecção, foi certamente o seu primeiro objectivo.

Com a evolução da civilização, o uso da luz na defesa foi-se instalando no imaginário humano. Segundo a lenda (Luciano de Samósata, 2 d.C.), em 212 a.C., durante o cerco romano a Siracusa, Arquimedes usou grandes espelhos côncavos para focar a luz do Sol nas velas dos navios que ameaçavam a cidade e assim pegar-lhes fogo. No campo da ficção, H.G. Wells na sua obra “A guerra dos mundos” (1898) fez uma descrição bastante detalhada de raios usados por invasores marcianos, a qual pode ser facilmente entendida como o relato da acção de um (muito potente) feixe de luz. Isto cerca de 60 anos antes do primeiro laser!

Este interesse numa arma que utilizasse o poder da luz

apenas se materializou quando o laser apareceu como equipamento operacional em 1960. Durante essa década foram desenvolvidos os principais tipos de laser e a procura de aplicações militares ganhou maior relevo.

Em FP, o laser apresenta a vantagem de funcionar à velocidade da luz para contrariar ataques directos, ganhando relevância com o advento do terrorismo e de um número crescente de acções de manutenção de paz, que têm como consequência aproximar ameaças da retaguarda onde se encontra o pessoal (militar ou civil) não envolvido em combates. A redução no tempo de resposta, em conjunto com a crescente preocupação pública com baixas civis, coloca um problema real às estratégias de FP.

Neste cenário, dois tipos de sistemas com tecnologia laser são considerados: *Laser Dazzlers* (LD, encandeadores laser) e *Laser Effectors* (LE, dispositivos de elevada potência utilizados para afectar, por acção directa, os alvos e levar à sua destruição). Analisaremos neste artigo questões relacionadas com estas tecnologias, o seu estado da arte e o seu futuro.

## A tecnologia

Inicialmente, o estudo de armas de energia dirigida teve por base principalmente o laser gasoso de  $\text{CO}_2$ . Na actualidade, são considerados quatro tipos de lasers: químicos, semicondutores, estado sólido e electrões livres. Destes, os químicos têm sido aplicados com sucesso na demonstração da aplicação de radiação laser de elevada potência, em particular o laser de fluoreto de deutério, DF (*deuterium fluoride*) e o *chemical oxygen iodine laser* (COIL, laser químico de iodo e oxigénio). Este último emite no infravermelho próximo ( $1,3 \mu\text{m}$ ) enquanto o de DF emite no infravermelho médio ( $3,7 \mu\text{m}$  e  $4,2 \mu\text{m}$ ), ambos em janelas atmosféricas, onde a radiação é menos absorvida na sua propagação.

Os lasers de semicondutores (ou de diodo) usam o fluxo de corrente através de uma junção eléctrica para excitar os electrões do meio. Estes lasers existem num largo espectro de comprimentos de onda, mas a sua relativa baixa potência limita a sua aplicação a LD ou como fonte de bombeamento de outros lasers. Exemplos desta última aplicação são os lasers de estado sólido, os quais dependem de um meio sólido, geralmente bombeado por lâmpadas ou lasers de diodo, sendo os de Nd:YAG (*neodymium-doped yttrium aluminium garnet*) os mais comuns. Embora a potência obtida com a tecnologia actual (dados públicos) ainda seja inferior à que se consegue obter com os COIL, e insuficiente para os efeitos pretendidos, o desenvolvimento da tecnologia tem dado avanços promissores, indicando que eles podem ser o futuro dos LE. Vantagens: reduzido (comparativamente) tamanho, portabilidade e menor custo operacional devido a apenas consumir electricidade (sem produtos químicos ou gases).

O *Free Electron Laser* (FEL, laser de electrões livres) difere dos lasers convencionais no princípio de geração do feixe. Enquanto nestes os electrões são excitados em estados atómicos ou moleculares, os FEL utilizam um feixe relativista de electrões como meio activo que se movimenta livremente através de uma estrutura magnética (daí o termo “electrões livres”). Apesar de a tecnologia estar ainda em estudo, o estado da arte parece indicar serem mais úteis na produção de microondas de elevada potência do que na de luz.

### Encandear para proteger

Os lasers utilizados para encandear enquadram-se na categoria das armas não-letais. O seu principal objectivo é o de causar cegueira temporária ou desorientação sobre um potencial atacante.

Uma forma simples de encandear é provocar a reflexão da luz do Sol para fazer um atirador perder a precisão. No entanto, o uso de simples óculos escuros é suficiente para evitar ou minimizar este efeito. Para além do Sol, alguns holofotes são suficientemente intensos para causar cegueira temporária ou permanente, e terão sido utilizados na Segunda Guerra Mundial sobre as tripulações de bombardeiros. Algumas fontes de luz montadas em armas pessoais também podem ser utilizadas para cegar temporariamente opositores. Em ambos os casos, o objectivo principal é iluminar o alvo e o seu uso para desorientar, secundário.

Uma alternativa é o uso de feixes laser, rentabilizando as suas características: direcionalidade, coerência e monocromatismo. Estas permitem que a energia depositada numa determinada área seja várias ordens de grandeza superior quando se utiliza um laser em vez de uma fonte de luz convencional (para uma mesma potência óptica).

O primeiro uso documentado dos LD em combate foi pela Marinha Real Britânica durante a Guerra das Malvinas, em 1982, instalados em navios de guerra com o fim de impedir ataques aéreos de proximidade. Apesar de em 1995 as Nações Unidas terem proibido toda e qualquer arma dedicada a provocar cegueira através do seu *United Nations Protocol on Blinding Laser Weapons*, os LD não têm por intenção causar cegueira permanente, podendo assim ser capazes de contornar esta regulamentação. A proibição é feita sobre “armas dedicadas à finalidade de encandear” (“*dedicated-purpose dazzler weapons*”), o que representa uma importante lacuna na legislação uma vez que estes dispositivos podem ser facilmente configurados para outras aplicações – por exemplo, como sistemas de pontaria laser.

Mas o que torna o laser uma ameaça tão grande para a visão? Uma forma de ilustrar o impacto de um feixe laser no olho humano é comparar com o olhar para o Sol. Assim, façamos a equivalência do olho com uma lente de distância focal  $f=25$  mm e uma abertura de 2 mm de diâmetro, equivalente a uma pupila ocular constricta por um forte estímulo luminoso [2]. Se olharmos directamente para o Sol, num dia sem nuvens nem nevoeiro, podemos considerar que a sua irradiância (potência por unidade de área) será cerca de  $1 \text{ kW/m}^2$  (ou seja, uma potência de cerca de 3 mW na pupila) num ângulo de cerca de 10 mrad. A imagem do Sol formada na retina terá um diâmetro de  $10 \text{ mrad} \times 25 \text{ mm} = 0,25 \text{ mm}$ , e uma irradiância de

$$\frac{3 \times 10^{-3} \text{ W}}{\pi \left( \frac{0,25 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2} \approx 6 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

Por outro lado, quando se considera um feixe de luz colimado, como o laser, o sistema óptico cria um foco limitado por difracção cujo diâmetro,  $d_{\text{foco}}$ , é dado por

$$d_{\text{foco}} = \frac{\lambda f}{\pi d_{\text{feixe}}} \quad (1)$$

Tomando por exemplo um diodo laser de 1 mW de potência emitindo um feixe de diâmetro  $d_{\text{feixe}}$ , equivalente ao da pupila ocular nas condições anteriormente descritas, e num comprimento de onda  $\lambda=635$  nm, o diâmetro do feixe sobre a retina é  $d_{\text{foco}} \approx 10 \mu\text{m}$ . Neste caso a irradiância será dada por

$$\frac{1 \times 10^{-3} \text{ W}}{\pi \left( 5 \times 10^{-6} \text{ m} \right)^2} \approx 1,25 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

Ou seja, olhar para um apontador laser expõe o olho a uma irradiância quase 200 vezes superior a olhar directamente o Sol!

Porém, avaliar o verdadeiro impacto de um feixe laser no olho humano depende também de factores relacionados com a interacção com os tecidos: absorção, transmissão, degradação (danos) e reacção. A transmissão e a absorção estão relacionadas e dependem do comprimento de onda, determinando a profundidade de penetração da radiação nos olhos (Figura 1).

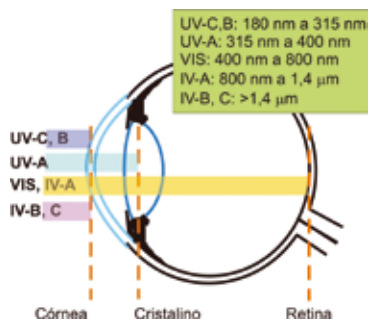


Fig. 1 - Representação do grau de penetração da luz num olho humano.

Uma vez atingidos, são três os principais mecanismos de interacção responsáveis por danos nos tecidos oculares: interacção fotoquímica, térmica e ionização. A energia absorvida no tecido ocular aumenta a sua temperatura, dependendo dos fluxos de calor, e o seu grau de absorção nos tecidos do olho é crítico pois quanto maior, mais energia é convertida em calor. É este aumento de temperatura e sua duração que determinam a extensão dos danos.

Como as células têm processos próprios de regeneração, as proteínas danificadas podem ser restauradas. Mas se a elevação da temperatura as danifica excedendo a sua taxa de regeneração, a célula morre. Pode-se portanto definir um limiar inferior de energia incidente para o qual o processo de dano térmico acontece. Um limite superior pode por sua vez ser atribuído quando a energia é tão elevada e fornecida de forma tão rápida que a temperatura sobe, sem dissipação para os meios circundantes, e ultrapassa o ponto de ebulição da água. Esta é a forma mais comum de dano óptico devido aos LD, ocorrendo em alguns microsegundos.

Contrariamente aos danos térmicos, os fotoquímicos geralmente ocorrem com a exposição prolongada a luz de intensidade relativamente fraca. Como são necessárias dezenas de segundos, ou mais, este mecanismo não é esperado no campo operacional.

Por seu lado, a ionização ocorre para impulsos ultra-curtos (nanosegundos, ou menos). Nesta situação, os átomos do "alvo" são destruídos, o que pode causar bolhas de cavitação, ou hemorragia, e danificar uma área ainda maior da retina. Naturalmente, o olho tem o seu próprio sistema de defesa: o mecanismo de cerrar as pálpebras, que leva cerca de 0,25 ms para permitir a resposta total do olho [3], mas só é sensível à luz visível.

Apesar de todas as questões éticas, desde 1995 que a China é mencionada como estando a desenvolver e vender armas laser capazes de cegar como a ZM-87, baseada num laser de Nd:YAG de 15 mW, podendo estas armas já ter atingido desenvolvimentos de segunda ou terceira geração [4].

Nos Estados Unidos, um LD emitindo no verde e com 300 mW de potência foi desenvolvido em 1996. Tratava-se de um dispositivo semelhante em tamanho e peso a uma lanterna [5]. Actualmente é possível encontrar no mercado diversos sistemas [6-11].

Tanto o SaberShot como o TALIS (da XADS) são dispositivos portáteis baseados num laser de 532 nm com potência até 250 mW. Quando direccionados para um alvo, a óptica associada permite expandir o feixe emitido e gerar uma luz

que penetra fumo, neblina, e apresenta o dobro do alcance da luz branca. A modulação deste feixe de elevada intensidade, causa encandeamento, desorientação e piscar de olhos, o que reduz a actividade do alvo.

Outros sistemas estão em desenvolvimento como a espingarda PHaSR (*Personnel Halting and Stimulation Response rifle*) a qual utiliza dois lasers de baixa potência (um emitindo no visível e o outro no infravermelho médio) [8]. O Saber 203 (da ARL) tem um alcance efectivo de 300 m e utiliza um laser de semiconductor de 220 mW, que emite no vermelho (650 nm) e é carregado num lançador de granadas como um projectil, accionado através de um interruptor instalado no lançador [9]. Em 1995, o sistema foi utilizado com sucesso pelos fuzileiros dos EUA na Somália.

A *LE Systems* produz o LD compacto CHP, que emite 500 mW no verde. Da sua publicidade consta que "os exames oftalmológicos em curso continuam a demonstrar a ausência de lesões oculares em repetidas exposições directas ao CHP a uma distância mínima de 20 m" [10]. De facto, uma vez que a segurança do olho face aos LD está relacionada com a distância, algumas soluções estão a ser testadas pela aplicação de distanciómetros (tecnologia igualmente baseada em lasers) para aferir da distância ao alvo e garantir a segurança do olho atingido.

Os LD têm a vantagem adicional de poder cegar sensores ópticos, como os utilizados em veículos de combate, artilharia e mísseis [11]. O exército dos EUA tem em desenvolvimento dois protótipos de LD anti-sensores: o Dazer e o Cobra. Ambos são lasers estáticos destinados a detectar e neutralizar os sensores ópticos e electro-ópticos.

### O poder destrutivo da luz

Outra área de crescente investigação é a da utilização de feixes laser de elevada potência para destruir projecteis, ou seja, como LE. As principais vantagens dessa tecnologia como um sistema de defesa contra mísseis, foguetes e morteiros (que têm sido considerados como os principais alvos) são:

- Operação à velocidade da luz;
- Cálculos balísticos desnecessários;
- Aquisição dos alvos precisa e ajustável;
- Baixo custo operacional (o sistema só consome energia);

Uma vez que estes dispositivos são em regra do tipo terra-ar e utilizados contra dispositivos e não pessoas, os problemas éticos não se colocam. A principal questão é como colocar energia suficiente no alvo para que o seu invólucro seja danificado e ocorra uma avaria mecânica ou eléctrica, com a sua consequente destruição. A irradiância necessária

depende das propriedades físicas e espessura dos materiais.

Como exemplo, Leonard [12] apresenta cálculos simples para os níveis de densidade de energia necessária para destruir um míssil norte-coreano Taepo Dong 2 (considerado como tendo um invólucro de aço de 3 mm). De acordo com a sua análise, são necessárias densidades entre 2,4 kJ/cm<sup>2</sup> (falha por sobrecarga do revestimento do propulsor) e 22 kJ/cm<sup>2</sup> (vaporização de um orifício no invólucro). A densidade de potência mínima do alvo, assumindo 4 s para acção do laser sobre o alvo, é de 600 W/cm<sup>2</sup>. Se, para destruir um alvo, é necessário um orifício de 5 cm de diâmetro tal implica um laser de 20 kW. Estes cálculos são teóricos e bastante específicos, mas são um ponto de partida. Testes com diferentes sistemas e alvos são actualmente realizados em diversas partes do mundo e são necessários para uma melhor compreensão da interacção da radiação laser com os alvos.

Porém, o grande problema para os LE é o facto do feixe de laser ser afectado na sua propagação através da atmosfera por três diferentes tipos de fenómenos: transmissão, turbulência e *blooming* [13]. A transmissão atmosférica é regida pelo comprimento de onda do laser e é maximizada escolhendo um laser que emita numa das janelas atmosféricas. Problemas maiores advêm da turbulência e do *blooming*.

A turbulência atmosférica ocorre devido a variações de temperatura, pressão e humidade, as quais levam a variações aleatórias no índice de refração. Sem correcção, a turbulência pode fazer o feixe desviar-se e divergir, aumentando a sua dimensão sobre o alvo e assim diminuindo a densidade de energia. O *blooming* ocorre quando a energia do laser é absorvida por elementos existentes na atmosfera, provocando aquecimento localizado. O ar aquecido expande-se radialmente e, em conjunto com o efeito de vento lateral, faz com que o índice de refração do ar varie transversalmente à direcção de propagação, alterando localmente a distribuição de energia no feixe. Ambos os fenómenos (ilustrados na Figura 2), podem reduzir substancialmente a eficácia do sistema, implicando a sua correcção, normalmente através de ópticas adaptativas (AO, *Adaptive Optics*). Este sistema usa informações em tempo real sobre as distorções induzidas pela atmosfera para accionar actuadores que deformam um espelho, permitindo mudar continuamente a forma do feixe laser e assim cancelar os erros na frente de onda.

Como mencionado anteriormente, os dois principais sistemas laser que têm sido testados como LE usam lasers de CO<sub>2</sub> e químicos. Vários programas têm sido desenvolvidos, embora, talvez o mais conhecido (e um dos primeiros) tenha

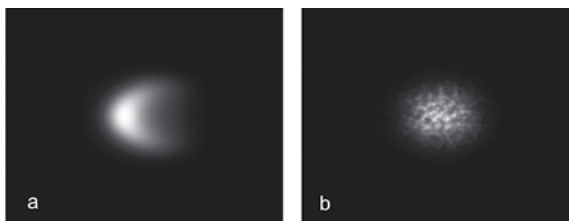


Fig. 2 - Ilustração do (a) efeito de blooming e (b) da turbulência atmosférica na propagação de um feixe circular de luz.

lado o do laser aerotransportado: em 1983, a Força Aérea dos EUA anunciou o sucesso do ALL (*Airborne Laser Laboratory*), um laser de CO<sub>2</sub> instalado num *Boeing 747* modificado. A Tabela 1 resume alguns dos principais projectos conhecidos e as informações disponíveis sobre eles [12, 14-18].

A potência necessária para interacções, com alvos a vários quilómetros, tem limitado a escolha do laser, e levado a que a tecnologia de lasers químicos, em particular a tecnologia COIL, tenha sido a escolhida até há poucos anos. Estes lasers emitem no infravermelho próximo e podem fornecer até centenas de kW. Os principais inconvenientes: o tamanho e os procedimentos de segurança necessários face a produtos químicos. A sua utilização em FP implica a construção de infra-estruturas específicas (por exemplo, um edifício) para cada local a ser protegido. Naturalmente, a sua aplicação é muito limitada quando a mobilidade é um requisito.

Na Tabela 1 observa-se que os actuais projectos de investigação se centram na tecnologia de estado sólido [14-18], sinónimo de maior portabilidade e ausência de manipulações perigosas ou sensíveis. Existem duas abordagens: a utilização de lasers em fibra e lasers de disco [14].

Laser Effectors: projectos

Projecto	Tipo de Laser	Estado
HELEX	CO <sub>2</sub> (200 kW)	1970 - ...
MTU	CO <sub>2</sub> (30 kW)	1975 - ...
ALL	CO <sub>2</sub> (400 kW)	1976 - 1984
UNFT	CO <sub>2</sub> (400 kW)	1978 - ...
MIRACL	DF (MW)	1980 - ...
MAD	DF (400 kW)	1981 - ...
LATEX	CO <sub>2</sub> (10 MW)	... - 1989

Projecto	Tipo de Laser	Estado
THEL	DF (MW)	1996 - 2006
ABL	COIL (MW)	1996 - ...
ATL	COIL (100-300 kW)	2002 - ...
SSL	Estado sólido	2003 - ...
MEL - COIL	COIL (MW)	2003 - ...
JHPSSL - 1/2	Estado sólido (100 kW)	2003 - ...
HELLADS	Líquido (150 kW)	2005 - ...

No âmbito do desenvolvimento de um sistema LE para FP, Portugal – através do Laboratório de Óptica, Lasers e Sistemas do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa – participa no projecto HELW (*High Energy Laser Weapon*) financiado pela EDA (European Defence Agency). Este projecto Europeu, iniciado

em 2008, tem por objectivo definir as linhas directoras para um sistema capaz de ser aplicado em diferentes cenários e capaz de proteger instalações críticas de ataques com morteiros e outros dispositivos terra-terra de curto alcance.

## O futuro

Os LD são uma ferramenta simples e de custo reduzido, de interesse para uma FP primária. Como encandeadores, os lasers são actualmente utilizados no Iraque e Afeganistão, principalmente para distrair e desorientar possíveis oponentes a partir de uma distância segura e assim reduzir perdas humanas nos pontos de controlo. No entanto, a fronteira entre encandear e cegar é ténue e, actualmente, ninguém pode assegurar que um LD é 100% seguro para a visão: qualquer laser que é capaz de temporariamente cegar (i.e. encandear) um alvo numa dada situação pode facilmente tornar este efeito permanente noutra, dependendo de vários factores como a distância ao alvo, tempo de exposição, condições atmosféricas, dispositivos ópticos eventualmente existentes de permeio, entre outros. Embora os fabricantes tentem exaustivamente testar e provar que os seus produtos são seguros, a sensibilidade do público – em particular o Ocidental – para dispositivos militares que (potencialmente) provoquem cegueira continuará a ser uma limitação importante à aplicação dos LD à FP. Um futuro mais promissor para estes dispositivos será a sua aplicação na neutralização de sensores... sendo a neutralização de alvos humanos um eventual (e não assumido) uso secundário.

Como dispositivos defensivos contra mísseis, morteiros e foguetes, os lasers têm demonstrado o seu potencial em diversos programas de investigação. No entanto, a sua aplicação e implementação como um sistema efectivo na FP ainda apresenta alguns problemas para ultrapassar. A principal questão é a relação entre a dimensão do sistema e a potência emitida: a tecnologia testada até ao fim do século XX baseia-se em instalações complexas, caras e de grandes dimensões, dificilmente multiplicáveis por muitos locais estratégicos ou transportáveis. A vanguarda em termos de LE assenta no desenvolvimento de uma nova geração de lasers de elevada potência baseados na tecnologia de estado sólido. Actualmente, lasers em fibra e lasers de disco competem na demonstração do seu potencial e certamente num futuro próximo darão lugar a dispositivos de defesa eficazes face às novas ameaças e nos cenários diversificados em que a FP tem de operar.

- 1 T. A. Kinnan, "Force Protection", Air Force Doctrine Document 2-4.1, United States Air Force (1999).
- 2 D. A. Atchison, G. Smith, "Optics of the human eye", Butterworth-Heinemann, Edinburg, (2003).
- 3 ANSI Z136.1-2007, American National Standard for Safe Use of Lasers (2007).
- 4 L. A. Small, "Blinding Laser Weapons: It is Time for the International Community to Take off its Blinders" (1996); [http://www.icltd.org/laser\\_weapons.htm](http://www.icltd.org/laser_weapons.htm)
- 5 F. Smith, "Laser Dazzlers - Non Lethal Laser Weapons Used by Military and Law Enforcement Personnel", Ezine@rticles (2009); <http://ezinearticles.com/?Laser-Dazzlers---Non-Lethal-Laser-Weapons-Used-by-Military-and-Law-Enforcement-Personnel&id=1533562>
- 6 "No Longer Science Fiction Less Than Lethal & Directed Energy Weapons", Defence Update, International Online Defence Magazine, Issue 1, 5 (2005); <http://www.defense-update.com/features/du-1-05/NLW-DEW.htm>
- 7 "ForcePro Lasers", XADS (2009); <http://www.xtremeads.com/forceprolasers.htm>
- 8 W. Knight, "US military sets laser PHASRs to stun", New Scientist (Nov. 2005); <http://www.newscientist.com/article/dn8275>
- 9 "Saber 203", Defence Update, International Online Defence Magazine, Issue 1 (2005); <http://defense-update.com/products/s/saber-203.htm>
- 10 "Laser Dazzler", LE Systems Inc. (2009); <http://laserdazzler.net/>
- 11 "Laser Dazzlers", Orbital Vector (2006); <http://www.orbitalvector.com/Firearms/Laser%20Dazzlers/LASER%20DAZZLERS.htm>
- 12 S. G. Leonard, "Laser Options for National Missile Defense", A Research Report Submitted to the Faculty in Partial Fulfilment of the Graduation Requirements, Maxwell Air Force Base, Alabama (Abr. 1998).
- 13 R. J. Dunn III, "Operational Implications of Laser Weapons", Analysis Center Papers, Northrop Grumman, (Set. 2005).
- 14 R. Beach, L. Zapata, "Tactical laser Weapons for Defense", LDRD final report, U.S. Department of Energy (30 Jan. 2002).
- 15 T. J. Lincoln, "Directed Energy Weapons: Do We Have a Game Plan?", School of Advanced Military Studies, United States Army Command and General Staff College, Fort Leavenworth, Kansas (2004).
- 16 J. Stupl, G. Neuneck, "High Energy Lasers: A Sensible Choice for Future Weapon Systems?", Security Challenges 1(1), 135-153 (2005).
- 17 R. Laurenzo, "Company Proposes Ground Laser to Protect Jetliners", Global Security.org (2004); <http://www.globalsecurity.org/org/news/2004/040120-laser-jetliners.htm>
- 18 "All U.S. laser weapons project Resolution: Tips for pre-research is a leading" (2010); <http://www.comhaha.com/blog/518503-all-us-laser-weapons-project-resolution-tips-for-pre-research-is-a-leading/>



### João M. P. Coelho

Recebeu o seu diploma em Engenharia Física e de Materiais, em 1992, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e o doutoramento em Engenharia Física pelo Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, em 2003. Foi Investigador no INETI (1991-2009) e desde 2009 pertence ao Departamento de Física da Faculdade de

Ciências da Universidade de Lisboa. Realiza as suas actividades de Investigação no Laboratório de Óptica, Lasers e Sistemas, sendo igualmente membro do Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica. Os seus interesses de investigação incluem o processamento de materiais por laser, a propagação da luz nos meios, biofísica, projecto óptico e metrologia óptica. Nestas áreas, orienta estágios, mestrados e doutoramentos e é autor em mais de 60 artigos em publicações científicas.



### J. Cabrita Freitas

licenciado em Engenharia Mecânica pelo Instituto Superior Técnico em 1979, Investigador no INETI (1979-2009), pertence desde 2009 ao Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa desenvolvendo aí actividades de IDT no Laboratório de Óptica, Lasers e Sistemas. Coordenador das actividades de Segurança e Defesa no INETI, 2006-2008.

Representante nacional junto da Comissão Europeia para a publicação do Green Paper on Defence Procurement, 2004-2006. Director do Departamento de Optoelectrónica do INETI, 1998-2007. Coordenador do Grupo de Marketing e Engenharia do Departamento de Optoelectrónica do INETI, 1994-1998. Autor de inúmeras comunicações e publicações científicas, recebeu o prémio de Inovação atribuído pela ANIMEE por três vezes, 1989, 1993 e 1995. Os seus interesses de investigação incluem a utilização das tecnologias ópticas e laser para aplicações industriais e de segurança e defesa.