

# A Física ao serviço da saúde

---

A Física tem estado ao serviço da saúde desde o seu início como disciplina científica. Curiosamente, a medicina moderna surgiu ao mesmo tempo que a Física. O “pai” da Física, o italiano Galileu Galilei (1564-1642), foi estudante de Medicina na Universidade de Pisa, e entre os instrumentos que mais tarde desenvolveu conta-se um termómetro, que mais não era do que um recipiente de um gás que se expandia ao contacto com as mãos.

por *Carlos Fiolhais*

De entre as várias descobertas e invenções que a Física proporcionou às áreas da saúde, a começar pela medicina, merecem destaque as várias formas de ver o interior do corpo humano por meio de luz invisível. Os equipamentos que hoje se encontram nos hospitais usando raios X, raios gama e ondas de rádio (ressonância magnética), todas elas formas de luz invisível, tiveram os seus primórdios no final do século XIX, quando foram descobertas as radiações de menores comprimentos de onda, mais energéticas e por isso mais penetrantes, descobertas que abriram caminho à identificação do núcleo atômico e a todos os extraordinários desenvolvimentos científicos e tecnológicos que a física nuclear possibilitou. Esboçamos aqui a história dessas descobertas e ilustramos algumas das possibilidades que elas abriram, em particular práticas correntes nos hospitais e laboratórios médicos de hoje.

Um outro grande contributo da física no sentido de promoção da saúde foi aquele que permitiu, usando raios X, a meio do século XX, a revelação da estrutura da molécula do ADN. Grandes desenvolvimentos tanto da bioquímica como dos meios informáticos conduziram, já no século XXI, à sequenciação completa do genoma humano, que está a abrir novas possibilidades para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças. Podemos hoje falar de Revolução Genética, uma vez que vivemos no limiar de uma era em que o *big data* genómico permitirá melhor prevenção e melhores cuidados de saúde, no quadro do que se convencionou chamar “medicina personalizada”. Discutiremos alguns dos meios disponíveis nesta área e algumas das possibilidades em aberto, sem deixar de referir os riscos potenciais associadas a essas novas tecnologias.

Se os métodos de observação do interior do corpo humano se tornaram de algum modo banais em equipamentos e instalações hospitalares, é facilmente previsível que os referidos novos avanços da genética, combinados com continuados avanços da informática, como os algoritmos da inteligência artificial, venham a alterar instalações e equipamentos hospitalares, colocando novos desafios aos engenheiros e gestores hospitalares.

### Ver com os raios X

Foi o físico alemão Wilhelm Roentgen (1845-1923), Prémio Nobel da Física em 1901 (tratou-se do primeiro laureado Nobel na Física) quem, no final do ano de 1895, descobriu os raios X. Estava a realizar experiências de raios catódicos (descargas de feixes de electrões em gases numa ampola) quando reparou que uma chapa fotográfica fechada numa gaveta aparecia impressiionada. Só podia tratar-se do resultado de uma radiação invisível. Colocado um objecto opaco, como uma mão, no caminho entre a ampola e a chapa fotográfica, para analisar as propriedades dessa radiação, observou uma sombra, que, no caso da mão, era a estrutura óssea. Pela primeira vez, conseguia-se realizar fotografias de corpos opacos! Depois das mãos de Roentgen e da sua senhora, outras observações do corpo humano se seguiram realizadas por outras pessoas. Uma vez que o potencial médico da nova e misteriosa radiação foi rapidamente percebido, os aparelhos de raios X começaram a ser instalados nos hospitais. De facto, começaram também a aparecer noutros sítios, incluindo em salas de espec-

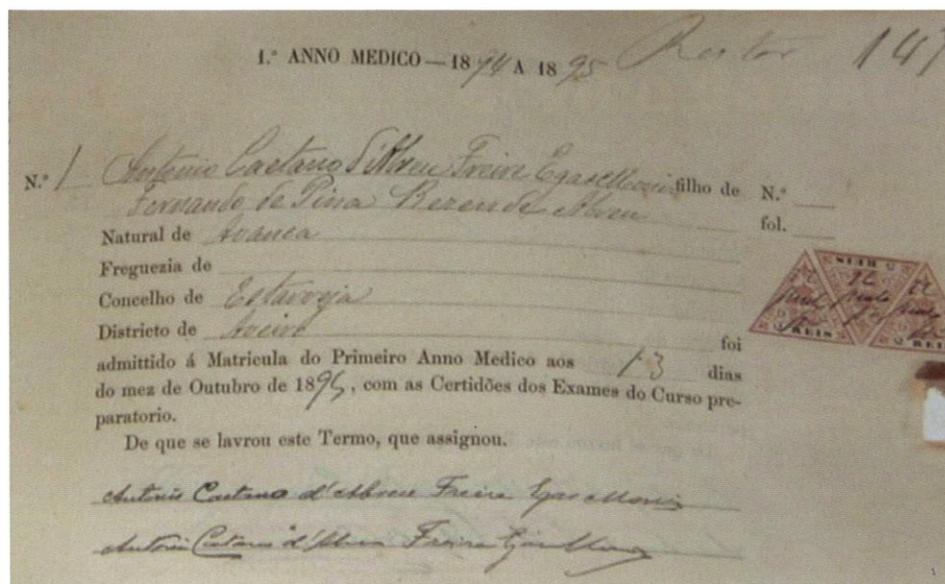


**Figura 1** Primeira imagem em raios X feita em Portugal por Henrique Teixeira Bastos na Universidade de Coimbra.

Fonte: Museu de Ciência da Universidade de Coimbra.

táculos que anunciavam “a maior descoberta científica da nossa era,” que permitia, por exemplo, ver as moedas no interior de uma carteira sem a abrir. Na época não se sabia da estrutura dos átomos que constituem toda a matéria normal, mas hoje sabemos que são os choques dos electrões que bombardeiam um material com os electrões mais internos de um átomo que criam lacunas electrónicas, que são preenchidas por electrões mais externos, com emissão de uma radiação muito energética, precisamente os raios X.

Os raios X chegaram rapidamente a Portugal. Logo em Fevereiro de 1896 era repetida na Universidade de Coimbra a experiência de Roentgen, pois o equipamento necessário era simples e estava disponível. O lente de física, que ensinava os estudantes dos primeiros anos de medicina (a física destinava-se então apenas à formação geral dos futuros médicos), era Henrique Teixeira Bastos (1861-1943), que ensinava no Colégio de Jesus, não muito longe do hospital universitário (Fig.1). Um dos alunos que assistiu às lições daquele lente, que incluíram a demonstração dos recém-descobertos raios X, foi António Egas



**Figura 2** Ficha que comprova a matrícula de António Egas Moniz no 1.º ano médico na Universidade de Coimbra em 1894-1895.

Fonte: Arquivo da Universidade de Coimbra.

Moniz (1874-1955), o médico que haveria de receber o Prémio Nobel da Medicina em 1949 (Fig. 2). O prémio foi-lhe atribuído pelo desenvolvimento de uma técnica de cirurgia cerebral, mas poderia ter sido dado – e mesmo antes – por uma técnica de visualização das artérias do cérebro que ele propôs recorrendo a raios X, designado por arteriografia cerebral. Por outras palavras, os raios X acompanharam-no na vida. Hoje em dia os raios X são usados rotineiramente para fazer exames TAC (Tomografia Axial Computorizada) que permitem reconstruções tridimensionais do interior do organismo.

### Ver com raios gama

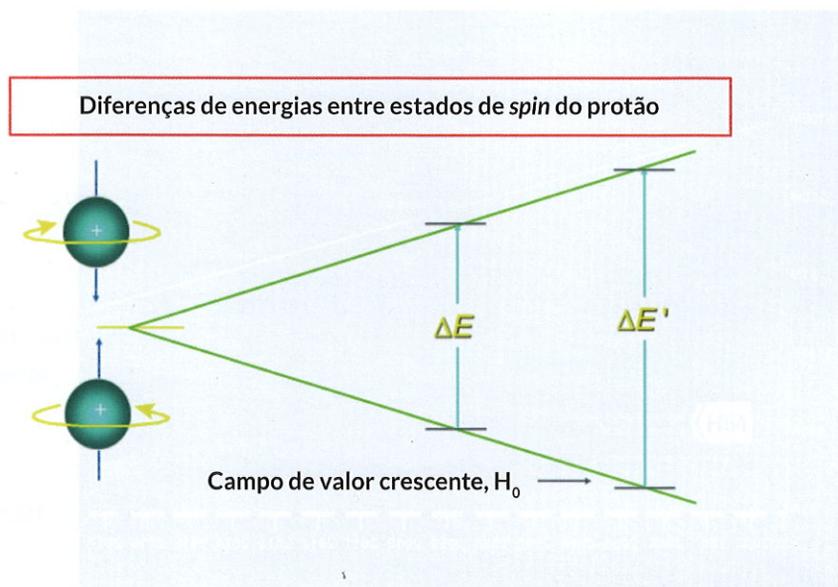
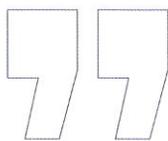
Em 1896, pouco depois da descoberta dos raios X, o físico francês Antoine Henri-Becquerel (1852-1903), que haveria de ser prémio Nobel da Física em 1903 juntamente com o casal Pierre Curie (1859-1906) e Marie Curie (1867-1934), reparou, talvez por acaso como porventura aconteceu com os raios X, que alguns minerais do Museu de História Natural em Paris emitiam uma luz invisível, mais uma vez revelada por uma placa fotográfica fechada, mesmo quando esses minerais não tinham sido expostos an-

tes a luz solar (Becquerel estava interessado no fenómeno da fluorescência, que consiste na devolução da radiação recebida). Hoje chamamos radioactivos a minerais desse tipo. Sabemos que a sua radiação é ainda mais energética que a dos raios X e, portanto, mais penetrante: ela vem do interior de núcleos atómicos instáveis, podendo ser acompanhada por outros tipos de radiação, como os raios beta (electrões, semelhantes aos raios catódicos) e raios alfa (núcleos de hélio). Madame Curie, de início com o seu marido e depois sozinha, realizou um trabalho notável para isolar e analisar uma pequena quantidade de novos elementos químicos, que foram chamados polónio e rádio, o primeiro em homenagem à sua terra natal e o segundo à sua capacidade de emitir raios. Haveria de juntar ao Nobel da Física o da Química, em 1911, e haveria de auxiliar doentes, durante a Primeira Guerra Mundial, usando equipamentos de raios X. Sofreu na própria pele as consequências da radiação. Os raios gama são mais perigosos do que os raios X, mas podem ser aproveitados para terapêutica, sendo hoje usados para o tratamento de certos tumores cancerígenos. Por outro lado, uma técnica de diagnóstico que recorre também a raios gama baseia-se na ingestão, em pequenas doses, de uma substância radioactiva, que, posta a

circular pelo organismo, proporciona, devido a emissões gama, imagens do funcionamento fisiológico humano.

Os raios gama aparecem também quando, em obediência à mais famosa das equações ( $E = mc^2$ ) do germano-suíço Albert Einstein (1879-1955), a matéria colide com a antimatéria, desaparecendo as duas para dar lugar a energia. A antimatéria é em tudo igual à matéria excepto pela sua carga contrária: assim, ao electrão presente nos átomos, que é negativo, corresponde o positrão, que é positivo. Foi o físico inglês Paul Dirac (1902-1984) quem, em 1928, ao resolver uma equação que descrevia o electrão de um modo simultaneamente quântico e relativista, revelou a existência, de início apenas teórica, do positrão. Dirac recebeu pela proposta e resolução dessa equação o Nobel da Física de 1933, ainda antes de o positrão ter passado de uma mera possibilidade teórica a partícula comprovada, ao ser observado nos raios cósmicos. Uma técnica engenhosa para ver o interior do corpo humano foi desenvolvida nos anos 70, recorrendo aos positrões. Submetem-se os tecidos que se querem estudar a um feixe positrónico (proveniente de núcleos emissores de positrões em vez de electrões). Ao colidirem com os electrões presentes nos átomos das moléculas biológicas surgem

(...) é facilmente previsível que os referidos novos avanços da genética, combinados com continuados avanços da informática, (...) venham a alterar instalações e equipamentos hospitalares, colocando novos desafios aos engenheiros e gestores hospitalares



**Figura 3** Dependência dos dois estados energéticos de um próton (com *spin* para cima e *spin* para baixo) com a intensidade de um campo magnético.

dois feixes gama, de energia característica, na mesma direcção e em sentidos opostos. Detectores gama em volta do paciente permitem saber o ponto preciso de onde vieram os raios gamas, isto é, onde desapareceram electrão e o positrão. Esta técnica, designada por PET (de *Positron Emission Tomography*), foi o primeiro método a fornecer informação funcional sobre o cérebro, uma vez que proporciona imagens que, quando comparadas com imagens de um órgão normal, permite o reconhecimento de anomalias no metabolismo. Com este procedimento pode-se, por exemplo, identificar um cérebro com a doença de Alzheimer.

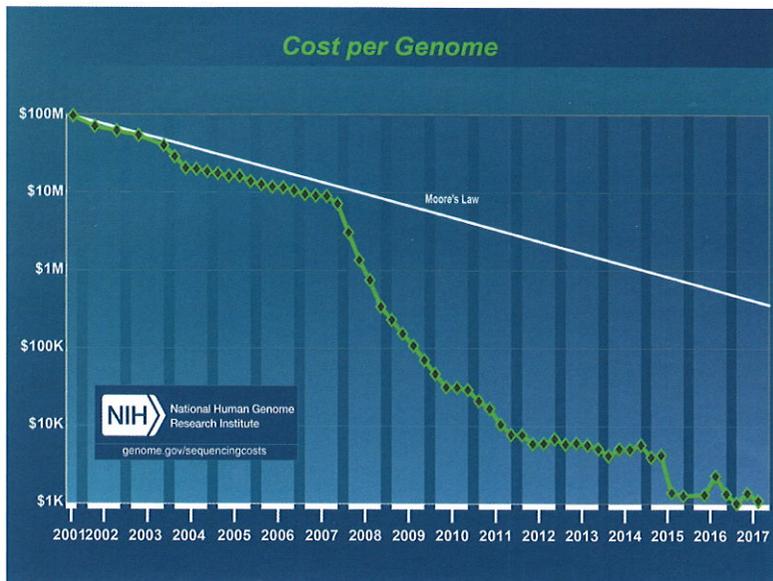
### Ver com ondas de rádio

A ressonância magnética (RM) usa ondas de rádio como meio de visualização. As partículas que recebem e emitem os ondas de rádio são os prótons, ou núcleos do átomo de hidrogénio, que estão presentes por todo o organismo humano (designadamente na água,  $H_2O$ ). Os prótons têm um momento magnético, isto é, comportam-se como pequenos ímanes, que podem ser “mandados” alinhar pelo grande magnete exterior existente em todos os equipamentos deste tipo. Dizemos que os prótons, tal como os

electrões, têm *spin*, uma propriedade prevista pela equação de Dirac para além da existência de antimatéria. O campo magnético faz com que alguns *spins* fiquem paralelos ao campo enquanto os restantes ficam antiparalelos. As diferenças de energia entre os estados do *spin* alinhado e do *spin* desalinhado aumentam com a intensidade do campo (Fig.3). Ondas de rádio permitem excitar prótons para o estado de energia mais alta (com os *spins* desalinhados), podendo eles depois decair para o estado de energia mais baixa, emitindo ondas de rádio semelhantes às que foram usadas na excitação, ondas essas que são recolhidas por antenas. Como o campo magnético não é uniforme e como a diferença de energia entre estados depende do valor do campo, pode-se saber onde estão localizados os prótons do corpo humano. A partir do conjunto das ondas de rádio recolhidas, podemos produzir imagens de tecidos, semelhantes às de raios X, mas com a vantagem de permitir a observação de tecidos moles. Uma vantagem ainda mais importante é que, por serem ionizantes, as ondas de rádio são inócuas para o organismo. Quer dizer, a energia das ondas de rádio não é suficiente para arrancar electrões dos átomos.

As ondas de rádio ou hertzianas foram descobertas em 1884 pelo físico alemão Hein-

rich Hertz (1857-1894), que não viveu o suficiente para receber um prémio Nobel. A sua descoberta confirmou a previsão feita em 1865 pelo físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) de que podiam existir ondas de luz ou electromagnéticas de qualquer comprimento de onda: as ondas de rádio são as de maior comprimento de onda, ao passo que os raios gama são os de menor comprimento de onda, tendo os raios X comprimentos de onda um pouco menores do que os dos raios gama. Tal como se verifica emissão ou absorção de luz nos “saltos” de electrões nos átomos, que pode ser visível, ultravioleta ou raios X, verifica-se emissão ou absorção de raios gama nos “saltos” de prótons ou neutrões nos núcleos. As ondas de rádio referem-se a transições entre níveis de energia muito próximos de um próton, que surgem devido ao campo magnético. A técnica de RM já proporcionou vários Nobel: O germano-americano Otto Stern (1888-1969), Nobel da Física em 1942, foi o primeiro a descobrir o momento magnético do próton. A seguir, o norte-americano Isidor Rabi (1898-1988) foi o primeiro a desenvolver o método de ressonância para registar as propriedades magnéticas dos núcleos atómicos, tendo recebido o Nobel da Física em 1943. Só muitos anos volvidos as aplicações na medicina se



**Figura 4** Evolução do custo da sequenciação do genoma humano.

Fonte: National Human Genome Research Institute.

tornaram viáveis: o primeiro físico a receber o Nobel da Medicina foi, em 2003, o inglês Peter Mansfield (1933-2017) que, com o químico norte-americano Paul Lauterbur (1912-1997) permitiram, com os desenvolvimentos que realizaram da RM, a sua aplicação generalizada.

### A Física e a Revolução genética

No interior de cada uma das células do nosso corpo reside o código da vida, o registo da nossa identidade biológica escrita com quatro letras (A, T, G e C), que são grupos químicos chamadas bases (adenina, timina, guanina e citosina) que se sucedem ao longo de uma molécula muito extensa, o ADN. A descoberta da estrutura em dupla hélice dessa molécula foi realizada em 1953 pelo físico inglês Francis Crick (1916-2004) e pelo biólogo americano James Watson (n. 1928). Os dois receberam o Nobel da Medicina em 1962. Os raios X, tal como permitem ver o interior do corpo humano, permitem também ver o interior de um cristal, como um formado por moléculas de ADN empacotadas. O bioquímico inglês Frederick Sanger (1918-2013) foi o primeiro a sequenciar o ADN de um organismo simples, o bacteriófago Phi X 174, que tem

5286 bases, agrupadas em 11 genes (genes são agrupamentos de bases, que contêm a "receita" de produção de proteínas). Sanger foi até hoje o único laureado com dois Nobel da Química: o segundo foi-lhe dado em 1980 pela sequenciação do genoma e o primeiro tinha sido dado em 1958 pela revelação da estrutura de uma proteína, a insulina.

O Projecto do Genoma Humano, um dos maiores empreendimentos científicos dos nossos tempos, teve lugar entre 1990 e 2003: destinou-se a mapear todos os genes do ADN humano. Incluiu mais de 5000 cientistas, de 250 laboratórios. Concluiu que os 23 cromossomas humanos tinham cerca de 3 mil milhões pares de bases, 20 000 genes, com o total de 800 megabytes de informação, o que corresponde a cerca de 1 CD (da qual menos de 0,1 por cento é verdadeiramente individual, sendo o resto um padrão da espécie humana).

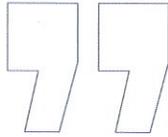
Desenvolvimentos bioquímicos e informáticos permitiram uma enorme queda do preço da sequenciação genómica, o que permitiu aumentar o número de genomas disponíveis para análise (Fig.4). De 1990-2007, na chamada 1.ª geração de sequenciação, o custo de um genoma era de 10 milhões de dólares, de 2007-2011 passou-se para a 2.ª geração, na qual o custo caiu para 5000 dólares. Fi-

nalmente, desde 2014 vive-se a 3.ª geração com a sequenciação do genoma a custar menos de 1000 dólares. Ela custa hoje cerca de 700 dólares. O objectivo actual é atingir o preço de cem dólares.

Começou assim a estudar-se relação entre genes e doenças ou, nalguns casos, a predisposição para doenças. É a presença de algumas variações genéticas que proporciona, ou pelo menos favorece, o desenvolvimento de algumas doenças. Por outro lado, a dose de alguns fármacos deve ser adequada ao perfil genético de cada pessoa, pois cada indivíduo metaboliza a um ritmo diferente do de outros. O projecto "1000 Genomas" recolheu dados sobre a diversidade genética da humanidade. Novas tecnologias, designadamente na área da nanotecnologia, prometem baixar ainda mais o preço da sequenciação e assim permitir a acesso a este tipo de tecnologia por parte de mais pessoas. Tais tecnologias somam-se a avanços na área do software, que permitem tratar grandes quantidades de dados, recorrendo por exemplo à inteligência artificial. A ideia consiste em aprender sobre a nossa biologia e sobre a nossa saúde à medida que o tratamento de uma quantidade impressionante de dados avança.

Ninguém sabe como vão ser os hospitais do futuro, mas não é arriscada a previsão

Este tipo de questões são sociais, não podendo ser deixadas a cientistas, engenheiros e gestores. São questões que, nas sociedades democráticas, têm de ser decididas por todos.



de que a genética e a inteligência artificial desempenharão neles um papel. O médico tomará decisões cada vez mais ajudadas por máquinas. Existem decerto questões éticas, legais, económicas e políticas sobre a utilização de dados genómicos. Colocam-se já hoje novas questões, que têm necessariamente de ser informadas pela ética, relativas às possibilidades de edição genética. Recentemente, um médico chinês anunciou que tinha usado uma nova técnica, o CRISP, para fazer um certo tipo de melhoramento

genético de embriões humanos, sem existir uma base legal para o procedimento. Este tipo de questões são sociais, não podendo ser deixadas a cientistas, engenheiros e gestores. São questões que, nas sociedades democráticas, têm de ser decididas por todos. ■■

O Professor Carlos Fiolhais escreve de acordo com a antiga ortografia.

### Referências

- BERNARDO, Luís Miguel, *Histórias da luz e das cores: lenda, superstição, magia, história, ciência, técnica* Porto: Universidade do Porto, 2005-2010. 3 vols.
- *Centenário da descoberta dos Raios X e da 1.ª radiografia em Portugal feita na Universidade de Coimbra* [Coimbra]: Gráfica de Coimbra, 1996.
- FIOLHAIS, Carlos, in *Em torno da vida e obra de Pierre e Marie Currie*, Coimbra: Centro de Recursos da DREC, 1992.
- FIOLHAIS, Carlos; MARTINS, Décio Ruivo; FERNANDES, João; MIGUEL, Maria da Graça; MOTA, Paulo Gama; FAUSTO, Rui - *Segredos da luz e da matéria*. In Mota, Paulo Gama (coord.), *Museu da ciência luz e matéria* [catálogo], Coimbra: Universidade de Coimbra, 2006.
- RIDLEY, Matt, *Genoma: autobiografia de uma espécie em 23 capítulos*. Lisboa: Gradiva, 2001



**Carlos Fiolhais**

Doutorado em Física Teórica pela Universidade de Frankfurt/Main, Carlos Fiolhais é professor catedrático no Departamento de Física da Universidade de Coimbra e divulgador da ciência.

Os seus interesses científicos centram-se na Física Computacional da Matéria Condensada e na História das Ciências. Foi fundador e diretor do Centro de Física Computacional da Universidade de Coimbra. Diretor do Rómulo - Centro Ciência Viva da Universidade de Coimbra. É ainda responsável pelos programas de Educação e de Ciência e Inovação, da Fundação Francisco Manuel dos Santos. Carlos Fiolhais ganhou vários prémios e distinções, entre os quais um Globo de Ouro da SIC e a Ordem do Infante D. Henrique.



**AMARO 5000**  
Esterilizador a Vapor · Hospital e Laboratório

**LaVapor**  
Lavador - Desinfetador  
de Utensílios Hospitalares



Os tempos mudam, as grandes marcas evoluem... hoje e sempre mais perto do futuro.

Estrada das Ligeiras Lote 10, Alto da Bela Vista  
2735-337 - Cacém, Portugal Email: [info@ajcostairmaos.com](mailto:info@ajcostairmaos.com)  
Tel: 214266500 Site: [www.ajcostairmaos.com](http://www.ajcostairmaos.com)



A. J. Costa (Irmãos), Lda.