

# Dorothy Crowfoot Hodgkin – Estrutura 3D de biomoléculas –

Raquel Gonçalves Maia<sup>1</sup>

Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa  
rmcgonc@gmail.com

**Dorothy Crowfoot Hodgkin – 3D structure of biomolecules** – *Dorothy Crowfoot Hodgkin saw molecules as no one had seen them before. Her scientific knowledge, always enhanced throughout life, in conjunction with a brilliant intellect and a privileged intuition, allowed her to find always the best approach. With persistence, she decrypted the spatial position of the atoms of many biomolecules, viz. sterols and their derivatives, penicillin, vitamin B<sub>12</sub>, insulin. X-Ray crystallography was her exhaustive tool of analysis. She was remarkably good. Her findings provided a valuable contribution to understand the relationship between structure and function and, consequently, to the development of effective drugs.*

*To the fragility imparted by a severe rheumatoid arthritis she opposed with an intensely driven personality and a great joy of living. Her courage inspired in her collaborators – a true international community – a mental outlook to do more and better. She married, had children and grandchildren. The Nobel Prize in Chemistry was awarded to Dorothy Hodgkin in 1964 “for her determinations by X-ray techniques of the structures of important biochemical substances”; The newspaper The Daily Telegraph has thus announced: “£18,750 prize to mother of three”...*

*Dorothy Hodgkin embraced the cause of Peace. She was a great chemist and a citizen of the world.*

Dorothy Crowfoot Hodgkin viu as moléculas como ninguém as vira antes. Os seus conhecimentos científicos, sempre incrementados ao longo da vida, em conjugação com um intelecto brilhante e uma intuição privilegiada, indicavam-lhe a abordagem a seguir. Com persistência, decifrou o posicionamento espacial dos átomos de muitas biomoléculas: esteróis e seus derivados, penicilina, vitamina B<sub>12</sub>, insulina. A cristalografia de raios X foi o seu instrumento de análise. Era exímia. As suas descobertas foram um valioso contributo para entender a relação estrutura e função e, consequentemente, para o desenvolvimento de fármacos eficientes.

A fragilidade devida a artrite reumatóide opôs uma personalidade intensamente dirigida e uma enorme alegria de viver. A sua coragem inspirava nos seus colaboradores – uma verdadeira comunidade internacional – a atitude mental de fazer sempre mais e melhor. Casou, teve filhos e netos. Foi-lhe outorgado o Prémio Nobel da Química em 1964 “pelas suas determinações por técnicas de raios X das estruturas de substâncias bioquímicas importantes”; o jornal *The Daily Telegraph* assim o anunciou: “£18,750 prize to mother of three”...

Dorothy Hodgkin abraçou a causa da Paz. Foi uma grande química e uma cidadã do mundo.

## 1. Tudo é feito de átomos

Dossie, o carinhoso nome de infância da cientista Dorothy Mary Crowfoot, depois Hodgkin por casamento, tinha 10 anos quando viveu o espanto na sua primeira aula de química: formação e crescimento de cristais. Mais tarde dirá que, nesse dia, foi “cativada pela química e pelos cristais para toda a vida”.

Dorothy Crowfoot nascera na cidade do Cairo, no Egito, em 12 de maio de 1910. O pai, o conceituado arqueólogo John Winter Crowfoot, era filho de John Crowfoot, *Chancellor* da belíssima Catedral de Lincoln, em Inglaterra.

A família Crowfoot tinha cultura e interesses sociais elevados. Grace Mary Hood (Molly), a sua mãe, descendia de uma família rural educada e de bons recursos. Dorothy foi a mais velha de quatro irmãs.

Com o rebentar da Grande Guerra, logo após o nascimento da terceira filha, os pais tomam a decisão das meninas ficarem a morar em Inglaterra com a ama, perto da casa dos avós paternos, em Worthing, enquanto o casal continuaria a residir no Sudão. No período de seis anos,

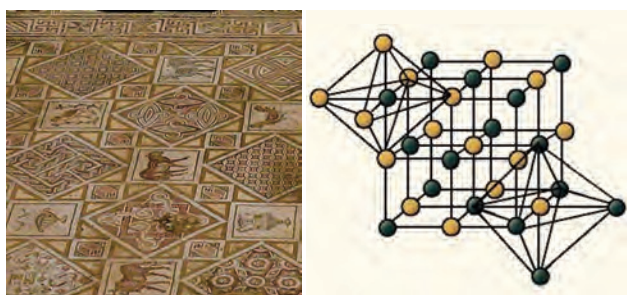


**Figura 1** – Molly, sentada, com as filhas: Joan, Dorothy, Diana e Elizabeth. De pé, provavelmente Katie Stevens, a ama das meninas (1919). Cortesia da família Hodgkin.

<sup>1</sup> Professora Catedrática aposentada

Molly fez uma rápida visita às filhas e o pai só as voltará a ver depois da guerra terminar. Não se depreenda, porém, que houve abandono, antes um exercício de liberdade e de responsabilidade. Em 1919, todos se reencontrarão em Worthing [1-4].

As experiências no sótão usurpado por Dossie, nos seus tempos livres, produzem invariavelmente estonteantes cristais. Todas as coisas são feitas de átomos e, no entanto, como se mostram diferentes umas das outras! A questão fundamental é a forma como se associam esses átomos, discorre a garota. Nos mosaicos de Jerash [5], que o seu pai explora e a deixa explorar, cada pequeno ladrilho, cada “átomo”, ocupa lugar próprio numa superfície em que a riqueza da combinação rompe a monotonia e determina a beleza do conjunto. E Dorothy imagina, “vê”, como seria emocionante atingir o conhecimento da disposição dos átomos numa molécula a três dimensões, onde cada peça não se mede em centímetros mas em angströms, e assim obter a sua estrutura espacial.



**Figura 2** – Pavimento em mosaico da Igreja de São Cosme e São Damião em Jerash (fragmento); Estrutura do cloreto de sódio.

Dorothy cresce. É agora uma jovem de traços delicados, loira e de olhos azuis, a lembrar os diáfanos anjos da Renascença italiana, com excelentes capacidades académicas que fazem dela uma candidata à Universidade de Oxford.

## 2. Oxford-Cambridge-Oxford

É a austeridade de *Somerville College* na Universidade de Oxford que a acolhe. E é no edifício do Museu de História Natural da universidade, o famoso museu onde se desenrolara, em 1860, a famosa batalha verbal entre Thomas Huxley, amigo de Charles Darwin e fervoroso adepto do evolucionismo, e Samuel Wilberforce, o Bispo de Oxford, um homem ofuscado pelas criações e criaturas perfeitas de Deus, que Dorothy realizará as suas primeiras experiências de determinação da estrutura atômica de cristais, com vista à obtenção do grau académico *BA Honours*; obteve “first class”, a classificação mais elevada [6].

Entretanto, estudara os físicos e as suas descobertas: Wilhelm Röntgen (1845-1923; Prémio Nobel da Física em 1901), Max von Laue (1879-1960; Prémio Nobel da Física em 1914), e William Bragg (1862-1942) e Lawrence Bragg (1890-1971), ambos recetores do Prémio Nobel da Física em 1915, que tinham, em sucessão, descoberto os raios X (1895), verificado que tais ondas, altamente energéticas, eram difratadas por cristais (1913) e que essa difração permitia, em casos simples, determinar a conformação, o valor dos ângulos e mesmo as distâncias dos átomos na

rede cristalina (1914); depois, analisara os cristalógrafos moleculares e os seus avanços: William Astbury (1898-1961), Kathleen Lonsdale (1903-1971) e Desmond Bernal (1901-1971) em particular que, no laboratório de investigação Davy-Faraday da *Royal Institution* em Londres, sob a direção de William Bragg desde 1923, tentavam descortinar a estrutura de moléculas inorgânicas e mesmo orgânicas, complexas, utilizando a técnica de difração de raios X.

Escolhe professores e aulas a assistir: a química física de (Sir) Cyril Hinshelwood (1897-1967; Prémio Nobel da Química em 1956), onde o rigor da termodinâmica invade as reações químicas, e a química orgânica de (Sir) Robert Robinson (1886-1975; Prémio Nobel da Química em 1947), onde a síntese e os seus mecanismos brilham e ajudam a definir o arranjo dos átomos em muitas moléculas. A biblioteca é outra fonte de informação. Aí descobre o norte-americano Linus Pauling (1901-1994; Prémio Nobel da Química em 1954 e Prémio Nobel da Paz em 1962) que tão bem explica como os átomos e as moléculas se interligam e reagem entre si [7,8].

A sua próxima grande aventura científica vai passá-la no laboratório de Desmond Bernal, o “*Sage*”, na Universidade de Cambridge. O “*Sage*” era uma personagem fascinante, de um elevadíssimo estatuto intelectual, uma memória brilhante e uma irreverência social que tocava o absurdo ao senso comum [9,10].



© Birkbeck History collection, Birkbeck, University of London.

**Figura 3** – Dorothy Hodgkin e Desmond Bernal.

Em Cambridge, Dorothy passou dois anos maravilhosos. Com a independência financeira proporcionada por uma bolsa de estudo e uma mesada de sua tia, pôde dedicar-se ao exame dos cristais que Bernal lhe indica e escolher os adequados para análise; depois, a aparelhagem de difração de raios X era, ao tempo, “soberba”! A decifração estrutural de esteróis e seus derivados, álcoois policíclicos com muito interesse biológico, foi o tema da sua tese de doutoramento (1937): colesterol, ergosterol, ergocalciferol (vitamina  $D_2$ ), testosterona e progesterona (hormonas sexuais) e tantos outros. Da profícua colaboração com Bernal, surgiu ainda a primeira fotografia obtida por difração de raios X de um cristal de proteína, a enzima pepsina, com a disposição espacial dos átomos parcialmente descodificada. Os artigos científicos sucederam-se e o prestígio de Dorothy veio para ficar.

*Somerville College* apercebe-se que perdeu uma cientista da mais pura gema. Tenta recuperá-la. Oferece-lhe uma bolsa de investigação, independência de orientação temática, equipamento apropriado e fundos para pesquisa; uma eventual subida na carreira de investigação e um número reduzido de aulas a ministrar. Hoje, o que a Universidade de Oxford lhe apresentou parece pouco, mas na época tal convite a uma jovem mulher investigadora representava mesmo muito.

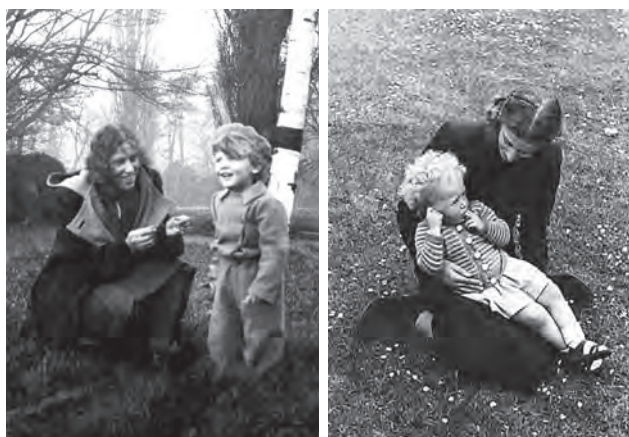
Dorothy aceita, relutantemente. Deixa para trás um período áureo de descoberta científica e pessoal. E o futuro? O futuro mostrará que a sua plenitude teria de desabrochar longe de Bernal. Não, Dorothy Crowfoot era muito mais do que a prendada pupila do “*Sage*”.

### 3. Dorothy in love

Com Conrad Hal Waddington (Wad), paleontologista e geneticista, homem de vasta cultura pertencente ao círculo de pensadores liderado por Bernal, terá tido Dorothy o seu primeiro episódio romanesco. Mas, se “Wad” era extraordinário, o que dizer de Desmond Bernal? Bernal era admirável, o brilho da sua mente arrebatador. Quando se terá apercebido Dorothy da complexidade da sua relação emocional com o *Sage*? Com ele manteve durante algum tempo uma íntima relação. Ficaram amigos para toda a vida.

Na primavera de 1937, Dorothy conhece Thomas Lionel Hodgkin (1910-1982), um jovem da sua idade, licenciado em “*Greats*” (Humanidades) pela Universidade de Oxford. Casaram em dezembro. Thomas trabalhava, então, como professor de História em West Cumberland, a cerca de 480 km de Oxford – ver-se-iam aos fins de semana e durante as férias [11]. Dorothy, era certo, não abandonaria a sua tão querida investigação, tantos cristais para estudar, tanta ciência por decifrar...

Um ano depois nascia o primeiro filho do casal, Luke Howard como o seu famoso trisavô considerado “o pai da meteorologia britânica” [12]. E, agora, perguntou-lhe a irmã mais nova: “Queres mais a criança ou mais *Somerville*?” Para Dorothy a questão não se punha: queria ambos e teria ambos. Dorothy e Thomas tiveram mais dois filhos: Prudence Elizabeth (Liz), que nasceu em 1941, e John Robin Tobias (Toby), em 1946 [13].



© AIP Emilio Segre Visual Archives, Fankuchen Collection. Cortesia da família Hodgkin.

**Figura 4** – Dorothy Hodgkin com o filho Luke e com a filha Liz.

### 4. Estruturas 3D

A pepsina era uma pequena proteína, não mais do que 44 aminoácidos, mas a sua descodificação 3D, ainda que parcial, permitia sonhar com a solução de superiores complexidades. E com as variadas funções que as grandes moléculas desempenham nos organismos. Da química para além da química...

Dorothy Hodgkin fez do sonho realidade. Não foi fácil, mas o seu espírito arguto e estudo intenso, manteve-a sempre a par de toda a evolução metodológica e técnica, que ela desde logo experimentava e integrava no seu grupo de investigação. Neste contexto, diremos apenas que as “transformadas de Fourier”, a “função de Patterson” e as “tiras Beevers-Lipson” foram fundamentais [14].

O primeiro desafio veio pela mão de Robert Robinson: cristais de uma nova proteína, obtidos por Frank Pyman (1882-1944), professor de química orgânica na Universidade de Manchester, que integrava agora a *Boots Pure Drug Company*, em Nottingham. Tratava-se de insulina. Horas, dias, meses... e um cristal foi montado e submetido a radiação por largas horas. O instante em que se deu a revelação do padrão de manchas foi, disse-nos Dorothy, “um dos momentos mais emocionantes da minha vida”. 1935! A célula unitária da insulina apresentava-se como um “romboedro achatado”. Mas tanto havia ainda por saber sobre a hormona proteica tão fundamental na cruel diabetes. Qual seria a sua estrutura 3D, qual a sua ação, quais os seus centros ativos? A resolução, porém, terá de esperar, por desenvolvimento tecnológico, pela invenção do computador...

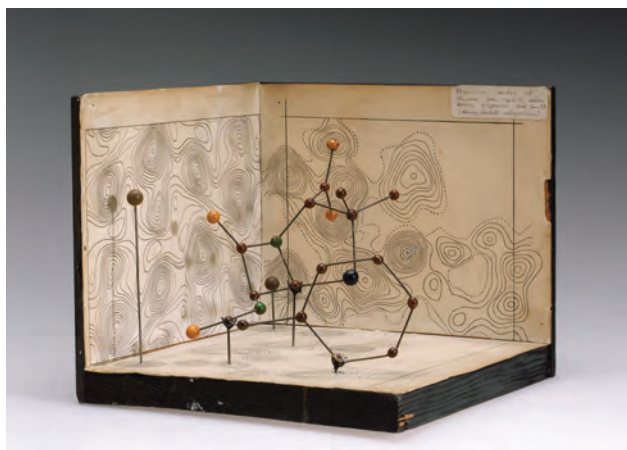
#### – Penicilina

Entretanto, a penicilina... Que produto “milagroso” era este? Qual a sua constituição atômico-molecular, como explicar a sua função? A molécula, porém, não cristalizava. Alexander Fleming (1881-1955; Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina em 1945) descobrira o antibiótico natural, em 1928. Depois, Howard Florey (1898-1968) e Ernest Chain (1906-1979), que com Fleming partilharam o Prémio Nobel, tinham aperfeiçoado e purificado o produto, o que permitira a sua comercialização. Salvaram-se muitas vidas.

Mas eis que, no *Squibb Institute for Medical Research* em Nova Jersey (EUA) produz-se “penicilina americana”, de facto benzilpenicilina ou penicilina G, que cristalizava. Em fevereiro de 1944, um avião militar transporta 10 mg do produto que serão entregues a Dorothy pela mão de Kathleen Lonsdale, a investigadora mais credenciada da *Royal Institution*. Entre o grupo de pesquisa de Dorothy, os laboratórios da ICI (*Imperial Chemical Industries*) em Northwich, o laboratório americano que fornecera o produto e desejava estar informado e um computador IBM, a estrutura da molécula da penicilina foi decifrada – três anos após o início do projeto.

Contra a maioria das opiniões, a molécula tinha uma configuração beta-lactama, isto é, continha um “anel” heteroatómico com três átomos de carbono e um de nitrogénio; era exatamente esse anel que conferia à penicilina as suas propriedades antibacterianas. Os antibióticos atuais que dão pelo nome genérico de “penicilinas” contêm o núcleo





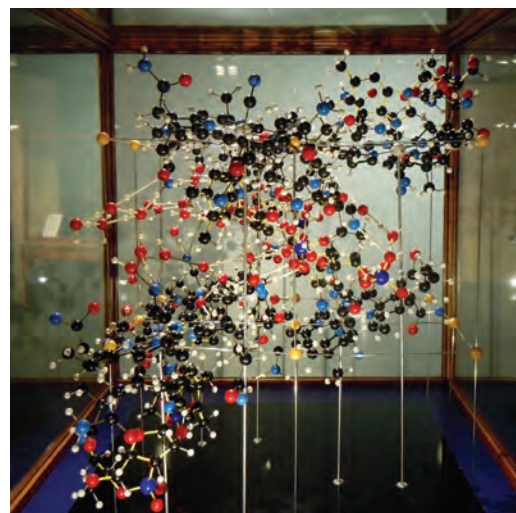
**Figura 5** – Modelo molecular do "núcleo" da penicilina por Dorothy Hodgkin (1945) sobre fundo de mapa de densidade eletrônica.

comum beta-lactâmico e uma região que varia conforme o subtipo.

#### – Vitamina B<sub>12</sub>

A molécula da vitamina B<sub>12</sub> era um alvo muito especial. Pelo menos desde 1926 que se sabia que os doentes com a terrível doença anemia perniciosa melhoravam com uma dieta que incluísse fígado. Foram os médicos George Whipple (1878-1976), George Minot (1885-1950) e William Murphy (1892-1987), que partilharam o Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina em 1934, que tal concluíram. Mas qual seria o agente ativo presente no fígado? Investigadores da Merck nos EUA conseguiram isolar e cristalizar o agente ativo em 1948 e, logo depois, foi a vez do químico britânico Lester Smith (1904-1992), na empresa farmacêutica *Glaxo Laboratories*, obter uns bonitos cristais pontiagudos e avermelhados, do agente ativo da vitamina B<sub>12</sub>. Recorreu a Dorothy, “ansioso por obter informação sobre a estrutura cristalográfica”. Tarefa difícil. Muito difícil... Mas, com o “código de honra” entre as firmas a funcionar a preceito, apesar da rivalidade pouco ética introduzida pelo químico Alexander Todd (1907-1997; Prémio Nobel da Química em 1957), Dorothy Hodgkin e a sua equipa de investigação conseguiram acomodar preciosamente no espaço os 63 átomos de carbono, 88 de hidrogénio, 14 de oxigénio e 14 de nitrogénio que integravam a molécula. 1955! Numa conferência em Bruxelas, Dorothy Hodgkin apresentou com todo o detalhe a estrutura tridimensional da molécula da vitamina B<sub>12</sub> [15]. Lawrence Bragg não se conteve: “Ela quebrou a barreira do som!”.

Em 1964, foi-lhe outorgado o bem merecido Prémio Nobel da Química “pelas suas determinações por técnicas de raios X das estruturas de substâncias bioquímicas importantes”. O jornal britânico *Daily Mail*, de índole conservadora, noticiou assim o acontecimento: “*Oxford housewife wins Nobel*”. Nas páginas do *The Daily Telegraph* podia ler-se “*British woman wins Nobel Prize – £18,750 prize to mother of three*”. Uma “mãe de três”, que facto extraordinário! Outros acrescentaram mesmo que se tratava de uma senhora com “olhar afável”, que tinha sido agraciada por uma competência completamente “*unhousewifely skill*”. Extraordinário... Mas não nos devemos admirar. Antes de Dorothy, apenas Marie Curie,



Fotografia de Kevan

**Figura 6** – Modelo molecular 3D da vitamina B<sub>12</sub>.

em 1911, e sua filha Irène Joliot-Curie, em 1935, tinham sido laureadas em Química.

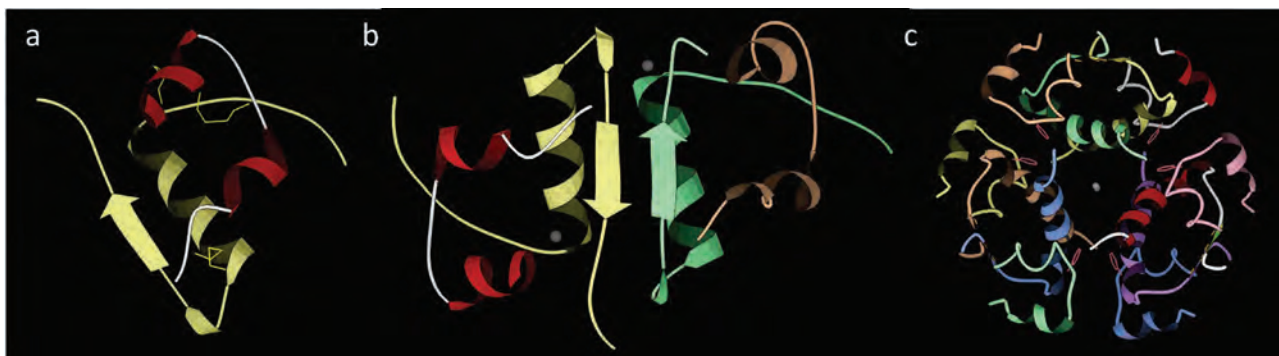
No período de 115 anos em que os prémios foram conferidos, quatro foram as mulheres que receberam o Prémio Nobel da Química – entre 172 laureados. Acrescente-se, às três que já nomeamos, o nome da cientista Ada Yonath que o recebeu em 2009.

#### – Insulina

A decifração estrutural da molécula de insulina não estava esquecida; continuava a fazer parte dos objetivos “em espera” de uma adequada evolução tecnológica. Em 1958, Frederick Sanger (1918-2013; Prémio Nobel da Química em 1958 e em 1980) tinha sequenciado os aminoácidos constituintes desta proteína, isto é, tinha desvendado a sua estrutura primária. Em 1961, Jørgen Schlichtkrull, bioquímico dinamarquês a trabalhar numa empresa de produtos farmacêuticos em Copenhaga, obtém cristais de insulina de porco; tinha um interesse muito particular no seu estudo estrutural, uma vez que tanto ele como uma sua filha sofriam de diabetes. Ofereceu os cristais a Dorothy. Decorreu algum tempo, mas um dia Dorothy, ao observar novos resultados de cristalografia de raios X, exclama: “*Yes, I can see it!*”. Desde a primeira tentativa de resolução tinham-se passado 27 anos...

Guy Dodson, Eleanor Dodson, Ted Baker, M. Vijayan, (Sir) Tom Blundell e muitos outros cientistas que integravam o grupo de pesquisa de Dorothy Hodgkin foram fundamentais na decifração estrutural da molécula – o seu monómero, muito ativo, o dímero e o hexâmero, este estável, assim sintetizado e conservado no pâncreas dos mamíferos. A porta abriu-se para a indústria farmacêutica poder acudir a todos os casos e tipos de manifestação da diabetes. Que grande passo em frente na saúde pública!

Em novembro de 1969, a revista *Nature* não poderia ter conseguido melhor motivo para celebrar o seu centenário do que a publicação do artigo fundamental da estrutura 3D da insulina. Eram 10 os seus autores e 23 os agradecimentos por contribuições; 257 os átomos de carbono, muitos mais de hidrogénio e cerca de uma centena de oxigénio, nitrogénio e enxofre corretamente colocados na sua posi-



Autor: Honfaichan

**Figura 7** – Estrutura 3D da insulina. a) monômero; b) dímero; c) hexâmero.

ção espacial. Dorothy fez questão de não deixar nada nem ninguém de fora. Posteriormente, foram incluídos refinamentos, que apenas vieram a introduzir superior precisão no valor de ângulos e distâncias entre átomos [16].

## 5. Cidadã do mundo

A suavidade do temperamento de Dorothy Hodgkin escondia uma alma apaixonada. Nem a artrite reumatóide, que progressivamente a foi consumindo, lhe retirou o gosto pela vida, pela investigação, pelas viagens, pelo seu semelhante.

“O laboratório de Dorothy Hodgkin era um paraíso cristalográfico e científico”, disse-nos o saudoso professor emérito da Universidade de York Guy Dodson (1937-2012), um dos ilustres discípulos de Dorothy Hodgkin. “Dorothy, a pessoa, transcendeu Dorothy, a cientista”, palavras de M. Vijayan, outros dos insígnis discípulos de Dorothy Hodgkin, presidente do Conselho de Investigação do *Indian Institute of Chemical Biology* [2,4].

Dorothy Hodgkin recebeu muitos prêmios e honras. Para além do Nobel, destaca-se a *Order of Merit*, o mais alto galardão que o monarca britânico pode conceder em reconhecimento de serviços distintos [17].

O seu idealismo e feição cívica demonstraram-se pelo seu empenhamento social e político. Assumiu a presidência das *Pugwash Conferences on Science and World Affairs* entre 1975 e 1988; lutou pelo desarmamento nuclear e pelo ajustamento económico entre “países ricos” e “países pobres”.

Dorothy faleceu em julho de 1994. Após a reforma, manteve durante vários anos o seu apartamento em Oxford, recheado de livros e modelos, e o contacto com muitos dos seus antigos colaboradores. Viajou. Esteve na Índia, na China, nos EUA, no Canadá, na Rússia e em quase todos os países da Europa... O legado de Dorothy Crowfoot Hodgkin estende-se aos dias de hoje. A química fundamental que praticou forneceu resultados de benefício incalculável para a humanidade. Pepsina, penicilina, colesterol, vitamina B<sub>12</sub>, insulina...

## Agradecimento

À família Hodgkin, em particular a Elizabeth Hodgkin, filha de Dorothy Crowfoot Hodgkin, pela amável disponibilização de algumas fotografias que ilustram este artigo.



© AIP Emilio Segre Visual Archives, Physics Today Collection

**Figura 8** – Dorothy Crowfoot Hodgkin (1964).

## Referências

- [1] G. Ferry, “Dorothy Hodgkin – A Life”, Granta Books, 3.<sup>a</sup> ed., Londres, 1999.
- [2] R. Gonçalves-Maia, “Dorothy Crowfoot Hodgkin – Pepsina, Penicilina, Colesterol, Vitamina B<sub>12</sub>, Insulina”, Edições Colibri, Lisboa, 2010.
- [3] L. Allington, L. Howson, S. Kenward, H. Lindow, L. Peach, “The Crowfoots of Beccles (1687-1996)”, Time Team-Your Town, Sir John Leman High School, ed. A. Copeman & J. Crowfoot, Beccles, 2014.
- [4] R. Gonçalves-Maia, “Hodgkin”, Série “Dos Átomos e das Moléculas”, n.º 4, LF Editorial, São Paulo, em publicação.
- [5] Jerash, Gerasa na Antiguidade, situada na Jordânia a cerca de 30 km da capital Amã, localidade arqueológica de exceção, conserva preciosas antiguidades neolíticas, do período clássico e bizantino, monumentos vários, templos e soberbos mosaicos.
- [6] A tese versava sobre a estrutura tridimensional de um grupo



de compostos organometálicos:  $TlR_2X$ , haletos ( $X$  = cloro, bromo e iodo) de tálio (Tl) com dois grupos alquilo ( $R$  = metilo e etilo); o *BA Honours* corresponde à nossa licenciatura.

- [7] R. Gonçalves-Maia, “Pauling”, Série “Dos Átomos e das Moléculas”, n.º 2, LF Editorial, São Paulo, 2015.
- [8] R. Gonçalves-Maia, *QUÍMICA – Boletim SPQ* **142** (2016) 35–39.
- [9] R. Gonçalves-Maia, “Bernal”, Série “Dos Átomos e das Moléculas”, n.º 3, LF Editorial, São Paulo, 2015.
- [10] R. Gonçalves-Maia, *QUÍMICA – Boletim SPQ* **143** (2016) 43–48.
- [11] Thomas Hodgkin veio a integrar a Universidade de Oxford como secretário da delegacia dos “*Extra-Mural Studies*”. Em 1952, porém, abandona o cargo em Oxford, viaja por África, passa algum tempo nos EUA (Illinois; *Northwestern University*) e no Canadá (Montreal; *McGill University*) e estabelece-se no Gana, onde trabalha na reforma universitária do país. Dorothy passou a residir um ou dois meses por ano no Gana. Aí recebeu um doutoramento honorário e um cognome que adorou: “Filha de África”. Só após 1965 Thomas regressará definitivamente a Oxford.
- [12] “Luke Howard and Cloud Names”, Royal Meteorological Society, <https://www.rmets.org/weather-and-climate/observing/luke-howard-and-cloud-names>
- [13] Luke Howard Hodgkin é professor aposentado de matemática do *King's College London*; Elizabeth Hodgkin, doutorada em história e diplomada em educação, lecionou na Zâmbia e no Sudão e trabalhou para a Amnistia Internacional; Toby Hodgkin é coordenador do *Agrobiodiversity Project*, do instituto de investigação *Biodiversity International* em Roma.
- [14] “Science of Crystal Structures – Highlights in Crystallography”, ed. I. Hargittai e B. Hargittai, Springer, Cham (2015).
- [15] D.C. Hodgkin, J. Pickworth, J.H. Robertson, K.N. Trueblood, R.J. Prosen, J.G. White, *Nature* **176** (1955) 325–328.
- [16] M.J. Adams, T.L. Blundell, E.J. Dodson, G.G. Dodson, M. Vijayan, E.N. Baker, M.M. Harding, D.C. Hodgkin, B. Rimmer, S. Sheat, *Nature* **224** (1969) 491–495.
- [17] A *Order of Merit* é restrita a um máximo de 24 beneficiários vivos.

Submit to your society's journals  
[www.chempubsoc.eu](http://www.chempubsoc.eu)

