



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br



As Fibras Ópticas, o Sensor CDD, e o Prêmio Nobel de Física (PNF) de 2009.

O PNF de 2009 foi compartilhado da seguinte maneira: metade ao físico norte-americano Charles Kuen Kao (n.1933) (nascido na China) pela sua descoberta de como transmitir luz por intermédio das fibras ópticas; e a segunda metade dividido entre os físicos, também norte-americanos, Willard Sterling Boyle (n.1924) (nascido no Canadá) e George Elwood Smith (n.1930), pela invenção do primeiro sensor de imagem digital, um circuito semiconductor de imagem, conhecido como sensor CDD (*Charge-Coupled Device*) (*Dispositivo de Carga-Emparelhada*). Vejamos como aconteceram essas descobertas.

Muito embora a passagem (certamente guiada por *reflexão total*) da luz em pedaços de vidros coloridos tivesse sido usada como decoração no Egito e na Mesopotâmia, cerca de milhares de anos antes de Cristo, a ideia de guiar a luz em um meio denso por intermédio da *reflexão total*, deve-se aos físicos, o suíço Jean-Jefe (Daniel) Colladon (1802-1893) e o francês Jacques Babinet (1794-1872) que, em 1842, e, independentemente, discutiram a possibilidade de guiar a luz em um jato de água ou mesmo em um tubo de vidro recurvado. Mais tarde, em 1870, o físico inglês John Tyndall (1820-1893) realizou uma experiência na qual guiava a luz em um jato de água que fluía entre dois recipientes. É oportuno registrar que a *reflexão total* da luz acontece quando ela passa de um meio mais denso para um meio menos denso, com um ângulo de incidência maior que o chamado *ângulo limite*: este é o ângulo de incidência que correspondente a um ângulo de refração igual a 90^0 .

No começo do Século 20, a ideia de transmitir luz em um meio denso voltou a ser objeto de pesquisa. Com efeito, em 1910 (*Annales de Physique Leipzig* 32, p. 465), o físico e químico holandês Petrus Joseph Wilhelm Debye (1884-1966; PNQ, 1936) e o físico grego Demetrius Hondros (1882-1962) publicaram um trabalho teórico sobre a possibilidade de transmissão de luz em um guia de onda dielétrico. Logo depois, em 1911 (*Bulletin de la Société Française de Minéralogie* 34, p. 71), o físico francês Charles Victor Mauguin (1878-1958) aventou a possibilidade de propagar a luz através de uma estrutura helicoidal. Mais tarde, em 1920 (*Annales de Physique Leipzig* 63, p. 645), O. Schriever publicou os primeiros trabalhos experimentais sobre a propagação de ondas eletromagnéticas em fios dielétricos, nos quais procurou testar os cálculos teóricos de Debye-Hondros. Em 1926, o engenheiro escocês John Logie Baird (1888-1946) – que havia inventado a *televisão*, em 1924 (vide verbete nesta série) - patenteou a ideia de transmitir imagens através de um cabo de vidro flexível. Note que, também na década de 1920, um feixe de filamentos maciços de vidro era usado para investigar o aparelho digestivo humano ou como periscópios flexíveis. Contudo, essas *fibras de vidro* eram muito fracas e não transmitiam muita luz e, às vezes, deixavam escapá-la pelo desgaste do atrito entre elas.

Estimulado pela experiência de Tyndall e considerando as deficiências da *fibra de vidro* apontadas acima, em 1952, o físico indiano Narinder Singh Kapany (n.1927) iniciou seus trabalhos que o levaram à invenção da fibra óptica: uma fibra de

vidro revestida por um material cujo índice de refração é um pouco menor do que a do vidro. Por sua vez, em 1954 (*Nature* 173, p. 39), o físico holandês Abraham Cornelis Sebastien van Heel (1899-1966) descreveu uma técnica para transmitir imagens ópticas sem aberração (perdas), empregando um guia dielétrico revestido com uma camada de material de baixo índice de refração. Seu objetivo estava relacionado apenas com o alinhamento de imagens. Aliás, nessa mesma *Nature* 173 e na mesma página 39, Kapany e o físico e matemático inglês Harold H. Hopkins (n.1918) (o inventor da *lente zoom*, em 1948) publicaram um trabalho no qual descreveram suas experiências com a transmissão de luz por intermédio de um dispositivo formado de um feixe de fibras ópticas; novas experiências com esse dispositivo foram descritas por Kapany e Hopkins, em 1955 (*Óptica Acta* 4, p. 164). Nessas pesquisas, eles usaram esse dispositivo para aplicações citoscópicas, por exemplo, examinar o trato (aparelho) digestivo humano. (Registre que Hopkins já pensara nesse problema em decorrência dos trabalhos que realizara, em 1943 e 1945, sobre a resolução de *microscópios* quando iluminado com luz polarizada). Em 1957, Kapany publicou artigos no *Journal of the Optical Society of America* 47, sobre a *tecnologia de fibras ópticas* que havia desenvolvido: isoladamente (p. 413); com J. A. Eyer e R. E. Keim (p. 423); com Hopkins (p. 594); e com J. N. Pike (p. 1109). Em 1961 (*Journal of Applied Physics* 32, p. 36), E. Snitzer apresentou uma proposta de como realizar uma *ação de laser* (sobre *laser*, ver verbete nesta série) em uma fibra óptica. Essa proposta foi concretizada, em 1964 (*Applied Optics* 3, p. 1182), quando Snitzer e C. J. Koester conseguiram uma *ação laser* em uma *fibra de vidro* dopada com neodímio (Nd). É interessante notar que, na primeira metade da década de 1960, as fibras ópticas utilizadas apresentavam uma alta atenuação expressa em db/m [db = decibel = b/10; o *bel* (b) é uma unidade adimensional que exprime o quociente entre duas potências (elétrica ou acústica), sendo uma de referência; o número de *bels* é dado pelo logaritmo decimal daquele quociente]. Com efeito, apenas cerca de um por cento (1%) de luz era transmitida em cada 20 metros de fibra. Em vista disso, outras tecnologias de transmissão óptica foram então sendo desenvolvidas.

Agora, vejamos o trabalho de Kao que o levou a ganhar a metade do PNF2009. Kao se graduou em Engenharia Elétrica na *Universidade de Londres*, em 1957, e nessa mesma Universidade defendeu sua Tese de Doutorado (Quasi-Optical Waveguides), em 1965, sob a orientação do físico australiano Antoni Emil Karbowiak (n.1923) que dirigia um grupo de pesquisas em comunicação óptica no *Standard Telecommunications Laboratories Ltd.* (STL), em Harlow, na Inglaterra, no qual Kao trabalhava desde 1960. Observe que o STL era uma subsidiária da indústria norte-americana *International Telephone and Telegraph Corporation* (ITT). Quando Karbowiak decidiu voltar para a Austrália, sugeriu a Kao que iniciasse um pequeno grupo de pesquisas para investigar o mecanismo de dissipação de materiais dielétricos usados em fibras ópticas. Kao passou então a trabalhar com o físico e engenheiro inglês George Alfred Hockham (n.1938); este, junto com Karbowiak, no STL, desde 1961, estudava as perdas em fibras dielétricas [com diâmetro da ordem $1 \mu\text{m}$ ($= 10^{-6} \text{ m}$)], em decorrência das descontinuidades das mesmas e de impurezas. Para contornar essa perda, Hockham revestiu as fibras de dielétricos com um material transparente, ou seja, com dado índice de refração. Então, Kao e Hockham começaram a pesquisar não só a Física dessas guias, mas, principalmente, as propriedades dos materiais usados em sua fabricação. Kao, por sua vez, resolveu investigar as perdas em vidro para ver se as mesmas pudessem ser diminuídas. Assim, em junho de 1966 (*Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers* 113, p. 1151), eles publicaram o artigo intitulado Dielectric-Fibre Surface

Waveguides for Optical Frequencies, no qual propuseram a comunicação óptica através de *fibras de vidro* revestidas. É oportuno destacar que, em setembro de 1966 (*L'Onde Electrique* 46, p. 967), A. Werts fez uma proposta análoga para *fibras de vidro*, no qual citou o artigo de Kao e Hockham, quando discutiu a perda óptica nessas fibras.

No artigo que Kao escreveu com Hockham referido acima, Kao afirmou: *-...uma fibra de material de vidro construída em uma estrutura revestida ... representa uma possível guia de onda óptica prática com importante potencial como uma nova forma de comunicação Comparada com os cabos co-axiais usados em sistemas de radiocomunicação, esta nova forma de guia de onda tem uma grande capacidade de informação e possíveis vantagens de custo material.* Tendo como base essa premonição, Kao continuou suas pesquisas no STL, agora com novos parceiros, T. W. Davies, M. W. Jones e C. R. Wright, tentando diminuir as impurezas do vidro [principalmente íons de ferro (Fe)] e fazendo cuidadosas medidas da atenuação da luz, nesses vidros purificados, e em outros materiais, usando diferentes comprimentos de onda. Como resultado desse trabalho, eles publicaram artigos em 1968 (*Journal of Scientific Instruments* 1, p. 1063) e em 1969 (*Journal of Scientific Instruments* 2, p. 331; 579).

Nessas pesquisas, Kao descobriu que a *sílica* [dióxido de silício (SiO_2); material transparente, parecido com o vidro] *fundida* tinha uma pureza compatível com a comunicação óptica que ele previra. Contudo, como esse material apresentava uma alta temperatura de fusão e, portanto, de difícil fabricação e manipulação, os Laboratórios de Fibras Ópticas mundiais preferiam usar o vidro, porém sem muito sucesso, já que a perda continuava sendo grande. Porém, em 1970 (*Applied Physics Letters* 17, p. 423), os físicos norte-americanos F. P. Kapron, Donald D. Keck e Robert D. Maurer (n.1924), pesquisadores do *Corning Glass Works*, nos Estados Unidos (sob a liderança de Maurer), anunciaram que haviam desenvolvido o método químico CVD (*Chemical Vapor Deposition*) e com ele construíram fibras ópticas de *sílica* e revestiram-na com *sílica fundida*. Contudo, para que o caroço ("core") da fibra e seu revestimento tivessem índices de refração próximos, eles doparam o caroço com titânio (Ti). Com essa fibra eles conseguiram uma perda de 20 db/km. Mais tarde, em 1973 (*Applied Physics Letters* 22, p. 307), Keck, Maurer e P. C. Schultz anunciaram que haviam conseguido uma nova fibra óptica ainda com *sílica*, com o caroço, porém dopado com germânio (Ge), e uma perda de 4 db/km, para luz de $\lambda = 850 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Por outro lado, nas décadas de 1970 e 1980, nos *Laboratórios Bell*, os físicos norte-americanos John B. MacChesney (n.1929) e P. B. O'Connor modificaram o CVD, criando o MCVD (*Modified Chemical Vapor Deposition*), o que lhes permitiram inventar um gel de alta pureza para revestir o caroço de *sílica* usada na fibra óptica. Esse trabalho rendeu a eles as seguintes *Patentes*: US444705 (22/02/1974); US828617 (29/08/1977); US117522 (01/02/1980); US217027-A (12/08/1980); US559729 (09/12/1983) e US4217027-B (15/07/1986). É interessante registrar que, no final da Nobel Lecture de Kao, lida por sua mulher Gwen M. W. Kao, no dia 08 de dezembro de 2009, ela afirma que: - *Charles Kao plantou a semente, Robert (Bob) Maurer regou e John MacChesney cresceu suas raízes.*

Registre-se que, em 1988, foi instalado o primeiro cabo transatlântico de fibra óptica, e que tinha a capacidade para 40.000 conversas telefônicas simultâneas. Hoje (fevereiro de 2010), com uma atenuação abaixo de 0,2 db/km, para luz de $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$), as fibras ópticas, além de serem usadas em comunicação, elas

têm um grande número de aplicações: medicina, tecnologia laser e sensores. Como exemplo de aplicação das fibras ópticas na comunicação científica, é oportuno destacar que no *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN), na fronteira entre França e Suíça, foi desenvolvido uma rede de fibras ópticas altamente avançada para permitir que os dados obtidos no LHC (*Large Hadron Collider*) pudessem ser transmitidos para o mundo inteiro. Note que para transmitir dados por uma fibra óptica é necessário um *fotodiodo* [que pode ser um *diodo emissor de luz* (*Light Emitter Diode* – LED, que produz luz incoerente) ou um *diodo laser* (que produz luz coerente), ambos inventados em 1962] para converter sinais elétricos em pulsos de luz que representam os valores digitais binários: 0 e 1. [R. G. W. Brown and E. R. Pike, *IN: Twentieth Century Physics III* (Institute of Physics Publications and American Institute of Physics Press, 1995); *The Royal Swedish Academy of Sciences, Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2009* (06 de outubro de 2009); Maurício Pamplona Pires, *Ciência Hoje* (Dezembro de 2009); pt.wikipedia.org/wiki/Fibra_Optica//Laser_Diodo (acesso em 05/01/2010)].

Tratemos, agora, das contribuições de Boyle e Smith que os levaram a ganhar a segunda metade do PNF2009, pela invenção do sensor CDD, importante para a invenção da câmara digital. Antes, no entanto, vejamos o desenvolvimento da *fotografia* para entendermos o significado dessas invenções. Em 1685, o óptico alemão Johann Zahn (1635-1707) publicou o livro intitulado *Oculus Artificialis Teledioptricus Sive Telescopium* (“Teledióptrico Óculos Artificial ou Telescópio”), no qual ilustrou, por intermédio de diagramas e esboços, vários dispositivos ópticos, como, por exemplo, a câmara escura (já conhecida pelas antigas civilizações como, por exemplo, a chinesa, a egípcia e a grega: um buraco feito em uma parede produzindo uma imagem invertida na parede oposta de uma sala escura), a lanterna mágica [inventada cientista alemão, o jesuíta Athanasius Kircher (c.1602-1680), em 1646] e o retroprojetor [ou *projedor de filmes* (*slides*): um sistema óptico formado de lentes e um espelho côncavo, que concentra a luz (vinda de uma lâmpada colocada na frente do espelho) sobre uma transparência (*slide*) e a projeta em uma tela (*screen*) colocada a certa distância]. Mais tarde a câmara escura foi aperfeiçoada e tornou-se um instrumento portátil, com lentes e linguetas variáveis para tornar nítida, em um vidro fosco, a imagem de um determinado objeto. Contudo, não se sabia como fixar essa imagem. Em 1724, o químico e filósofo alemão Johann Heinrich Schulze (1667-1744) descobriu que certos “sais de prata”, notadamente o cloreto de prata (AgCl) e o nitrato de prata (AgNO_3), escureciam na presença da luz solar. Ele próprio havia gravado palavras com a luz do Sol, que logo se apagava; porém ninguém havia conseguido gravar a imagem em definitivo, o que só ocorreu no Século 19. (pt.wikipedia.org/wiki/Johann_Zahn // [Johann_Heinrich_Schulze](http://pt.wikipedia.org/wiki/Johann_Heinrich_Schulze) // [Athanasius_Kircher](http://pt.wikipedia.org/wiki/Athanasius_Kircher). Observe que // significa outro *site* da wiki).

A ideia de gravar imagens foi retomada no final do Século 18. Com efeito, desde 1793, o litógrafo francês Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833) e seu irmão Claude Niépce (oficial da Marinha Francesa), tentaram obter imagens gravadas quimicamente usando uma câmara escura com uma pequena lente convexa. Contudo, as imagens obtidas desapareciam rapidamente. Depois de alguns anos de pesquisa, Joseph conseguiu, em 1816, substituir o vidro fosco por papel com cloreto de prata (AgCl) e, com isso, fixou parcialmente as imagens, porém não pôde passar seus *negativos* para *positivos*. Mais tarde, em 1822, Joseph conseguiu recobrir uma placa de estanho (Sn) com um tipo de asfalto chamado betume-da-judeia e que endurecia quando atingido pela luz. Por fim, em 1826, Joseph expôs uma dessas

placas por cerca de oito (8) horas em uma câmara escura [fabricada pelo óptico francês Charles Chevalier (1804-1859)], com algumas adaptações. Esta *câmara* media 6 × 8 polegadas e era constituída de duas caixas de madeira, sendo a parte traseira com um vidro fosco, deslizando dentro da parte da frente, que tinha o painel de lentes e que media 30 cm² quando fechada. Essas duas partes eram ligadas por um fole tendo um diafragma em uma delas, funcionando como uma íris variável. Em 1829, Joseph substituiu as placas de metal revestidas de Sn e escureceu as sombras com vapor de iodo (I). Como Joseph era um litógrafo, deu a esse dispositivo o nome de *heliógrafo*, decorrente do vocábulo *heliografia*, que significa gravura com luz solar, uma vez que a palavra *helius* quer dizer Sol, em grego. [pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_Nicephore_Niepce; Helmut Gernsheim, *IN: Eureka! Uma História das Invenções* (Editado por Edward Bono, Editorial Labor do Brasil S.A., 1975); Tom Philbin, *As 100 Maiores Invenções da História* (DIFEL, 2006)].

Com a morte de Joseph Niépce, em 1833, o prosseguimento de seus experimentos fotográficos foi conduzido, por seu sócio, o pintor, cenógrafo e químico francês Louis Jacques Mande Daguerre (1787-1851) que havia descoberto, em 1831, a sensibilidade à luz, da prata iodada. Mais tarde, em 1835, Daguerre descobriu, acidentalmente, que uma placa de prata sensibilizada com iodeto de prata (AgI) era revelada pela ação do mercúrio (Hg), que estava no armário no qual ele displicentemente havia guardado aquela placa. Apesar de Daguerre haver padronizado esse processo, o mesmo apresentava grandes dificuldades: o tempo de exposição era longo (15 a 30 minutos), a imagem era invertida, e o contraste era muito baixo. Além disso, a imagem formada na chapa, depois de revelada, continuava sensível à luz solar e rapidamente era destruída. Esses problemas foram contornados por Daguerre, em 1837, ao descobrir que, mergulhando as chapas reveladas numa solução aquecida de sal de cozinha [cloreto de sódio (NaCl)], que tinha um poder fixador, manteve inalterada a imagem obtida. Note que esse processo descoberto por Daguerre (mais tarde conhecido como *daguerreótipo*), foi por ele vendido ao Governo Francês em 1839. Em decorrência dessa venda, Daguerre passou a ter uma renda vitalícia anual de 6.000 francos e Isidore Niépce (1786-1868), filho de Joseph (que fora sócio de Daguerre, como vimos), recebia 4.000 francos também anuais. (pt.wikipedia.org/wiki/Louis_Jacques-Mande_Daguerre).

Esse processo de fixação de imagens – a fotografia – também foi desenvolvido na Inglaterra, ainda no Século 18. Com efeito, em 1835, o químico inglês William Henry Fox Talbot (1800-1877) inventou um papel fotossensível que havia sido mergulhado alternadamente em soluções de nitrato de prata (AgNO₃) e cloreto de sódio (NaCl), criando o cloreto de prata (AgCl). Quando exposto à luz este cloreto criava uma imagem *negativa*, que podia ser exposta novamente e impressa em uma imagem *positiva*. Em 1840, Talbot melhorou seu processo, o *calótipo* (depois, *talbótipo*), e recebeu, em 1841, sua patente. É oportuno registrar que, entre 1844 e 1846, Talbot publicou o livro *The Pencil of Nature* (“O Lápis da Natureza”), que foi o primeiro livro com fotografias. Segundo Philbin (op. cit.), a inovação do processo de Talbot foi o fato de que um mesmo *negativo* podia ser utilizado para imprimir múltiplas imagens *positivas*, diferentemente do *daguerreótipo*, que criava uma única cópia, impossível de ser duplicada. Contudo, o *talbótipo* apresentava um inconveniente, pois seus *negativos* apresentavam qualidade inferior da dos *daguerreótipos*, uma vez que os detalhes eram afetados pela fibra de papel utilizada no *positivo*.

As placas fotográficas (*daguerreótipos* e *talbótipos*) apresentavam um problema, pois eram feitas de vidro e que precisavam ser preparadas pouco antes da

exposição e reveladas imediatamente após; daí o nome original de *fotografia com placa úmida*. Esse problema foi contornado, em torno de 1870, com a invenção da *chapa seca (dry plate)*, uma suspensão gelatinosa de brometo de prata (AgBr) que poderia ser preparada antes da exposição e reveladas muito depois. Esse processo era cerca de 60 vezes mais rápido do que o *talbótipo*. Um dois pioneiros nessa nova técnica fotográfica foi o inventor norte-americano George Eastman (1854-1932) ao criar, em 1880, a *Eastman Dry Plate and Film Company* (transformada em *Eastman Kodak Company*, em 1892) e, em 1888, colocar no mercado a primeira câmera *Kodak*, com o seguinte *slogan*: - *Aperte o botão e deixe que faremos o resto*. Essa câmera possuía um rolo de papel fotográfico [inventado pelo padre inglês Hannibal Goodwin (1892-1900), em 1887] para 100 exposições.

Outro grande avanço na *técnica fotográfica* ocorreu com a descoberta da fotografia colorida. Sua ideia inicial foi proposta pelo pianista e inventor francês Louis Arthur Ducos du Hauron (1837-1920) ao sugerir, em 1862, o chamado método subtrativo baseado no fato de que um pigmento colorido absorve todas as cores exceto a sua própria, que a reflete. Em 1868, ele obteve a patente francesa desse seu método (Fr83061), que usava as propriedades aditivas das cores fundamentais (vermelho, verde e azul) e as subtrativas das anticolors fundamentais (cyan, magenta e amarelo). Essa sua invenção foi descrita no livro intitulado *Les Couleurs en Photographie* (“As Cores em Fotografias”), publicado em 1869. Note que a primeira fotografia colorida foi tirada por du Hauron, em 1877, de uma vista de Aven, no sudoeste da França, onde se encontra a *Cathédrale Saint-Caprais*. Uma nova ideia para o desenvolvimento da fotografia colorida aconteceu em 1890, quando o físico alemão Otto Wiener (1862-1927) desenvolveu uma técnica com a qual obteve ondas luminosas estacionárias, em que os nós e os antinós eram separados em intervalos de $\sim 2 \times 10^{-5}$ cm. Usando essa técnica, o físico francês Gabriel Jonas Lippmann (1845-1921; PNF, 1908), em 1892 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 115, p. 575), apresentou sua invenção da fotografia colorida. Nesse processo inventivo (conhecido como *processo interferométrico*), a Ag contida em placas adremente preparadas era separada em planos paralelos por ondas luminosas estacionárias. Quando esses planos eram vistos à luz do dia, os mesmos transmitiam ao olho somente aquelas cores que têm comprimento de onda que se iguala à distância entre esses planos, enquanto os outros comprimentos de onda eram eliminados por interferência luminosa [registre que este fenômeno físico havia sido descoberto, em 1801, pelo físico e médico inglês, Thomas Young (1773-1829), conforme já registramos em verbetes desta série]. Em 1894 (*Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* 118, p. 92; *Journal de Physique* 3, p. 97), Lippmann publicou novos trabalhos sobre a sua invenção. [Gabriel Lippmann, Nobel Lecture (14 de dezembro de 1908)].

A técnica desenvolvida por du Hauron, em 1869, foi usada pelos músicos norte-americanos Leopold Godowsky, Jr. (1900-1983) (também químico) e Leopold Damrosch Mannes (1899-1964) para inventarem o *filme Kodachrome*, patenteado em abril de 1935 (*U.S. Patent 1.997.493*) (solicitada em janeiro de 1922). Ele consta, basicamente, de três emulsões luminosas sensíveis para a luz: camada de cima - azul, camada do meio - verde, e camada inferior - vermelho. Depois segue uma sequência de cores subtrativas: amarelo, magenta e cyan, para formar o *negativo*. Para maiores detalhes ver: pt.wikipedia.org/wiki/Leopold_Godowsky_Jr. // [Leopold Mannes](http://pt.wikipedia.org/wiki/Leopold_Damrosch_Mannes).

Agora, vejamos os trabalhos nobelísticos de Boyle e Smith realizados nos *Laboratórios Bell*, em New Jersey, Estados Unidos. Boyle defendeu sua Tese de Doutorado em Física na *McGill University* (Canadá), em 1950, e foi para a *Bell*, em 1953; Smith doutorou-se também em Física na *Chicago University*, em 1959, e neste mesmo ano foi trabalhar na *Bell*. Na década de 1960, Boyle era o Diretor Executivo do *Laboratório de Desenvolvimento de Dispositivos Semicondutores* (hoje, *Divisão de Ciências da Comunicação*) e Smith era Chefe de um de seus Departamentos (hoje, o

de *Integração em Escala Muito Grande*). Em 1967, F. Sangster havia patenteado um dispositivo que transportava cargas elétricas entre sucessivos capacitores por meio de transistores que transferiam o sinal armazenado ao capacitor vizinho uma vez em cada ciclo horário. Esse dispositivo foi cunhado como BBD (*bucket brigade device – dispositivo de uma brigada de baldes* – em analogia com uma fila de pessoas transferindo baldes de água), por G. Krause, ainda em 1967, muito embora William J. Hannan já houvesse pensado nesse conceito de transferência de cargas, em 1965. Esse dispositivo de transferência de cargas foi descrito, em 1969 [*Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) – Journal of Solid-State Circuits SC-4*, p. 131], por Sangster e K. Teer, que trabalhavam nos *Philips Research Laboratories*, na Inglaterra. É interessante destacar que, entre 1980 e 1988, Sangster obteve patentes desse seu invento em diversos países do mundo.

Contudo, a eficiência de transferir *bolhas de cargas (charge bubbles)* usando o BBD era limitada pelo comprimento da cadeia de transistores. Desse modo, segundo Smith descreveu em artigo publicado em 2009 (*Nuclear Instruments and Methods in Physical Research A607*, p. 1), em 17 de outubro de 1969, ele foi ao gabinete de Boyle, e juntos, no quadro negro e por quase uma hora, esquematizaram a estrutura básica do sensor CCD que seria usado para transferir cargas elétricas. Basicamente, o CCD é um capacitor do tipo Si-MOS (*silício-metal-oxide semiconductor*) que registra imagens na forma eletrônica, e, portanto, podem ser usadas em um filme fotográfico. Com efeito, quando a superfície do semicondutor [Si, dopado com boro (B) para transformá-lo em um portador do tipo p] recebe luz, há formação de *bolhas de cargas* em virtude do *efeito foto-elétrico*. [Lembrar que a *banda proibida* (entre a *banda de condução* e a *banda de valência*) do Si vale 1,14 eV; assim, fótons com energia acima desse valor poderá liberar elétrons, segundo a teoria proposta pelo físico germano-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), em 1905, conforme vimos em verbete desta série]. O problema que então se apresentou a eles foi o de encontrar um modo engenhoso de transportar essas cargas de maneira ordenada.

Em vista do exposto acima, Boyle e Smith então idealizaram o seguinte: na estrutura superficial CCD foi colocado uma série de diminutos fios (eletrodos) formando uma matriz de pequenas células foto-sensitivas (hoje, elas são chamadas de *pixels* e têm dimensões $\sim 10 \mu\text{m}$) dispostas em linhas e colunas. [Note que esses *pixels* contidos nos capacitores MOS correspondem aos grãos (“sais de prata”) dos filmes fotográficos. Note, também, que alguns sistemas podem tirar fotografias com a resolução de até 5×10^9 *pixels*]. Portanto, quando a luz atinge esses *pixels*, são produzidos fótons-elétrons cujo número é proporcional à intensidade da luz utilizada. Desse modo, a distribuição de cargas nos *pixels* é uma representação análoga a de uma imagem. Assim, variando a voltagem (tensão elétrica) sobre essas células, as “fotos-cargas” são retiradas em fila, uma coluna após a outra, e a imagem pode ser reconstruída. A invenção do sensor CCD foi apresentada, em 1970, em três artigos: um descrevendo a parte teórica: Boyle e Smith, Charge Coupled Semiconductor Devices, *Bell Systems Technical Journal, Briefs* 49, p. 587, e dois experimentais: Gilbert F. Amelio, M. F. Tompsett and Smith, Experimental Verification of the Charge Coupled Device Concept, *Bell Systems Technical Journal* 49, p. 593; e Tompsett, Amelio and Smith, Charge Coupled 8-Bit Shift Register, *Applied Physics Letters* 17, p. 111.

Como o CCD transforma uma imagem em uma série de pulsos elétricos, logo se observou que ele poderia ter diversas aplicações tecnológicas, dentre elas, a câmara digital (CD), inventada em 1981. Mais tarde, em 1984, a *Sony Corporation*

lançou no mercado a MAVICA (*Magnetic Vídeo Camera*). A CD foi (e é) usada em investigações astrofísicas e astronômicas, como aconteceu com o *The Hubble Space Telescope*, lançado em 24 de abril de 1990, pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), equipado com diversas CD para diferentes propósitos. Por exemplo, a *Wide Field Planetary Camera* (WFPC) (*Câmara Planetária de Largo Campo*) usada para fotografar, em 2000, aglomerados de galáxias, como a *Abell 2218*, com a segunda versão dessa câmara (WFPC2). É ainda interessante destacar que a CD, também foi (e é) utilizada em medicina no estudo de tecidos e células, por intermédio de microscópios, endoscópios (www.medscape.com) e *scanners*. Para mais detalhes sobre o CCD e suas diversas aplicações, ver: *The Royal Swedish Academy of Sciences*, op. cit.; Pires, op. cit.

Concluindo este verbete, é interessante destacar que a invenção do *circuito integrado* (CI) (*chip* – pastilha) pelo engenheiro eletrônico norte-americano Jack St. Clair Kilby (n.1923; PNF, 2000), em março de 1959, foi importante para o invento de diversos tipos de sensores de imagens, como o CMOS (*complementary-metal-oxide-semiconductor*), este em 1968 [Peter J. W. Noble, *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) - Transactions on Electron Devices* ED-15, p. 202] e em 1969 [P. K. Weimer, W. S. Pike, G. Sadasiv, F. V. Shallcross and L. Meray-Horvath, *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) – Spectrum* 6, p. 52; Savvas G. Chamberlain, *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) – Journal of Solid-State Circuits* SC-4, p. 333], e o CCD (visto neste verbete), em 1970.



ANTERIOR

SEGUINTE