



De Corpo Inteiro e Viva, a Física

Notícia recente de jornal diário [1] relatou novas descobertas envolvendo os dicinodontes, répteis herbívoros de porte médio precursores dos mamíferos. Alguns desses achados são fósseis de duzentos e tantos milhões de anos, encontrados no sul do Brasil, que não são ossadas inteiras do animal, nem sequer de um par de ossos, mas sim coprólitos, ou seja, fezes petrificadas desses bichos ancestrais. Uma foto em tamanho grande, que ilustrava a reportagem, mostrava um excremento que foi pisado pelo animal, ou seja, para alegria dos pesquisadores as fezes estavam marcadas com as pegadas do sáurio. É dura a vida dos arqueólogos: têm de se contentar com cada coisa...

Por outro lado, é bem mais confortável ensinar Física do que investigar fósseis, principalmente quando se faz uso do privilégio de se lidar com uma ciência vivamente presente em nosso cotidiano e com ramificações e interfaces em todas as áreas do conhecimento. Fecho a página do jornal com a “pisada” do sáurio e me imponho o desafio de, sem me levantar da cadeira em que estou sentado, mostrar a Física de corpo inteiro, e viva. Começo a investigação, observando sobre minha mesa de trabalho, iluminada por lâmpadas fluorescentes, um velho ventilador, um pequeno relógio e um telefone celular ligado a seu carregador. À minha frente, o monitor de um computador pessoal mostra as palavras que digito, enquanto ouço uma seleção de velhos chorinhos, de um CD reproduzido com auxílio da mesma unidade de processamento que registra este texto que estou digitando, como mostra a foto feita por meu amigo Marcelo

Bonetti [2]. Pela janela chega o ruído de um *automóvel* sendo estacionado junto ao prédio, próximo do meu, que tem tido problemas para “pegar” pela manhã. Fico, por enquanto, com esta dezena de equipamentos e faço, a seguir, seu “desmonte conceitual”.

As lâmpadas fluorescentes, cilindros de vidro com pares de terminais elétricos em seus extremos, estão ligadas a transformadores, ou seja, diferentes bobinas de fio de cobre enroladas em torno de um mesmo núcleo de ferro, que fornecem inicialmente uma tensão alta para ionizar o gás do interior, e depois uma tensão mais baixa, para acelerar elétrons e íons ao longo do cilindro. A colisão entre estes produz radiação ultravioleta, não visível, que ao atingir sais fluorescentes que recobrem o vidro produzem uma cascata de radiação de diferentes frequências cuja somatória resulta na cor branca dessas lâmpadas, chamada luz fria por conter bem menos infravermelho que a emitida pelos filamentos das lâmpadas incandescentes.

Tanto o ventilador quanto o relógio são sistemas motores, ou seja, produzem um movimento mecânico a

.....
Luis Carlos de Menezes
Instituto de Física da Universidade de São Paulo
e-mail: menezes@if.usp.br
.....



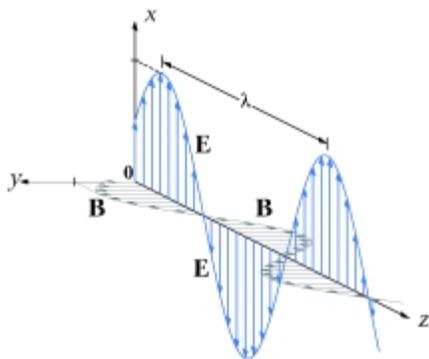
Um coprólito do período Jurássico, com cerca de 150 milhões de anos.



A Física está presente a cada momento, do nosso dia-a-dia; basta saber enxergá-la nos mais banais acontecimentos e situações. Desempenhando tal habilidade, o professor certamente poderá passar aos alunos a percepção não limita-se a apenas um amontoado de equações que devem ser decoradas.

partir de correntes elétricas. Um *motor de indução* faz operar o ventilador, ou seja, a corrente de um circuito primário induz corrente em um outro, preso ao eixo onde estão fixas as pás, que gira devido ao torque magnético entre ambos. No *relógio*, o ponteiro dos segundos é acionado por um pequeno ímã permanente, que gira à passagem de um pulso elétrico, em intervalos múltiplos do período de oscilação de um cristal de quartzo, que faz o papel do pêndulo dos antigos relógios de mesa.

O *carregador* é um *transformador* semelhante ao das lâmpadas, mas acoplado a um *retificador*, que é essencialmente um *diodo semicondutor*, compondo assim um dispositivo que toma corrente alternada a uma certa tensão e fornece corrente contínua a outra tensão, para recarregar energia na bateria do celular. Esse telefone é, na realidade, uma emissora de rádio portátil, ou seja, um *circuito oscilante* composto de um capacitor e de uma bobina, que oscila em uma radiofrequência portadora, que é estabelecida pela operadora de telefonia móvel, que espalha em nossas cidades antenas das estações repetidoras de sinal, três delas visíveis no meu trajeto diário de casa para a universidade. Além dos circuitos oscilantes, os telefones celulares também são dotados de dois *conversores eletromecânicos*: o microfone, que transforma a vibração sonora em um sinal elétrico com frequência de áudio, que modulará a portadora na emissão, e o falante, que transforma em som a frequência de áudio filtrada da portadora na recepção. Nos velhos



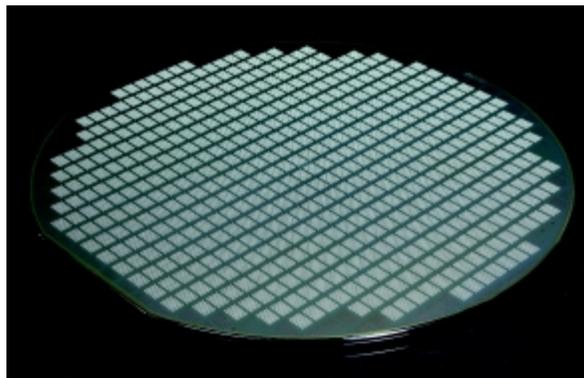
Ondas eletromagnéticas provenientes de celulares e outros equipamentos preenchem constantemente todo o espaço à nossa volta.

telefones esses conversores eram sempre eletromagnéticos; hoje há muitas variações.

Um *monitor do computador* tem alguns aspectos em comum com uma *lâmpada fluorescente*, como ser cruzado por elétrons e ter um vidro coberto por substâncias opticamente ativas que recobrem a tela. No entanto, no monitor, cada substância atingida pelo feixe de elétrons é responsável por uma das três cores fundamentais: azul, verde e vermelho; os três feixes de elétrons, cada qual com sua intensidade variável, percorrem a tela reproduzindo as proporções das cores na imagem que vemos. Os elétrons dos feixes são acelerados no “pescoço” do tubo e em seguida direcionados por eletromagnetos. A produção da imagem se dá como em tubos de TV, com o padrão de varredura da tela pelos feixes, estabelecido em convenção internacional.

Os *CDs e DVDs* são registros de informações de som, de texto ou de imagem, na forma de dígitos (cifras) que são lidos por um equipamento periférico do computador, e em seguida processados para resultar em textos, sons e imagens. Uma música, por exemplo, é uma seqüência de frequências de várias intensidades, que podem ser representadas por cifras, de acordo com um código convencional. Os discos têm uma trilha espelhada, com profundidade variável, na qual um feixe de *luz laser* é refletido para recuperar os valores registrados em cada ponto da trilha, para depois serem convertidos em sinal elétrico, que informará ao processador os dados codificados do texto, som ou imagem. É essencial que se utilize *laser*, ou seja, luz colimada, monocromática e em fase, caso contrário a falta de coerência impediria a leitura desses dados.

Um pouco mais complexa é a descrição física, mesmo em termos gerais, dos componentes que permitem a operação da *unidade central de processamento* do computador capaz de, ao mesmo tempo, registrar este



Os semicondutores são empregados nos equipamentos do nosso cotidiano: computadores, rádios, celulares, televisões etc.

texto que está sendo escrito, reproduzir a música gravada no *CD* ou receber mensagens multimídia que chegam a todo instante pela Internet, que conecta este computador a centenas de milhões de outros em todo o mundo. Na realidade, com a miniaturização que hoje é possível, até mesmo muitos *telefones celulares* podem desempenhar estas funções de registro e transmissão de informações escritas e audiovisuais.

É mais fácil compreender, primeiro, como são feitos os registros, de números, letras, sons ou imagens. Eles são convertidos em dígitos e traduzidos ao sistema binário, ou seja, a uma seqüência de zeros e uns. Um arranjo de células semicondutoras microscópicas, que quando carregadas expressam o um e quando descarregadas expressam o zero, permite guardar um número descomunal de informações em um único pequeno cristal. Já o processamento dessas informações é realizado por meio de interligações entre essas células, condicionadas por ordens eletrônicas que definirão se os registros serão mantidos ou não, e de que forma serão modificados, ou seja, quais células manterão suas cargas, quais serão carregadas e quais descarregadas.

Um único monocristal semicondutor, “dopado” com substâncias que mudam localmente as propriedades elétricas, possui uma notável arquitetura de muitos pavimentos ou camadas, de forma a conseguir abrigar centenas de milhares de componentes, como relês, capacitores, diodos e transistores interligados. Designados

genericamente como *chips*, estes cristais servem a uma grande variedade de equipamentos, de relógios de pulso a máquinas de lavar roupas, de computadores a sistemas de monitoramento por satélite. Esta base física dos *chips* é o chamado *hardware* da informática, enquanto os procedimentos e as linguagens com que se definem funções, tarefas e objetivos dos sistemas é dito *software* da informática.

Aproxima-se a hora do intervalo para o almoço, e vou aproveitar para levar meu carro para uma oficina de conserto. Acredito que o problema não esteja na bateria, nem no motor de partida, pois este funciona quando aciono a chave de contato. Portanto, suponho que o problema esteja na injeção de combustível ou na carburação. Também os automóveis foram muito alterados pela tecnologia dos semicondutores, especialmente em sua injeção eletrônica e sistemas de controle. Eles continuam sendo movidos pela mesma *máquina térmica*, o já secular *ciclo Otto*, em que a mistura de ar e combustível é aspirada, comprimida e detonada, de forma que os gases de combustão se expandam realizando trabalho e depois sejam expelidos. Isso é mais ou menos assim há um século, mas, diante de problema semelhante ao de hoje, há alguns anos, eu abriria a tampa do distribuidor para verificar eventual platinado sujo que pudesse estar interrompendo o pulso elétrico que produz a faísca para a explosão da mistura combustível, mas hoje um *chip* controla a emissão de corrente para as velas de ignição.

Voltei da oficina mecânica com a confirmação de que o problema estava no sistema de injeção e, antes de retomar a escrita deste artigo, reli as páginas anteriores, para ver se mostravam, como eu pretendia, a difusa presença da Física em nossa vida diária. De fato, passamos por muitos processos eletromagnéticos, ópticos e termodinâmicos, com aspectos nem sempre explicitados, como a dinâmica dos elétrons no interior do tubo de imagem do monitor, ou como o caráter quântico das operações dos *semicondutores* e *lasers*, que podem ser

respectivamente compreendidos a partir da estatística quântica de elétrons, que são férmions que “se excluem”, e pela estatística quântica dos fótons, que são bósons que “se juntam”. Enfim, não precisei levantar de minha cadeira para identificar toda uma variedade de conceitos físicos, essenciais para a construção e para a compreensão de equipamentos e sistemas de sentido prático.

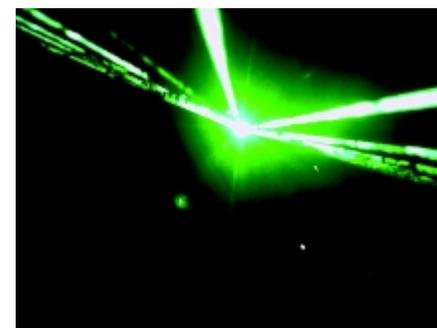
Investigo mais uma vez a sala, para conferir de que outras formas a Física se apresenta à minha volta, e me ocorre algo que a princípio parecerá ter caráter meramente geométrico, que é a multiplicidade de retângulos em minha sala; são retangulares as paredes, as janelas, as portas, as estantes, as estruturas das mesas, os quadros de avisos, até mesmo as molduras dos retratos de Galileu Galilei e de Mário Schenberg. Esses retângulos não são mera opção estética, mas sim uma sucessão de linhas de prumo e linhas de nível, orientadas pela gravitação local. A porta da estante fora de prumo, que não pára fechada, revela a ação do torque gravitacional e, com isto, já “decifra” a razão de tantos retângulos. Também é o campo gravitacional o responsável pela verticalidade dos postes e das árvores que vejo pela janela, assim como a disputa entre o empuxo nas correntes de ar ascendentes e o peso das nuvens negras, que ameaçam desabar em uma tardia tempestade de abril.

Toca meu celular; o mecânico me informa que já reparou a bomba de gasolina do carro, e o chamado me traz à consciência de quanto minha sala é invadida por ondas e campos eletromagnéticos, bem mais diversificados e dinâmicos que o constante e uniforme *campo gravitacional* junto à superfície terrestre, que tem a ver com aqueles retângulos... Penso então nos muitos usos de todo o tipo de radiação a que tenho sido exposto, voluntariamente ou não: pergunto-me se o concreto da laje, sob o piso da sala, de fato me protege dos raios X do laboratório de cristalografia que funciona no piso inferior, e apalpo meu joelho direito, ainda convescente após uma artroscopia monitorada por computador, de uma lesão de menisco diagnosticada há dois

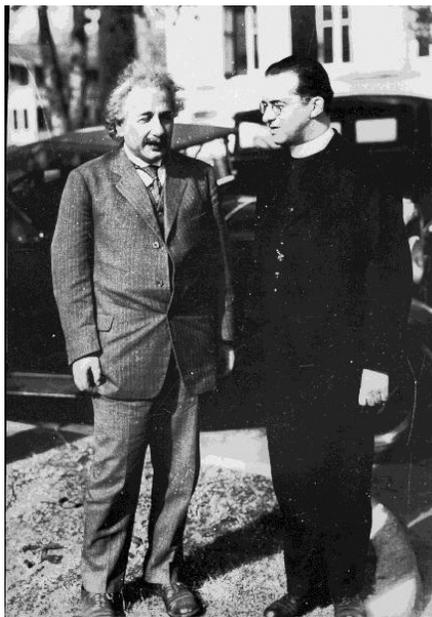
meses por uma ressonância nuclear magnética, que mapeia o magnetismo dos núcleos integrantes das moléculas de água na parte do organismo sendo investigada.

Não consegui terminar este artigo naquela mesma semana, como pretendia, por conta de sucessivas viagens para participar de palestras, primeiro no Sul e em seguida no Norte do Brasil, especialmente por conta de ser este o Ano Mundial da Física, que festeja o centenário do ano maravilhoso de 1905, em que Einstein interpretou o caráter quântico do efeito foto-elétrico, apontou a origem atômica do movimento browniano e alterou as bases da mecânica newtoniana para compatibilizar as leis da mecânica com processos “da eletrodinâmica dos corpos em movimento”, que é como se chamava seu famoso artigo em que lançou as bases da relatividade especial.

Por falar em Einstein, o mesmo jornal da matéria sobre os coprólitos trouxe ontem um caderno especial sobre cogitações fantásticas que, se não forem reais, pelo menos são um prato cheio para a ficção científica [3]. Em síntese, afirma que não precisamos perder as esperanças na eternidade, no caso de eventual morte térmica desse nosso universo, que dá evidências de estar se expandindo aceleradamente por alguma razão pouco compreendida, e por isso chamada de energia escura. Daqui a vários bilhões de anos, quando o esfriamento universal tornar inviável a vida de uma civilização avançada – que, aliás, já terá escapado da incandescência o sistema solar, quando nossa estrela tiver inchado em uma gigante vermelha – ela



O raio laser possui uma enorme gama de aplicações, como leitores de CDs e DVDs, comunicações e medicina.



Einstein e Lemaître. O primeiro acabou por perceber a importância da proposta do abade, mesmo que inicialmente a tenha recebido com ceticismo.

simplesmente escapar, ou enviará sementes suas, para outros universos paralelos, através de “buracos de minhoca”, portais às vezes denominados de “pontes Einstein-Rosen”.

Faltaria aqui espaço e conhecimento de cosmologia para desenvolver mais essas hipóteses fabulosas, mas posso lembrar de onde surgiu a ideia de um universo em expansão e de universos paralelos. Uma década e meia após aquele ano maravilhoso, foi o próprio Einstein quem deu margem à formulação de equações do universo, com sua relatividade geral onde a matéria dá forma ao espaço-tempo.



Concepção artística de uma ponte Einstein-Rosen. Esses “buracos de minhoca” em princípio poderiam ligar dois pontos do nosso universo ou nosso universo a outro.

Pouco depois, George Lemaître, um abade matemático, “tirou” daquelas equações um universo em contínua expansão e o astrônomo Edwin Hubble verificou que, de fato, galáxias distantes estão se afastando rapidamente. Duas décadas depois, George Gamov mostrou que, há bilhões de anos, o universo era uma bola radiante e, vinte anos adiante, esta “radiação de fundo” foi detectada e o modelo do *big bang* se tornou a hipótese mais aceita para a evolução do cosmo (aliás, dentre as importantes contribuições de Gamov, à astrofísica, há também trabalhos feitos junto com o brasileiro Mário Schemberg). Como as contas não davam certo para o “início dos tem-

pos”, Allan Guth propôs que nosso universo surgiu da “inflação” de um dos grãos de uma entidade múltipla primitiva, da qual outros grãos teriam evoluído em universos independentes deste “nosso”. Por fim, nesse cenário de rica imaginação, poderíamos quem sabe ir pulando de um universo para outro, para garantir a vida eterna, amém.

Diferentes pesquisadores professam diferentes convicções sobre as origens e destinos deste mundo e até de outros, mas é inegável que hoje não é mais possível filosofar sobre a vida e o universo sem levar em conta suas cogitações. Portanto, a Física não está somente presente nas tecnologias de nosso cotidiano ou nas fronteiras da terceira revolução industrial e, portanto, na economia; ela é hoje essencial também para todo o pensamento humano. Por falar nisso, na página seguinte à da matéria sobre a “fuga do universo”, há uma outra tratando da relação entre a finitude do universo, no tempo e no espaço e a origem da vida [4]. Mostra-se que o universo ter “somente” cerca de catorze bilhões de anos e

Diferentes pesquisadores professam diferentes convicções sobre as origens e destinos deste mundo e até de outros, mas é inegável que hoje não é mais possível filosofar sobre a vida e o universo sem levar em conta suas cogitações

a vida ter cerca de quatro bilhões de anos não são fatos independentes, pois se ele fosse infinitamente velho a vida deveria estar presente em todos os graus de desenvolvimento, e isto também depende do conhecido ciclo de evolução e morte das estrelas, que sintetizam os elementos para a vida.

Pois bem, não é só o universo que tem um tempo finito, e eu também não posso adiar indefinidamente a entrega deste artigo ao Nelson Studart, editor desta Revista. Já visitamos desde

equipamentos de uso diário até viagens ao início dos tempos, com a Física viva e de corpo inteiro, ao nosso lado. Começamos, aliás, falando dos pobres arqueólogos, que festejam a descoberta de excrementos pisados há muitos

milhões de anos, e poderíamos acrescentar uma pergunta: como poderiam aqueles especialistas determinar idades de centenas de milhões de anos se não pudessem contar com métodos de datação baseados na determinação de proporções isotópicas de elementos radiativos, desenvolvidos pela física nuclear?

Claro que não nos causam pena, mas sim admiração, os notáveis arqueólogos que fazem descobertas formidáveis com tão poucas evidências; o que dá pena são alguns professores de Física que, ignorando a ampla presença desta ciência em nosso mundo e em nossa compreensão do mundo, continuam ensinando uma “língua morta”, da qual só interessa sua gramática expressa em uma dúzia de equações, já que ninguém fala mesmo...

Notas

- [1] Folha de São Paulo, página de Ciência, 13 de abril de 2005.
- [2] Marcelo de Carvalho Bonetti, físico e educador, além da foto fez vários comentários, que já foram incorporados a este texto.
- [3] Folha de São Paulo, “Caderno Mais!”, 1.º de maio de 2005, com o tema de capa “Fuga do Universo”.
- [4] No mesmo caderno, jornal e data citados a matéria de Marcelo Gleiser se intitula “O cosmo e a vida”.