



Física de plasmas

A ciência e as aplicações tecnológicas do quarto estado da matéria

O Sol sempre fascinou a humanidade. Mas, somente no século passado, chegou-se a um entendimento robusto dos mecanismos que geram luz e calor nessas fornalhas cósmicas.

Com base nesse e outros conhecimentos, a física de plasmas tem atualmente uma ambição nada modesta – mas, tudo indica, factível: com a ajuda de reatores sofisticados, imitar o Sol na Terra e, desse modo, produzir comercialmente energia limpa e abundante. De sua parte, o Brasil se prepara para esse desafio, por meio de um laboratório nacional.

Tido como um ‘quarto estado’ da matéria, o plasma – gás de partículas carregadas eletricamente – está presente não só nas estrelas, mas também no espaço interestelar, no ambiente terrestre e até mesmo em nosso cotidiano.

A física de plasmas vai bem além da fusão nuclear controlada. Sua pesquisa básica é rica em temas, e seu viés tecnológico tem aplicações importantes na indústria.

RICARDO L. VIANA
*Departamento de Física,
Universidade Federal do Paraná*



A produção de energia do interior do Sol, sem a qual a vida na Terra não seria possível; o funcionamento dos tubos de gás neônio usados na decoração e publicidade; e a perspectiva futura de obter energia limpa e abundante a partir da fusão de núcleos atômicos leves. O que esses assuntos têm em comum?

Todos eles estão relacionados à presença de plasmas, com diferentes características físicas; porém, com a mesma natureza essencial. Um plasma é basicamente um gás de partículas eletricamente carregadas: elétrons (carga negativa) e íons (carga positiva), com propriedades peculiares decorrentes da existência de ‘forças elétricas’ (ou, tecnicamente, interações coulombianas) de longo alcance entre as partículas. Por isso, é comum dizermos que o plasma é um quarto estado da matéria, para distingui-lo dos gases neutros, em que essas propriedades não estão presentes.

As propriedades peculiares de um plasma manifestam-se no que costumamos chamar de comportamento coletivo, ou seja, fenômenos nos quais um grande número de partículas conspira para certa finalidade. Exemplo: se inserirmos um objeto eletricamente carregado no interior do plasma, as partículas deste irão se comportar de modo a tentar blindar o campo elétrico produzido pelo objeto. Assim, a grandes distâncias do objeto, o plasma será quase neutro, eletricamente falando.

Os plasmas podem ser descritos basicamente por duas grandezas físicas: sua temperatura – relacionada à velocidade (energia cinética) das partículas – e densidade – número de partículas por metro cúbico (m^3). Dependendo dos valores dessas duas grandezas, os plasmas existem em diferentes contextos no universo: a temperatura abrange sete ordens de grandeza, enquanto a densidade varia em nada menos do que 28 ordens de grandeza!

Para darmos alguns exemplos, o meio interestelar é preenchido por um plasma de hidrogênio extremamente tênue, com temperaturas e densidades muito baixas. No entanto, no interior do Sol, o plasma tem temperatura e densidade tão altas que permitem a ocorrência de reações de fusão de núcleos leves de hidrogênio, produzindo a energia que é irradiada para o espaço e que reconhecemos basicamente sob a forma de luz e calor.

E é justamente a possibilidade de obter energia por meio da fusão termonuclear que tem levado cientistas do mundo todo (inclusive do Brasil) a investigar meios de confinamento magnético de plasmas, como em máquinas cuja forma lembram ‘rosquinhas (*donuts*) gigantes’ (toroides) chamadas tokamaks. De fato, a fusão termonuclear solar é possível graças ao fato de o plasma no interior da estrela estar confinado pelo intenso campo gravitacional lá existente.

Costuma-se dizer que cerca de 99% da matéria ordinária (dita bariônica) do universo estão sob a forma de plasma. Será que vivemos justamente no 1% que não é constituído majoritariamente por plasmas?

De certa forma, a resposta para essa pergunta é ‘sim’. Mas há importantes exemplos de plasmas em nosso planeta, como a ionosfera, alta camada atmosférica responsável pela reflexão de ondas eletromagnéticas e a transmissão de sinais de rádio e televisão a longas distâncias – sem esse ‘escudo’ refletor, seria impossível transmitir, de uma

região distante para outra, as ondas eletromagnéticas, devido à curvatura da Terra.

Além disso, há vários tipos de plasmas tecnológicos criados no laboratório, os quais têm uma gama de aplicações: de lâmpadas fluorescentes e tubos de descargas elétricas em gases (como neônio) a televisores, maçaricos (tochas) e outros aparelhos extremamente úteis em nosso cotidiano. Além disso, na indústria, é bastante comum a criação de plasmas para facilitar tratamentos de superfícies.

E foi justamente no contexto tecnológico que os plasmas foram estudados. Ainda que as pesquisas em descargas elétricas em gases venham de meados do século 19, a moderna física de plasmas é relativamente recente: os primeiros trabalhos são do físico norte-americano Irving Langmuir (1881-1957) e colaboradores, na década de 1920. Suas descobertas foram motivadas pela necessidade de construir tubos de vácuo que pudessem conduzir altas correntes elétricas, o que é possível preenchendo-os com gases ionizados.

Na década de 1930, o plasma ionosférico foi intensamente estudado por causa de seu papel já citado na propagação de ondas de rádio. Depois da Segunda Guerra Mundial, foi proposto o uso da energia obtida pela fusão termonuclear para a fabricação de artefatos bélicos, como a bomba de hidrogênio.

No início da década de 1950, pesquisadores nos EUA e na então União Soviética propuseram que as reações de fusão obtidas nos artefatos bélicos poderiam ser controladas pelo confinamento magnético do plasma. Caso tal objetivo fosse alcançado, seria possível obter energia praticamente ilimitada a partir de insumos abundantes na natureza. Nos primeiros anos daqueles estudos, as perspectivas pareciam tão promissoras que as pesquisas eram secretas.

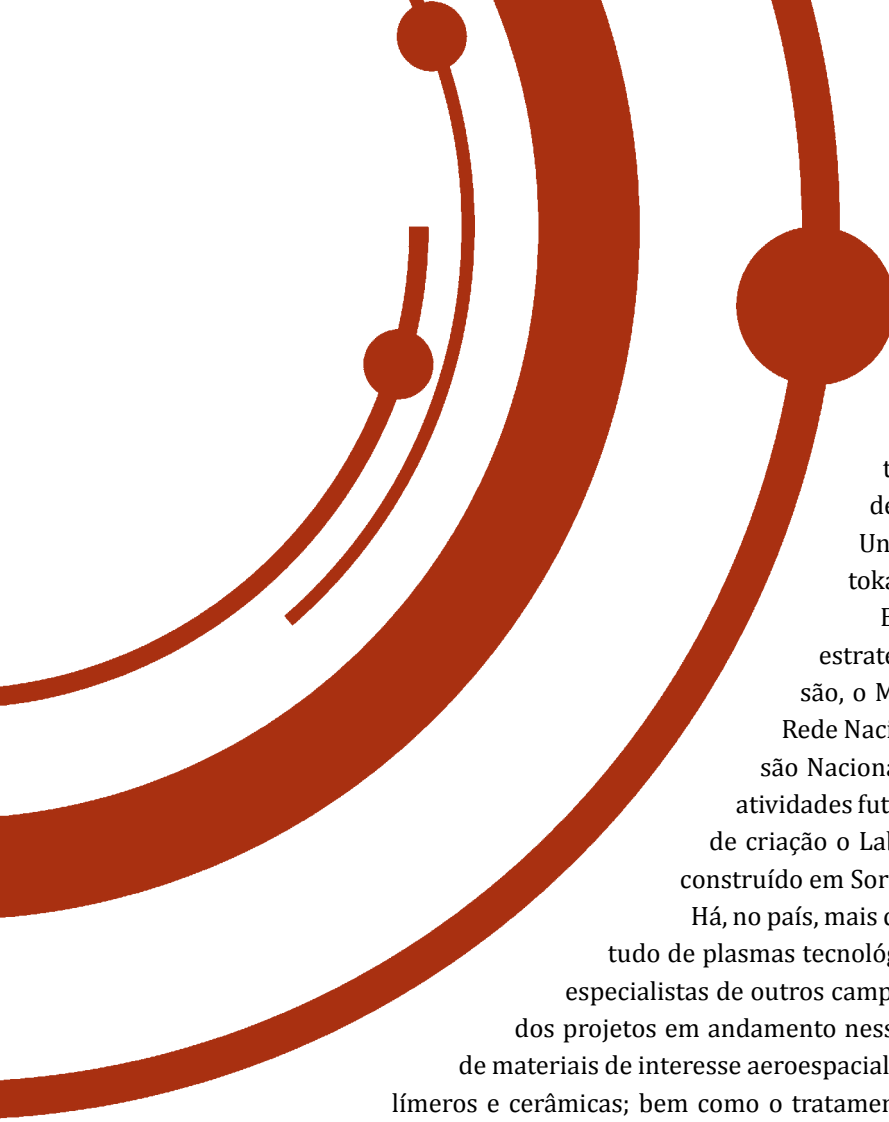
Os plasmas, entretanto, mostraram-se bem menos 'obedientes' do que se imaginava a princípio, e as pesquisas sobre o confinamento magnético de plasmas estendem-se até a atualidade, envolvendo a participação de vários grandes grupos de pesquisa, muitos dos quais se associam a projetos internacionais, como o ITER (sigla, em inglês, para Reator Experimental Termonuclear Internacional), atualmente sendo construído na França.

O ITER é o primeiro passo para um futuro reator comercial de fusão, o que se projeta para os próximos 50 anos, quando o provável esgotamento dos combustíveis fósseis irá nos obrigar a procurar fontes alternativas, baratas e limpas de energia para a continuidade da civilização.

NO BRASIL

A física de plasmas no Brasil teve origem por volta da década de 1970, em diversos grupos de pesquisa que trabalhavam em quatro subáreas: fusão controlada; plasmas tecnológicos; fenômenos básicos; plasmas espaciais e astrofísicos.

Atualmente, há um grande número de grupos de pesquisa espalhados pelo país. Na subárea de fusão, temos três laboratórios: i) no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, está em operação o tokamak TCABR, construído para estudos de aquecimento auxiliar, regime de operação de alto confinamento e turbulên-



cia na borda do plasma, entre outros objetivos; ii) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em São José dos Campos (SP), está instalado o tokamak esférico ETE (Experimento Tokamak Esférico), no qual se investiga uma configuração magnética de alto desempenho; iii) o Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas tem o tokamak NOVA.

Em 2007, refletindo o importante papel estratégico das pesquisas sobre plasmas de fusão, o Ministério da Ciência e Tecnologia criou a Rede Nacional de Fusão, sob os auspícios da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Para centralizar as atividades futuras na área de fusão, encontra-se em fase de criação o Laboratório Nacional de Fusão (LNF), a ser construído em Sorocaba (SP).

Há, no país, mais de uma dezena de grupos dedicados ao estudo de plasmas tecnológicos e que contam com a colaboração de especialistas de outros campos, como químicos e engenheiros. Alguns dos projetos em andamento nesses grupos contemplam o processamento de materiais de interesse aeroespacial; materiais elétricos e biocompatíveis; polímeros e cerâmicas; bem como o tratamento de superfícies de materiais metálicos com inúmeras aplicações tecnológicas.

Vale destacar também os trabalhos envolvendo duas frentes de pesquisa: i) jatos de plasma, usados para aquecimento, corte e na técnica denominada *spray* de plasma (jato de plasma para depositar algum material sobre um substrato); ii) implantação iônica por imersão em plasma, para melhorar as propriedades mecânicas de materiais.

Na subárea de plasmas espaciais e astrofísicos, o Brasil conta com grupos de pesquisa bem estabelecidos, que fazem estudos teóricos, computacionais e observacionais de diversos fenômenos, como a evolução dinâmica de estrelas, nuvens interestelares, buracos negros, pulsares (estrelas diminutas e densas), supernovas (estrelas massivas que explodem ao final da vida), discos de acreção (material difuso em órbita de um corpo celeste) etc. Outros estudos envolvem a produção e aceleração de partículas astrofísicas; reconexão magnética (padrões das linhas do campo magnético); e o chamado efeito dínamo, o qual explica a formação de campos magnéticos de corpos celestes, como planetas e estrelas.

Uma importante linha de pesquisa refere-se ao chamado clima espacial, que envolve o estudo de vários aspectos da interação entre o Sol e a Terra – em particular, a resposta do ambiente espacial à intensa atividade de nossa estrela. As explosões e ejeções do Sol lançam uma quantidade muito grande de partículas energéticas que alcançam a Terra, provocando tempestades geomagnéticas, as quais afetam as telecomunicações e até mesmo as propriedades da camada de ozônio que circunda nosso planeta.

O estudo de fenômenos básicos de plasma é objeto de pesquisa de vários grupos de pesquisa no Brasil, muitos deles formados nos últimos 10 anos. Uma das linhas mais importantes refere-se ao estudo de caos e fenômenos não lineares, com aplicações à

física de plasmas de fusão (por exemplo, a turbulência que ocorre na borda de tokamaks) e de aceleradores de partículas baseados nesse estado da matéria (por exemplo, estudos de instabilidades nos feixes de partículas relativísticas aceleradas).

PROBLEMAS EM ABERTO

Em todas as subáreas que citamos, há diversos problemas em aberto que devem pautar as pesquisas futuras e o próprio desenvolvimento da física de plasmas no país. A rápida evolução da tecnologia envolvendo novos materiais é um motor de avanços contínuos na subárea de plasmas tecnológicos.

Embora a geração de plasmas frios nessa subárea não envolva investimentos de grande monta, a instrumentação necessária para medições e análises é bastante onerosa, exigindo contínua atualização. Além disso, a formação de recursos humanos deve contemplar a inclusão de técnicas de plasmas tecnológicos no currículo das escolas de engenharia, algo ainda incipiente em nosso país.

O mesmo problema de formação de pessoas é também um problema futuro para a área de plasmas de fusão, já que um tokamak, máquina de grandes proporções, necessita de um grande número de especialistas em técnicas de diagnósticos, vácuo, eletrônica de potência, bem como profissionais da área de informática com treinamento específico em certas ferramentas computacionais (métodos numéricos) para projetar experimentos nessa área.

A existência de grandes projetos internacionais visando à obtenção de fusão termonuclear controlada por confinamento magnético de plasmas é um dos principais fatores de motivação para o desenvolvimento dessa área em nosso país – sobretudo por meio do LNF.

Grandes projetos internacionais serão também importantes no desenvolvimento da área de plasmas espaciais no Brasil. O país já tem participação nos telescópios Gemini e SOAR (sigla, em inglês, Observatório Meridional para Pesquisa Astrofísica), localizados no Chile e Havaí (EUA).

Outro projeto em que pesquisadores brasileiros participam é o Corot (sigla, em inglês, para Convecção, Rotação e Trânsitos Planetários), cujo objetivo é a detecção e o estudo de oscilações estelares, bem como a procura de planetas extrassolares.

Vale também menção especial a dois projetos planejados e construídos no Brasil: o BBS (sigla inglesa para Espectroscópio Solar Brasileiro) e o BDA (Rede Decimétrica Brasileira).

