

Relatório da Comissão de Física de Plasmas - 2023/2024

Composição da Comissão:

Gustavo Paganini Canal (Coordenador)

Konstantin Georgiev Kostov (Vice-coordenador)

Luiz Fernando Ziebell

Maria Virginia Alves

A física de plasmas estuda o comportamento e as propriedades de gases ionizados empregando conceitos, métodos e técnicas de várias áreas da física, como mecânica, eletromagnetismo, termodinâmica e física estatística. Nesta era tecnológica em que vivemos, muito não seria possível sem o que sabemos hoje sobre os plasmas: interruptores a vácuo (arcos de plasma) são usados na distribuição de energia elétrica; lâmpadas de alta pressão iluminam nossas ruas e servem como fontes de luz em projetores modernos; tubos fluorescentes iluminam nossos escritórios e casas; chips de computador são gravados com tecnologias de plasma; processos de deposição de plasma permitiram o desenvolvimento de telas planas de computador e células solares de grande área; o fornecimento de energia elétrica também pode se beneficiar da eletricidade produzida por meio de fusão termonuclear controlada.

Considerando esta diversidade de temas é difícil estimar o número de físicos de plasma atuantes no Brasil. A partir do número de participantes dos últimos Encontros Brasileiros de Física de Plasmas, que ocorrem a cada dois anos desde 1991, a comunidade brasileira de físicos de plasma conta com cerca de cento e cinquenta pessoas. Desde 2020, o Encontro Brasileiro de Física de Plasmas ocorre juntamente com o Encontro de Outono da Sociedade Brasileira de Física (EOSBF), porém mantendo a regularidade de dois anos. No Encontro Brasileiros de Física de Plasmas de 2024, que ocorreu em Florianópolis - SC entre 19 e 23 de maio, um total de 21 trabalhos foram submetidos, entre eles 2 palestras convidadas de pesquisadores do Swiss Plasma Center e do Max Planck Institute for Plasma Physics, 10 trabalhos orais e 9 pôsteres. Porém, devido às inundações que ocorreram no Rio Grande do Sul, uma fração desses trabalhos não pôde ser apresentada. Dos 9 pôsteres inscritos, apenas 5 foram apresentados, enquanto que dos 10 trabalhos orais submetidos, 2 não puderam ser apresentados.

Para efeito de organização, a comissão de área de Física de Plasmas da Sociedade Brasileira de Física estabeleceu a seguinte divisão em sub-áreas: plasmas tecnológicos, plasmas de fusão, fenômenos básicos de plasmas e plasmas espaciais. Uma busca na base de dados do CNPq para Grupos de Pesquisa, permite encontrar aproximadamente 35 grupos de pesquisa para os quais a palavra plasma aparece. Estes grupos atuam nas subáreas previamente descritas.

Na sub-área aplicações tecnológicas de plasmas, houve desenvolvimento e pesquisa nos seguintes tópicos:

1. Tratamento de resíduos, tais como destruição de resíduos sólidos, tratamento de água poluída e decomposição de poluentes gasosos;
2. Processamento de materiais – implantação iônica por imersão em plasma, plasma etching e/ou sputtering, funcionalização de superfícies;
3. Deposição de filmes finos por plasma em baixa ou em alta pressão;
4. Aplicações biomédicas e cosméticas do plasma frio;
5. Aplicações do plasma frio na agricultura e indústria de alimentos;
6. Desenvolvimento e caracterização de novas fontes de plasma;
7. Plasma em líquidos e em contato com líquidos.

Algo que deve ser destacada nessa sub-área é a grande diversidade de plasmas utilizados, que envolve uma grande variedade de plasmas em baixa pressão; plasmas quentes em pressão atmosférica, tais como, tochas e arcos de plasma; e plasma frio em pressão atmosférica, tais como arco deslizante, descarga corona, descarga DBD e jatos de plasma. Uma recente aplicação tecnológica envolve estudos sobre a aplicação de plasmas em líquidos, tais como o plasma eletrolítico e a ativação de líquidos por plasma. Uma importante característica da sub-área plasmas tecnológicos é sua multidisciplinaridade, na qual trabalham em conjunto físicos de plasma, biólogos, químicos, engenheiros, médicos etc. Em função disso, e pela terceira vez, a Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais (SBPMat) introduziu em seus encontros anuais um simpósio temático sobre as aplicações tecnológicas de plasma nomeado “Recent Advances in Cold Plasmas and Related Applications”. O primeiro simpósio aconteceu em 2019 com apresentação de 48 trabalhos, o que demonstra a grande importância do plasma como uma ferramenta para processamento de materiais. O evento de 2023 foi realizado na forma presencial em Maceió - AL, entre 1 e 5 de outubro. Foram submetidos um total de 70 trabalhos, entre eles 9 palestras convidadas, 7 trabalhos orais e 54 pôsteres. Entre as palestras convidadas, houve 4 palestrantes nacionais e 5 estrangeiras. Tudo isso demonstra a consolidação do evento como um fórum nacional importante para a apresentação de trabalhos na área de aplicações tecnológicas do plasma. Além disso, entre 25 e 29 de novembro de 2023, ocorreu em Campus de Jordão o XLIV Congresso Brasileiro de Aplicações de Vácuo na Indústria e Ciência (CBrAVIC). Esse evento teve duas sessões de trabalhos dedicados a aplicações tecnológicas de plasma e um palestrante convidado estrangeiro apresentou trabalho na área de Medicina a Plasma.

A sub-área plasmas de fusão tem como objetivo principal o estudo de plasmas quentes visando a produção de energia por fusão termonuclear controlada (fusão). De forma resumida, podemos dar um panorama das pesquisas em fusão nuclear no Brasil durante o ano de 2023-2024 com as seguintes informações:

1. No Instituto de Física da Universidade de São Paulo, a pesquisa em fusão nuclear é realizada pelo Laboratório de Física de Plasmas do Departamento de Física Aplicada, onde é operado o tokamak TCABR. Uma modernização significativa dos principais sistemas do TCABR está

em curso. Essa modernização deverá tornar o TCABR atrativo para colaborações internacionais como estratégia para fortalecer o [Programa Nacional de Fusão Nuclear](#). Para isso, essa modernização permitirá aumentar o número de formatos da coluna de plasma que podem ser produzidos no TCABR e, além disso, o tornará adequado para investigar (i) o impacto de campos RMP sobre ELMs, (ii) a rotação de plasmas, (iii) a turbulência na borda e (iv) de injeção localizada de helicidade, em diferentes configurações de plasma. Modelagem numérica de futuros experimentos no TCABR utilizando campos RMP estão sendo realizadas com o código MHD visco-resistivo não-linear de dois fluidos M3D-C1. Esse código vem sendo desenvolvido por pesquisadores do Princeton Plasma Physics Laboratory, nos EUA, e hoje encontra-se instalado no supercomputador Santos Dumont, operado pelo Laboratório Nacional de Computação Científica, no Rio de Janeiro. Tais simulações envolvem o cálculo da resposta de plasmas do TCABR à campos RMP, da separação das chamadas variedades magnéticas e também das chamadas pegadas magnéticas. O projeto conceitual das 108 bobinas RMP que serão instaladas no interior da câmara de vácuo do TCABR já está concluído e a fabricação dos primeiros protótipos está em curso. O projeto de modernização do TCABR conta hoje com um grupo de 38 pesquisadores e aproximadamente 35 estudantes (iniciação científica, mestrado e doutorado) trabalhando nas diversas frentes de desenvolvimento envolvidas;

2. No Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a pesquisa em fusão nuclear é realizada no Laboratório Associado de Plasmas, onde encontra-se o Experimento Tokamak Esférico (ETE), que é um tokamak esférico que explora as vantagens de plasmas de baixa razão de aspecto - os mais promissores para o futuro desenvolvimento de reatores comerciais a fusão;
3. Na Universidade Federal do Espírito Santo, as pesquisas são realizadas no Laboratório de Plasma Térmico, onde é operado o tokamak de pequeno porte NOVA- UFES, o qual está sendo modernizado para testar um novo sistema de injeção localizada de helicidade utilizando canhões de plasma;
4. Nos dias 20 e 21 de março de 2023, foi realizada na sede da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) a Conferência Temática de Ciência e Tecnologia Nuclear, que reuniu profissionais de todo o Brasil para discutir sobre os avanços, desafios e perspectivas futuras da área nuclear, incluindo discussões sobre o estado atual e as perspectivas futuras do Programa Nacional de Fusão Nuclear (PNFN), da Rede Nacional de Fusão (RNF) e do Laboratório de Fusão Nuclear (LFN). Desta conferência temática saíram recomendações ao MCTI sobre a importância de termos investimento imediato nas pesquisas em fusão dado o grande potencial de desenvolvimento de tecnologias e de produtos com alto valor agregado. Para a recriação da RNF, uma nova portaria do MCTI foi redigida e encontra-se no MCTI. A RNF congrega físicos teóricos e experimentais das várias instituições de ensino e pesquisa do país que desenvolvem trabalhos relacionados a plasmas de fusão. O projeto

executivo de engenharia do LFN já foi concluído e esse deverá ser construído no mesmo sítio do Reator Multipropósito Brasileiro, em Iperó - SP. O orçamento do Projeto Executivo é de cerca de R\$ 120 milhões, em valores atualizados. No momento, estão sendo buscados recursos orçamentários para a construção do LFN no âmbito dos Investimentos Plurianuais Prioritários;

5. Um termo de cooperação IFUSP-CNEN está sendo redigido para permitir que investimentos da CNEN possam ser usados para financiar o experimento TCABR. Dentro desse termo de cooperação, tanto o Laboratório de Física de Plasmas do IFUSP quanto o Laboratório Associado de Plasmas do INPE e o Laboratório de Plasma Térmico da UFES poderão solicitar recursos orçamentários. Além de financiar os experimentos diretamente, esses recursos permitirão maior mobilidade de pesquisadores e estudantes dessas 3 instituições, aumentando assim a difusão de conhecimento entre os diferentes grupos.

A sub-área fenômenos básicos de plasmas e plasmas espaciais envolve a participação de pesquisadores de áreas afins, como astronomia, astrofísica, física de feixes de partículas etc., fazendo interface com pesquisadores das áreas de plasmas de fusão e plasmas tecnológicos, tanto em estudos teóricos quanto em estudos experimentais. Os temas desenvolvidos nessa sub-área são diversos, envolvendo ondas e instabilidades em plasmas, fenômenos não-lineares em plasmas, turbulência em plasmas, plasmas quânticos etc., com abordagens que envolvem técnicas da magnetohidrodinâmica, da teoria cinética de plasmas, e de simulações numéricas. Com relação às abordagens utilizadas, cabe mencionar que um trabalho da área teve destaque na mídia no ano de 2022. Foi um trabalho envolvendo simulação da dinâmica de um buraco negro com uso de inteligência artificial - uma abordagem bastante original. O trabalho foi publicado em *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* e foi originado da dissertação de Mestrado de Roberta Duarte Pereira, tendo sido desenvolvido no IAG da USP.

A interação Sol-Terra, determinante do que se convencionou chamar de Clima Espacial, é objeto de estudo de vários pesquisadores do INPE e envolve pesquisas de monitoramento da ionosfera, do campo magnético terrestre, da atividade solar em solo e via satélite. A disponibilidade de uso de satélites é imensa, e permite o desenvolvimento de trabalhos em diversos temas de interesse em plasmas espaciais. Ainda no âmbito da pesquisa em plasmas espaciais, destacamos as missões espaciais SPORT e GSST. A Missão SPORT é uma parceria entre a NASA, o INPE e o ITA, cujo objetivo é colocar em órbita um nanosatélite dedicado ao estudo da ionosfera do setor brasileiro. O lançamento do satélite aconteceu no dia 26 de novembro de 2022 e ele tem sido utilizado para, entre outras coisas, estudar a formação de bolhas de plasma ionosférico que impactam na confiabilidade do mapeamento geoespacial e os serviços dependentes dele, como aplicativos de navegação e de agricultura de precisão, além de sistemas de pouso automatizado empregados em aeroportos. No Brasil, o projeto conta com o apoio institucional do ITA e do INPE. Nos EUA, participam a NASA, a Força Aérea dos EUA, a Utah State University, a University of Texas at Dallas e a University of Alabama at Huntsville. O SPORT fornecerá informações inéditas sobre a natureza da ionosfera no setor brasileiro, gerando uma oportunidade única de produção científica de alto impacto na área de física espacial. A Missão Telescópio Solar

Espacial Galileo (GSST - Galileo Solar Space Telescope) é uma missão de fronteira do conhecimento para prover medidas precisas do campo magnético na fotosfera e camadas superiores da atmosfera solar. O projeto faz parte do esforço internacional para compreensão da evolução da Heliosfera, que é o ambiente espacial governado pelo Sol, onde a Terra e os planetas do Sistema Solar se encontram. Além de obter dados científicos complementares aos dados gerados pela NASA, ESA e JAXA, a missão GSST colocará o Brasil em um lugar de protagonismo no mundo, dando-nos soberania sobre as informações necessárias para geração de produtos e serviços do programa de Clima Espacial do INPE (EMBRACE) que servirão de base para alertas das condições do espaço no entorno da Terra.

São muitas as instituições brasileiras desenvolvendo pesquisas em áreas relacionadas a plasmas, incluindo plasmas básicos. Alguns exemplos, com os principais tópicos desenvolvidos, são os seguintes:

- USP: Transporte em plasmas magneticamente confinados, dinâmica de linhas magnéticas, turbulência em plasmas de fusão, instabilidade e equilíbrio MHD de plasmas de fusão; supressão de ELMs por campos RMP; injeção localizada de helicidade;
- INPE: Plasmas magnetosféricos e ionosféricos, plasmas solares, plasmas tecnológicos;
- UNESP: Plasmas tecnológicos;
- UnB: Plasmas tecnológicos;
- UFRGS: plasmas quânticos, turbulência em plasmas, ondas e instabilidades em plasmas, física de aceleradores;
- UFPAR: Transporte em plasmas magneticamente confinados, turbulência em plasmas de fusão.