

# O IPEN: DA METALURGIA NUCLEAR AO GRAFENO

por Jesualdo Luiz Rossi e Rubens Nunes de Faria Jr.

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é uma autarquia vinculada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (SCTI) do Governo do Estado de São Paulo e gerida técnica e administrativa-mente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), do Governo Federal, [acesse aqui](#).

Localizado no campus da Universidade de São Paulo - USP, o IPEN ocupa uma área de 500 mil m<sup>2</sup>, o IPEN tem hoje uma destacada atuação em vários setores da atividade nuclear entre elas, nas aplicações das radiações e radioisótopos, principalmente para área de saúde, em materiais, em radioproteção e dosimetria, cujos resultados vêm proporcionando avanços significativos no domínio de tecnologias, na produção de materiais e na prestação de serviços de valor econômico e estratégico para o país, possibilitando estender os benefícios da energia nuclear à segmentos maiores da população.

A multidisciplinaridade que das atividades do setor nuclear, tem permitido ao IPEN, conduzir um amplo e variado programa de pesquisas e desenvolvimentos em outras áreas. Dentre essas, na área de biotecnologia, na radioquímica, na área de materiais e nanotecnologia. Um rigoroso programa de controle radiológico e de segurança nuclear é conduzido em todas as instalações nucleares e radioativas do IPEN. Este programa inclui monitorações radiológicas, pessoal e ambiental, atendimento a emergências radiológicas, análises radiotóxicológicas, avaliações radiosanitárias, calibração de monitores de radiação, tratamento e acondicionamento de rejeitos nucleares de baixa atividade.

O IPEN é ainda responsável, em associação com a USP, pela condução de programas de pós-graduação para mestrado e doutorado. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Ministério da Educação (MEC), tem avaliado os cursos de pós-graduação do IPEN outorgando em todas as suas avaliações os melhores conceitos colocando-o entre os melhores cursos de pós-graduação do país. Atingiu, em 2023, o patamar de 3,2 mil titulações, entre

mestrado e doutorado. Desde 2019 oferece o Curso de Mestrado Profissional Stricto Sensu em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde.

O Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais, é o herdeiro da Divisão de Metalurgia Nuclear, do Instituto de Energia Atômica, que foi implantado em dezembro de 1961. Na década de 1960 as atividades da Divisão de Metalurgia ficaram voltadas para o domínio de tecnologia de fabricação dos elementos combustíveis tipo placa para reatores de pesquisa. Durante o ano 2000, o IPEN experimentou uma mudança na sua estrutura de gestão administrativa e ocorreu a implantação de Centros em substituição aos departamentos e a Metalurgia se transformou no Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais (CECTM).

Na área de materiais metálicos do CECTM, existe um setor voltado a indústria automotiva. A área de conformação de aços de alto desempenho está em contínuo desenvolvimento em todo o mundo. A força motriz para este desenvolvimento está no setor automotivo, com a preocupação com o meio ambiente e a segurança dos passageiros. Para apoiar o potencial desta tecnologia, as inovações em aços de alta resistência são



Figura 1. Vista aérea do IPEN



Figura 2. Divisão de Metalurgia Nuclear circa 1962 e CECTM em 2023

essenciais. A pesquisa e o desenvolvimento, tanto acadêmico como industrial, que é um dos pré-requisitos mais importantes para continuar a inovação, tem sido feita nas últimas décadas. São extensivamente abordados tópicos como processos de estampagem, soldagem, outras formas de união como adesivagem e clinch, tratamentos térmicos, revestimentos protetivos e corrosão.

Mais especificamente na área de grafeno, o Laboratório de Materiais Magnéticos do CECTM se destina à pesquisa de materiais avançados para dispositivos de armazenamento de energia magnética. Este grupo de materiais magnéticos teve início em 1984 para obtenção de ímãs permanentes à base de terras raras e metais de transição. Neste projeto produziu-se por redução cálcio-térmica a liga magnética  $\text{SmCo}_5$  para aplicação em ultra centrífugas utilizadas na separação isotópica do urânio. A partir de então os esforços se voltaram para ligas à base de neodímio-ferro-boro com e sem adição de elementos de liga. O grupo sempre utilizou o hidrogênio nos processos de fabricação destes materiais magneticamente duros via metalurgia do pó. Como parte das atividades acadêmicas, também foi publicado um livro introdutório ao magnetismo dos materiais, [acesse aqui](#).

Com a crescente renovação da frota automobilística mundial, pesquisas direcionadas para captação e armazenamento de energia elétrica e magnética são altamente relevantes na atualidade. Os principais componentes do veículo elétrico são os ímãs permanentes dos motores para a propulsão, as baterias para autonomia e supercapacitores para aceleração. <[https://www.ipen.br/portal\\_por/portal/interna.php?secao\\_id=523&campo=5582](https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=523&campo=5582)>.

O Laboratório de Baterias, Supercapacitores e Células Fotovoltaicas do CECTM se destinam à pesquisa de materiais avançados para dispositivos de captação e armazenamento de energia elétrica. Atualmente, o grafeno (G) despontou como um material altamente promissor para aplicação em dispositivos eletrônicos e vem sendo extensivamente investigado no

âmbito nacional e internacional. Várias pesquisas inovadoras estão em andamento para redução de derivados de óxido de grafeno (GO) utilizando o processo HDDR (hidrogenação-desproporção-dessorção-recombinação) para aplicação em supercapacitores (SC). Os nano compósitos de óxido de grafeno reduzido apresentam características elétricas superiores que levam a valores maiores de capacitância específica e condutividade elétrica. Também estudos de fotocélulas tipo célula solar sensibilizada a corante (DSSC) estão voltados atualmente para a aplicação do grafeno neste tipo de dispositivo para captação de energia. Medidas elétricas destes dispositivos de armazenamento e captação de energia elétrica são realizadas em analisador digital e incluem testes galvanostáticos de carga e descarga e voltametria cíclica. No campo das baterias recarregáveis foi publicado um livro introdutório a estes dispositivos elétricos <[https://www.ipen.br/portal\\_por/portal/interna.php?secao\\_id=523&campo=18493](https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=523&campo=18493)>.

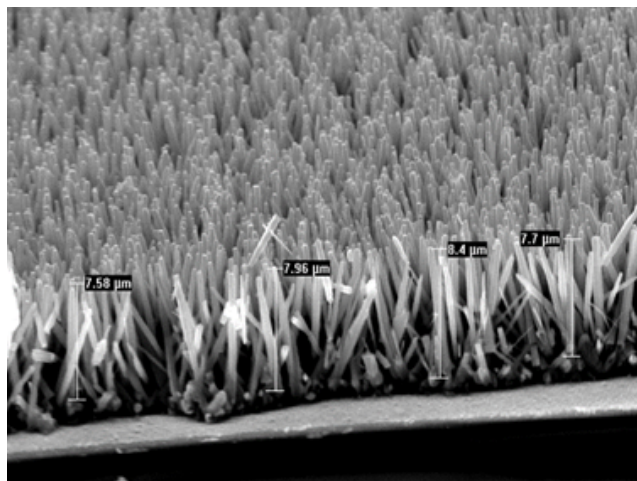


Figura 3. ZnO nanorods. Imagem de Eguiberto Galego.

O grande interesse no desenvolvimento da célula DSSC reside em seu baixo custo de fabricação. Durante os últimos 15 anos, o objetivo das pesquisas realizadas foi a substituição do corante de rutênio e da platina utilizada no contra-eletrodo. Atualmente a maior eficiência de conversão alcançada é de 13%, obtida utilizando-se moléculas de porfirinas como corante, grafeno como contra-eletrodo (CE), e eletrólito a base de cobalto. Devido ao alto custo da platina diversos materiais estão sendo estudados para a sua substituição. Dentre estes, o grafeno apresenta grande vantagem devido a: mobilidade dos portadores ( $10.000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), área específica ( $2.630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ), condutividade térmica ( $3.000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) e transparência ótica (97,7%). No entanto, a condutividade elétrica e a atividade catalítica são inferiores as apresentadas pela platina. Verificou-se uma melhora da atividade catalítica quando se empregou o grafeno com uma estrutura de colmeia e pela dopagem da estrutura bi-dimensional com hetero-átomos (nitrogênio, boro e fósforo). Esta dopagem promove o aumento de defeitos na estrutura do grafeno. Além da utilização do grafeno como CE, este material também foi estudado para sua utilização como uma interface entre o óxido de estanho dopado com flúor – FTO e o ZnO no eletrodo de trabalho. Devido a baixa rugosidade do grafeno a aplicação do mesmo, nesta interface, promove uma melhor adesão entre o FTO e o ZnO. Nos eletrodos nano-estruturados, além da adesão, o grafeno promove a redução dos processos de recombinação. O ZnO nanoestruturado também pode ser empregado como material ativo de eletrodos de supercapacitores, podendo, assim, ser aplicado tanto em dispositivos para armazenamento quanto em dispositivos para captação de energia.

**Jesualdo Luiz Rossi e Rubens Nunes de Faria Jr.** são pesquisadores titulares do IPEN, professores e orientadores pela USP. <jelrossi@ipen.br> <rfaria@ipen.br>

## PORTAL AQUECIMENTO INDUSTRIAL

Confira as mais recentes notícias do Portal Aquecimento Industrial e tenha informações sobre a indústria metalmeccânica no Brasil e do mundo.



## LEIA ONLINE

Notícias | Revistas técnicas

Artigos Técnicos | Colunas

Site: [aquecimentoindustrial.com.br](http://aquecimentoindustrial.com.br)  
 E-mail: [contato@aquecimentoindustrial.com.br](mailto:contato@aquecimentoindustrial.com.br)  
 Fone: +55 (19) 3288-0677 ou 3288-0437

