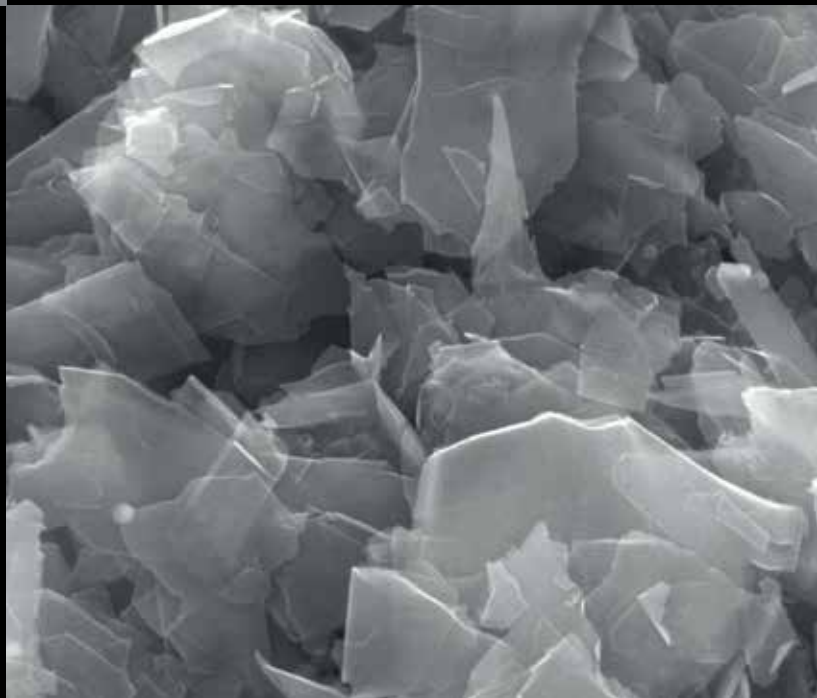
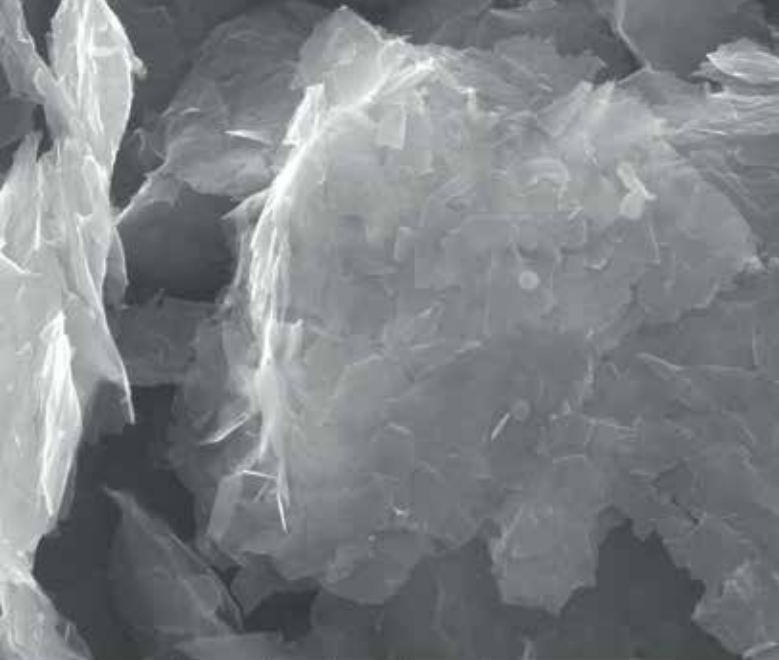


GRAFENO MADE IN BRASIL





Fábricas em Minas Gerais e no Rio Grande do Sul colocam o país entre os produtores globais do material, considerado de grande apelo tecnológico

Domingos Zapparoli

As duas primeiras plantas industriais brasileiras de grafeno entraram em escala produtiva e trabalham para conquistar os primeiros clientes. O grafeno é um nanomaterial composto de átomos de carbono que possui propriedades como alta condutividade térmica e elétrica, flexibilidade e elevada resistência mecânica. Essas características despertam o interesse de diferentes setores industriais, que podem aplicar o material em uma ampla gama de produtos, como baterias mais leves e com maior tempo de carga, smartphones com telas flexíveis, tintas anticorrosivas, plásticos e borrachas mais resistentes e condutores, ligas metálicas muito leves e tecidos e embalagens com barreira e dissipação térmica. O grafeno foi descoberto em 2004 pelos cientistas de origem russa Andre Geim e Konstantin Novoselov, pro-

fessores da Universidade de Manchester, na Inglaterra. Seis anos depois, a dupla ganhou o prêmio Nobel de Física por suas pesquisas com o material.

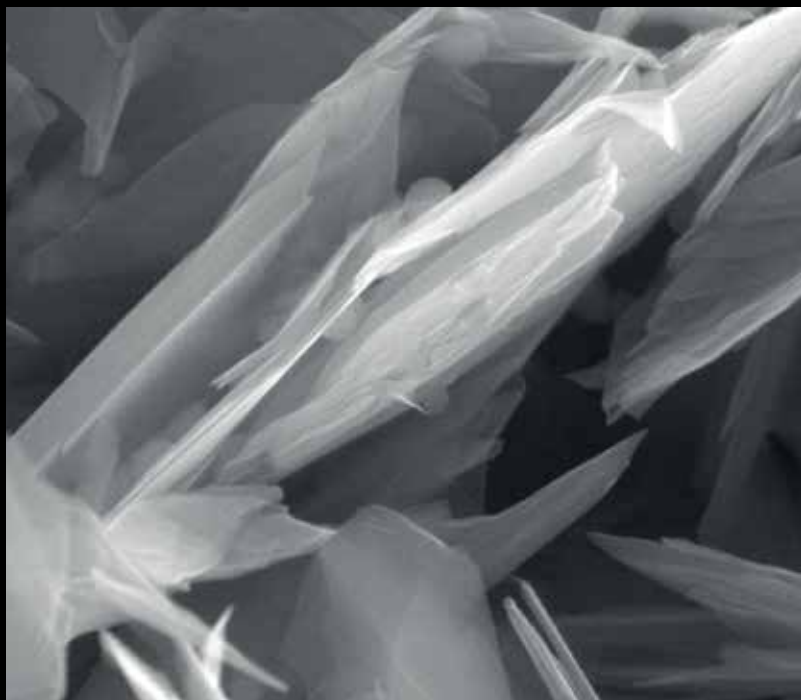
Uma das fábricas pioneiras do material no Brasil é da estatal Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge), resultado do Projeto MG-grafeno, desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). A outra unidade industrial é o UCSGraphene, fruto de um projeto do Parque de Ciência, Tecnologia e Inovação da Universidade de Caxias do Sul (TecnoUCS), no Rio Grande do Sul.

A produção da Codemge está localizada em Belo Horizonte e é realizada por uma equipe multidisciplinar de 59 pessoas, sendo 20 doutores, entre qui-

micos, físicos, biólogos e engenheiros. A fabricação experimental de grafeno teve início em 2018, com uma capacidade de 150 quilos (kg) por ano, volume que desde o final de 2019 tem sido gradualmente ampliado e já alcançou a capacidade de 300 kg anuais.

Ricardo Toledo, diretor de fomento à alta tecnologia da Codemge, relata que o Projeto MG-grafeno é dividido em três fases. A primeira etapa foi o desenvolvimento da rota tecnológica, concluída com a produção de 150 kg anuais. A segunda, em implementação, é o estabelecimento da capacidade de produzir em escala. A meta é ultrapassar a marca de 1 tonelada por ano em 2021. A terceira fase envolve o estabelecimento de acordos comerciais com empresas que vão desenvolver junto com a Codemge aplicações para o grafeno.

Imagens de microscopia eletrônica revelam a estrutura do grafeno



Unidade de produção da fábrica-piloto do Projeto MGgrafeno, em Belo Horizonte



“Nosso modelo de negócio não prevê a comercialização de grafeno, como uma *commodity*, mas parcerias com empresas interessadas, que vão desenvolver produtos que utilizam grafeno na sua formulação”, explica Toledo. A estratégia implica customizar o grafeno fornecido. “Idealmente, nossos parceiros precisam ser companhias com uma área estruturada de P&D [pesquisa e desenvolvimento], com capacidade de interagir com nossos pesquisadores, que estabelecerão as especificações do grafeno para cada aplicação”, destaca a coordenadora de Projetos de Pesquisa da Codemge, Valdirene Peressinotto.

O objetivo inicial da Codemge é estabelecer parcerias com 15 empresas de segmentos distintos de mercado. Cinco, cujos nomes são mantidos em sigilo, já foram definidas e estão em fase de negociação contratual. São uma empresa têxtil, uma siderúrgica, um fabricante de tintas anticorrosivas, um produtor de filmes plásticos para embalagens e uma indústria de manufatura aditiva, ou seja, que produz itens por impressão tridimensional (3D). A Codemge também possui negociações avançadas com sua parceira na produção de células de baterias para veículos elétricos, a inglesa Oxis Energy (ver Pesquisa FAPESP nº 285).

Até o momento, o Projeto MGgrafeno recebeu investimentos de R\$ 55,3 milhões, bancados pela Codemge. A produção industrial demandará investimentos de mais R\$ 70 milhões, recursos que a estatal prevê conseguir com um sócio estratégico – ainda em negociação.

O Projeto MGgrafeno teve início em 2016 com a decisão da Codemge de agre-

gar valor ao grafite produzido em Minas Gerais – o material é o insumo básico do grafeno. O Brasil é o terceiro produtor mundial de grafite, com uma produção de 96 mil toneladas em 2019, segundo relatório do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Minas Gerais responde por 73% da produção brasileira. O grafite é comercializado na faixa de mil dólares a tonelada. O preço do grafeno varia conforme sua especificação, chegando a 500 ou mesmo mil vezes esse valor.

O processo de produção de grafeno adotado pela Codemge é o de esfoliação química do grafite natural. O grafite é um mineral lamelar, formado pelo empilhamento de lâminas de grafeno – 1 milímetro de grafite possui 3 milhões de camadas de grafeno. A esfoliação química corresponde basicamente a separar essas lâminas e mantê-las isoladas e estáveis. O processo ocorre com o uso de solventes – no caso da Codemge, água com alguns aditivos. A etapa seguinte é a separação do produto, a concentração e a secagem. “Nosso processo permite a produção em escala, com custo relativamente baixo e um aproveitamento superior a 90%. Quase não gera resíduos”, afirma a pesquisadora do CDTN Cláudia Furtado.

Outra vantagem da esfoliação química é a obtenção de grafenos com diferentes números de camadas e tamanhos laterais, o que proporciona a sua incorporação em diversas formulações e sua disposição sobre superfícies e na forma de filmes, fibras e membranas. A fábrica da Codemge produz dois tipos de grafeno: o grafeno

de poucas camadas, entre 1 e 5, o mais valorizado no mercado, e as nanoplaquetas de grafeno, que têm entre 5 e 10 camadas. Os resíduos do processo são utilizados para fabricar 2,6 toneladas anuais de nanografite (ver *infográfico ao lado*).




O físico Flávio Plentz, do Departamento de Física da UFMG e pesquisador do Projeto MGgrafeno, afirma que o grupo conseguiu superar os obstáculos que afetam a ainda incipiente indústria internacional de grafeno. “Temos um material disponível, com reprodutibilidade e confiabilidade.” Segundo o físico, os produtos disponíveis no mercado internacional apresentam diferenças de lote para lote – não há uma uniformidade na produção. Os produtores não fornecem uma folha de dados, com a caracterização técnica do produto, como tamanho, espessura e número de camadas.

“Estabelecemos um protocolo de qualificação científica do grafeno pioneiro no mundo. Nossos parceiros comerciais têm acesso à folha de dados. Eles sabem exatamente o produto que vão encontrar e quais características contratadas serão entregues”, conta Plentz. Essa regularidade produtiva já chamou a atenção de três grupos internacionais que abriram negociações para ter acesso ao produto.

No Rio Grande do Sul, a unidade UCS-Graphene entrou em operação em março. O valor do investimento, bancado pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), instituição Comunitária de Educação Superior, não foi divulgado. “Nosso grafeno é do tipo standard, também conhecido como pilhas de folhas, que são *nanoflakes* [nanoflocos] que têm entre 30 e 100

Diferentes produtos

Confira as propriedades e aplicações dos dois tipos de grafeno e nanografite produzidos pelo Projeto MGgrafeno

Material	Características	Aplicações	Forma de apresentação
 Grafeno de poucas camadas	Tem entre 1 e 5 camadas, com distribuição com foco em 3 camadas, e um tamanho lateral médio de 120 nanômetros	Filmes condutores transparentes, sensores e dispositivos, têxteis condutores, baterias, supercapacitores, impressão 3D	Produto disperso em água ou em versão em pó
 Nanoplaquetas de grafeno	Têm entre 5 e 10 camadas, com distribuição com foco em 6 camadas	Termoplásticos, compósitos, tintas condutoras, baterias, cimentos, refratários, revestimentos	Produto sólido, em pó ou torta*
 Nanografite	Pequenos <i>flakes</i> (flocos) de grafite, entre 10 e 100 camadas	Peças metálicas sinterizadas, lubrificantes, plásticos, baterias	Produto sólido, em pó ou torta*

*SÓLIDO NÃO TÃO REFINADO COMO O PÓ E UMEDECIDO

FONTE CODEMGE

camadas de grafeno. E também produzimos nanoplaquetas, abaixo de 30 camadas”, afirma Diego Piazza, coordenador do projeto e pesquisador do TecnoUCS. Segundo ele, a capacidade produtiva inicial é de 500 kg por ano, volume que poderá ser estendido para 5 mil kg anuais, acompanhando o aumento da demanda.

A produção de grafeno resulta de um projeto de mais de 15 anos da UCS. Nesse período, a instituição desenvolveu diferentes rotas produtivas. Em 2018, após uma análise de mercado, a UCS concluiu que estava diante de uma boa oportunidade e resolveu acelerar o processo por meio da contratação de uma consultoria internacional. Os equipamentos e o processo

produtivo, por meio de esfoliação química, o mesmo da planta mineira, foram adquiridos sob orientação dessa empresa.

“Nosso foco está dividido em três frentes: produção, caracterização e desenvolvimento de aplicações do grafeno”, diz Piazza. Entre os estudos realizados na universidade estão o uso de grafeno em materiais compósitos (polímeros, cerâmicas e metais), equipamentos de proteção mais leves e robustos, e revestimentos avançados, como produtos para a absorção de óleo, com potencial de uso em vazamentos de petróleo no mar.

A primeira parceria foi estabelecida com a fabricante gaúcha de carroceria de ônibus Marcopolo. Seu interesse é por compósitos de alumínio e grafeno para fabricar peças mais leves e resistentes. “Estamos em estágios diferentes de negociação com potenciais usuários de grafeno”, conta Piazza. O UCSGraphene optou por um modelo flexível de atuação no mercado. Pode apenas realizar a venda de grafeno para os interessados ou estabelecer parcerias de desenvolvimento de aplicações do material.

O relatório “O mercado global de grafeno”, divulgado em 2019 pela consultoria Research and Markets, informa que existem 200 companhias no mundo que produzem materiais que utilizam grafeno ou estão desenvolvendo produtos que incorporam grafeno, a maioria na América do Norte, Europa, China e Austrália. A estimativa é de que esse mercado cresça 30% ao ano e chegue a US\$ 250 milhões em 2025.

O físico Thoroh de Souza, criador do Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias (MackGraphe) da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em São Paulo (ver Pesquisa FAPESP nº 284), diz que produzir grafeno em escala e manter a qualidade do material é um grande feito, mas é apenas o primeiro elo da cadeia produtiva. Apoiado pela FAPESP, o MackGraphe foi o primeiro centro de pesquisa sobre o material na América Latina, criado em 2013.

O passo seguinte, introduzir o grafeno na formulação de produtos, também não é trivial. “É preciso muito trabalho para converter as propriedades adequadas do grafeno para cada produto e de uma forma que esses produtos façam diferença na vida das pessoas”, diz o pesquisador. Executar essa tarefa inspirou Souza a criar a startup Dream Tech Nanotechnology. Em operação desde julho de 2018, ela desenvolve aplicações de grafeno customizadas para possíveis clientes industriais – até o momento tem elaborado projetos nas áreas de cosméticos e automotiva. Segundo Souza, as possibilidades de novas aplicações para o grafeno são inúmeras. “Em breve teremos produtos *high tech* concebidos com o uso do grafeno, como células solares e sensores de inteligência artificial”, afirma. ■

Projeto

Grafeno: fotônica e opto-eletrônica: colaboração UPM-NUS (nº 12/50259-8); Modalidade Auxílio à Pesquisa – Programa SPEC; Pesquisador responsável Antonio Helio de Castro Neto (Universidade Nacional de Singapura); Investimento R\$ 15.230.994,51.

Teste de avaliação de consistência e pureza do grafeno produzido pelo UCSGraphene

