

Obtenção de Nanomateriais de Carbono por Arco Elétrico

DOI: 10.5281/zenodo.22310981

Pedro Diniz de Oliveira Veloso^{a*}

Improper plastic disposal generates microplastic pollution, impacting respiratory health and ecosystems. This study critically reviews the recycling of solid plastic waste into carbon nanomaterials, such as graphene, through pyrolysis followed by electric arc discharge. The technical and environmental efficacy of the process is analyzed, demonstrating the conversion of environmental liabilities into high-value products with excellent electrical conductivity. It is concluded that this innovative approach integrates sustainability and materials engineering, mitigating airborne pollution and generating promising technological applications.

O descarte inadequado de plásticos gera poluição por microplásticos, cujos impactos afetam a saúde respiratória e os ecossistemas. Este estudo revisa criticamente a reciclagem de resíduos plásticos sólidos na produção de nanomateriais de carbono, como o grafeno, por meio de pirólise seguida de descarga de arco elétrico. Analisa-se a eficácia técnica e ambiental do processo, que converte um passivo ambiental em produtos de alto valor agregado com elevada condutividade elétrica. Conclui-se que essa abordagem inovadora integra sustentabilidade e engenharia de materiais, atenuando a poluição atmosférica e gerando aplicações tecnológicas promissoras.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: pedrodveloso@gmail.com

Palavras-chave: resíduos plásticos; nanomateriais de carbono; grafeno; microplásticos; sustentabilidade.

Recebido em 16 de Agosto de 2026,

Aceito em 30 de Agosto de 2026,

Publicado em 04 de Setembro de 2026.

Introdução

O acúmulo desordenado de resíduos plásticos representa um dos maiores e mais urgentes desafios ambientais da atualidade. Devido a sua versatilidade, durabilidade e baixo custo de produção, o consumo global de plásticos cresceu exponencialmente nas últimas décadas, resultando em um volume massivo de materiais que frequentemente são descartados de forma inadequada em aterros sanitários ou diretamente no meio ambiente. A degradação lenta desses polímeros agrava severamente a poluição terrestre e aquática, impulsionando a busca científica por tecnologias de reciclagem que não apenas mitiguem o impacto ambiental, mas que também agreguem alto valor econômico aos produtos recuperados.

Nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar uma abordagem inovadora, sustentável e economicamente viável para a reciclagem de resíduos plásticos sólidos. O foco central da discussão consiste em explorar métodos eficientes para converter esse passivo ambiental em nanomateriais de carbono, com destaque para a obtenção de estruturas formadoras de grafeno.

A tecnologia aqui avaliada baseia-se na integração de dois processos físico-químicos: primeiramente, a carbonização dos resíduos plásticos por meio de pirólise a 900 °C em um ambiente de nitrogênio e vapor de água, o que gera um material carbonoso poroso. Em seguida, analisa-se a utilização desse material ativado como eletrodo em um sistema de descarga de arco elétrico para a síntese final dos nanomateriais.

Ao contrário dos métodos tradicionais de síntese de grafeno e nanomateriais de carbono — que frequentemente envolvem altos custos operacionais, procedimentos complexos e a utilização de reagentes químicos perigosos —, a via tecnológica discutida se destaca por utilizar resíduos amplamente disponíveis como matéria-prima. Dessa forma, busca-se evidenciar como essa técnica pode solucionar um duplo desafio: atuar como uma alternativa de remediação ecologicamente eficaz para a poluição plástica e, simultaneamente, viabilizar a produção de materiais aplicáveis em setores de engenharia e tecnologia.

Metodologia

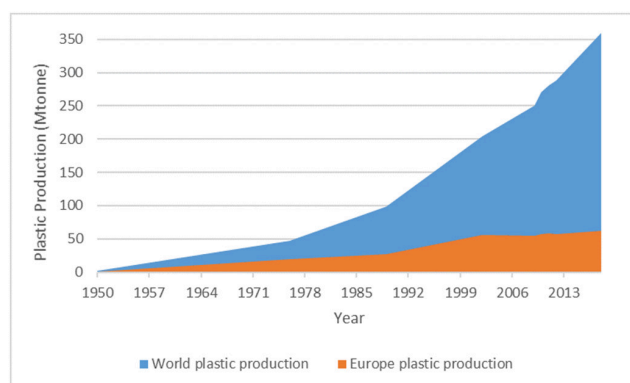
Este trabalho caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo e crítico, baseada na análise de artigos científicos recentes voltados à reciclagem de polímeros e aos impactos ambientais dos microplásticos. O estudo fundamenta-se principalmente na pesquisa de Kazankapova et al. (2024), complementada por literaturas secundárias referentes à ocorrência e aos efeitos toxicológicos de polímeros no ar atmosférico. A pesquisa foi conduzida por meio de buscas em bases de dados científicas e plataformas digitais de prestígio, como ScienceDirect e Google Scholar, utilizando o acesso via portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Foram empregadas palavras-chave pertinentes ao tema, selecionando-se trabalhos que permitissem uma correlação direta entre o problema da poluição e as soluções via engenharia de materiais.

Resultados e discussão

O Problema dos Resíduos Plásticos e os Impactos na Saúde

O problema central abordado pelos estudos analisados reside no ciclo de vida e no descarte inadequado de polímeros sintéticos, cuja produção em escala global cresceu de forma desenfreada nas últimas décadas, comportamento que pode ser observado em um gráfico em área na Figura 1.¹

Figura 1. Gráfico em área detalhando o crescimento exponencial da produção global de plásticos de 1950 a 2018. Extraído da referência 1.



Esses polímeros não sofrem biodegradação, fragmentando-se em micro e nanoplásticos.^{1,2} A literatura adverte que os microplásticos estão onipresentes no meio ambiente, contaminando o ar atmosférico de ambientes abertos e, com ainda maior intensidade, de ambientes

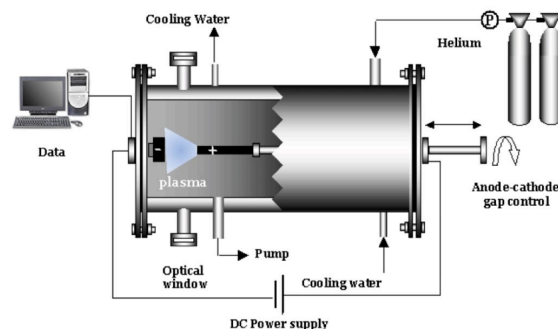
fechados, tornando-se disponíveis para a inalação humana direta.¹ As pesquisas demonstram que as partículas microscópicas podem alcançar os alvéolos pulmonares, causar estresse oxidativo, induzir citotoxicidade e promover a translocação de contaminantes para a corrente sanguínea.¹

Diante desse panorama ambiental e toxicológico alarmante, surge a necessidade urgente de repensar a gestão de resíduos.² Pesquisadores contemporâneos têm direcionado o foco para a reciclagem ecológica por meio da produção de nanomateriais de carbono. Essa perspectiva muda o paradigma de um simples descarte para uma economia circular, em que o resíduo plástico atua como um precursor valioso para a tecnologia de materiais.²

Produção de Materiais de Carbono e Coprodutos

Para concretizar essa transformação, o estudo conduzido por Kazankapova et al. (2024),² que serve como referência explícita para todos os dados e procedimentos discutidos nesta seção, utilizou uma abordagem integrada em duas etapas. Inicialmente, os resíduos foram triturados e submetidos à carbonização e ativação em um forno rotativo de alta temperatura (900 °C) sob atmosfera de nitrogênio e vapor de água, gerando um material carbonoso de estrutura porosa.² Em seguida, esse carvão ativado foi empregado como eletrodo (ânodo) em um sistema de descarga de arco elétrico, cujo esquema representativo pode ser observado na Figura 2.

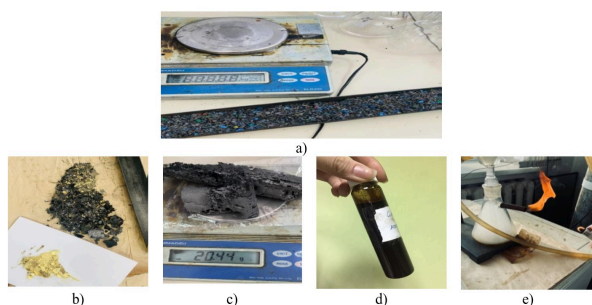
Figura 2. Esquema da instalação e do reator de síntese de nanomateriais por descarga de arco elétrico em atmosfera de hélio. Extraído da referência 2.



Neste reator, a aplicação de uma elevada corrente elétrica (100 A) provocou a evaporação térmica do material em um ambiente inerte de hélio, promovendo a dissipação intensa do carbono e a reorganização estrutural dos nanomateriais em fase plasma.²

Os resultados atestaram a alta eficácia desta via sintética, maximizando a sua viabilidade econômica através da geração de coprodutos valiosos.² Durante o tratamento térmico inicial, observou-se a formação simultânea de gases inflamáveis e matéria orgânica sólida, ilustrados na Figura 3.²

Figura 3. Fotografias dos produtos formados: material de carbono poroso, produto líquido, gás inflamável em combustão e produto orgânico sólido.
Extraído da referência 2.



A análise desses coprodutos revelou que a porção gasosa é rica em hidrogênio e metano, que podem ser reutilizados para gerar energia para o próprio aquecimento do forno, aumentando a eficiência do processo.² Por sua vez, a matéria orgânica sólida de coloração branco-amarelada foi identificada por difração de raios-X como sendo composta pelos ácidos tereftálico e sebáico.² A obtenção dessas substâncias é extremamente interessante para a indústria química, uma vez que são compostos-chave na fabricação de poliésteres e resinas.²

Caracterização Estrutural e Elétrica

Para atestar a conversão efetiva do carvão em nanomateriais com conformação grafítica após o uso do arco elétrico, os autores empregaram a espectroscopia Raman, técnica fundamental para avaliar a qualidade e a organização de estruturas de carbono.²

Figura 4. Espectro Raman do resíduo plástico carbonizado e ativado após o método de arco elétrico.
Extraído da referência 2.

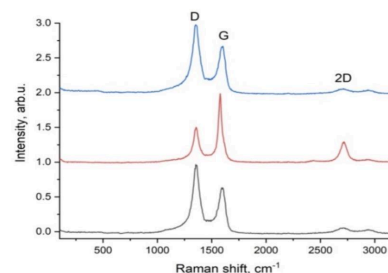
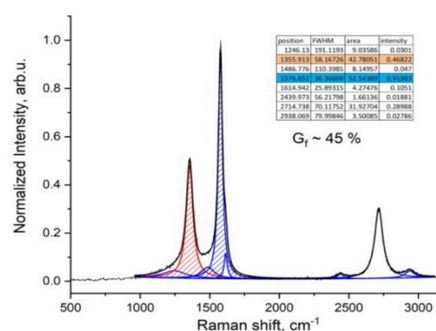


Figura 5. Deconvolução do espectro Raman destacando as áreas e intensidades dos picos D, G e 2D. Extraído da referência 2.



Como demonstrado no espectro geral da Figura 4 e em sua deconvolução analisada na Figura 5, a presença marcante da banda G (em aproximadamente 1576 cm^{-1}) indicou com clareza a formação de uma estrutura grafítica, enquanto a banda 2D (próxima a 2715 cm^{-1}) indicou a presença de grafeno.² Embora a razão de intensidades das bandas (I_{2D}/I_G) sugira a presença de folhas de grafeno de poucas camadas ou de camada única, a elevada relação I_{2D}/I_G e o grau de grafitização global de 45% demonstram que o material obtido ainda apresenta uma quantidade considerável de defeitos estruturais e porções amorfas.² Contudo, esse valor representa uma melhoria estrutural substancial em relação ao carvão precursor, cujo grau era de apenas 29% antes da etapa do arco elétrico.²

Por fim, as avaliações demonstraram que as propriedades do nanomaterial sintetizado são excelentes.² A resistência elétrica do material foi reduzida em cerca de 3,6 vezes após o processamento no arco, adquirindo uma condutividade que se aproxima fortemente à do grafite

comercial.² Esse dado evidencia uma importante vantagem energética do método.² Enquanto a síntese industrial tradicional de grafite demanda o aquecimento global de fornos a temperaturas superiores a 2000 °C, a abordagem proposta utiliza um aquecimento em massa de apenas 900 °C para a etapa inicial de pirólise do precursor plástico.² A energia extremamente alta e necessária para a grafitização subsequente é fornecida de forma puramente localizada e ultrarrápida pelo plasma do arco elétrico, tornando o processo global muito mais viável e economicamente rentável.²

Conclusões

A problemática da poluição por resíduos plásticos, intensificada por fragmentos inaláveis como os micro e nanoplásticos, exige uma transição emergencial de métodos convencionais de descarte para soluções inovadoras de reaproveitamento. Diante disso, a análise dos estudos evidenciou que a engenharia de materiais desempenha um papel fundamental na mitigação desse passivo ambiental.

Verificou-se que a conversão de plásticos em nanomateriais de carbono, por meio da integração entre pirólise e descarga de arco elétrico, apresenta-se como uma técnica de extrema eficácia e de elevado valor agregado. A possibilidade de gerar compostos grafitados, aliada à produção paralela de gases inflamáveis e ácidos orgânicos úteis, demonstra que a sustentabilidade pode estar diretamente alinhada à rentabilidade industrial e ao avanço tecnológico. Além disso, a capacidade de alcançar níveis de condutividade elétrica próximos aos do grafite combinando uma etapa de pirólise a temperaturas mais brandas (900 °C) com a ação localizada do arco elétrico reforça o potencial de eficiência energética da técnica em relação aos métodos industriais convencionais que demandam aquecimento contínuo superior a 2000 °C.

A relevância deste estudo é acentuada pela urgência ditada pelo atual cenário global. O aumento na produção e no consumo de itens descartáveis intensifica a emissão de microplásticos, cujos impactos toxicológicos — sobretudo os relacionados ao trato respiratório e à exposição sistêmica — ainda necessitam de profunda investigação clínica. Sendo assim, tecnologias que consigam não apenas reter, mas transformar o lixo plástico em insumos nobres, possuem uma demanda altíssima, configurando um campo vasto e ainda incipiente na literatura científica aplicada em larga escala.

Por fim, conclui-se que a simbiose entre as ciências químicas, a sustentabilidade e a engenharia de materiais

representam o futuro do desenvolvimento tecnológico. O aprimoramento dessas técnicas de reciclagem promete não só reduzir drasticamente o acúmulo e os riscos associados aos resíduos plásticos, mas também democratizar e baratear a produção de nanomateriais de carbono, beneficiando setores que vão desde a energia até a saúde pública.

Contribuições por Autor

A resenha sobre os artigos em referência e a inclusão de observações pertinentes à sustentabilidade e físico-química são de Pedro Diniz Veloso de Oliveira.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao Grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 A. Torres-Agullo, A. Karanasiou, T. Moreno and S. Lacorte, *The Science of the Total Environment*, 2021, **800**, 149555.
- 2 M. K. Kazankapova, B. T. Yermagambet, Z. T. Dauletzhanova, A. Akshekina, A. B. Malgazhdarova, Z. M. Kassenova and A. K. Kolpek, *Brazilian Journal of Biology*, 2024, **84**, e289382.
- 3 A. Abdulhameed, N. Z. A. Wahab, M. N. Mohtar, M. N. Hamidon, S. Shafie and I. A. Halin, *Journal of Electronic Materials*, 2021, **50**, 3207–3221.
- 4 L. Dai, O. Karakas, Y. Cheng, K. Cobb, P. Chen and R. Ruan, *Chemical Engineering Journal*, 2023, **453**, 139725.
- 5 N. Kaewtrakulchai, A. Putta, W. Pasee, K. Fuangnawakij, G. Panomsuwan and A. Eiad-Ua, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, **540**, 012006.
- 6 J. Lim, S. Bee, L. T. Sin, C. T. Ratnam and Z. A. A. Hamid, *Polymers*, 2021, **13**, 3547.