

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JULIO NAVROTZKI CHILANTI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DA SOJA (*Glycine max* L.)  
PARA PRODUÇÃO DE GRAFENO**

**Bagé**

**2024**

**JULIO NAVROTZKI CHILANTI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DA SOJA (*Glycine max* L.)  
PARA PRODUÇÃO DE GRAFENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabriela Silveira da Rosa

Coorientador: Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

**Bagé**

**2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

C535e Chilanti, Julio Navrotzki

ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DA SOJA (Glycine  
max L.) PARA PRODUÇÃO DE GRAFENO / Julio Navrotzki Chilanti.  
58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2024.

"Orientação: Gabriela Silveira Da Rosa".

1. Engenharia Química. 2. Grafeno. 3. Engenharia e  
Materiais. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal do Pampa

**JULIO NAVROTZKI CHILANTI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DE RESÍDUOS DA SOJA (*Glycine max L.*) PARA  
PRODUÇÃO DE GRAFENO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 18 de dezembro de 2024.

Banca examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gabriela Silveira da Rosa

Orientadora

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. André Ricardo Felkl de Almeida

Coorientador

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Gabriel Henrique Justi  
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **ANDRE RICARDO FELKL DE ALMEIDA , PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2024, às 10:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIEL HENRIQUE JUSTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/12/2024, às 17:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA , PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/12/2024, às 08:58, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1635570** e o código CRC **FD9F811F**.

Referência: Processo nº 23100.023114/2024-81 SEI nº 1635570

## Resumo

A soja (*Glycine max* L.), é uma planta que tem seus primeiros registros de cultivo no leste da Ásia, mais em específico na China. No Brasil, na década de 70, a cultura do grão começou a ser explorada e com o avanço da tecnologia no ramo agrícola, nos dias atuais, o Brasil se tornou o segundo país que mais produz soja no mundo, com 147 milhões de toneladas do grão e uma área plantada de mais de 45 milhões de hectares. Com essa quantidade de soja produzida, muitos resíduos também são gerados, tais podem ser reaproveitados em diversas áreas, como fontes de suplementação animal, produção de alimentos. Porém, a área que mais se destaca pelo uso desses resíduos lignocelulósicos é a de desenvolvimento de novos materiais e nanomateriais, como o grafeno, celulose e nanocelulose, carvão ativado, nanotubos de carbono. O grafeno é um material composto majoritariamente por ligações carbono hibridizados  $sp^2$ , dispostos de forma hexagonal, sendo bidimensional e possuindo características físicas e químicas superiores, como alta resistência mecânica, alta condutividade térmica e área superficial. O grafeno pode ser sintetizado por diversas metodologias utilizando biomassas residuais como matéria prima. O presente trabalho teve como objetivo principal obter microestruturas porosas de grafeno a partir da soja residual da agroindústria e analisar suas características físicas e químicas. A metodologia aplicada foi a ativação termoquímica, utilizando as cinzas do resíduo da soja e hidróxido de potássio, como agente de ativação, aquecidos em forno tipo mufla. O resíduo foi beneficiado por peneiramento e moagem, resultando em um material particulado com diâmetro médio de Sauter de 0,28 mm. O particulado passou pro processo de extração, removendo 11,78 % de óleos e gorduras. As cinzas foram produzidas em dois ensaios a 400 °C por 1 h, onde o primeiro foi queimado parcialmente em bico de bunsen e levado em seguida a mufla, e o segundo apenas em mufla. A ativação foi realizada em mufla a 850 °C por 1 h, com uma mistura de 4:1 KOH:Cinza. As caracterizações feitas foram Análise Termogravimétrica (TGA), Difrações de Raios X (DRX) e Espectroscopia Raman. A análise de TGA identificou a presença de compostos lignocelulósicos no material sem extrativos e apenas umidade e compostos voláteis nas cinzas e nos materiais produzidos pela ativação química. A análise de DRX demonstrou a presença sílica cristalina (26,6°) e carbono amorfo (18° a 25°) no material sem extrativos, nas cinzas identificou-se sílica na forma de quartzo e cristobalita e materiais ferrosos como magnetita e hematita, e os materiais ativados quimicamente não apresentaram estruturas cristalinas e pouca estrutura amorfa. O espectro Raman identificou baixos picos na banda G ( $\sim 1560\text{cm}^{-1}$ ) para ambas as cinzas, e apenas o material obtido no segundo ensaio de ativação mostrou a presença de ligações carbono-carbono  $sp^2$ . Portanto, os resíduos da soja não se mostraram adequados para produzir grafeno pela técnica de ativação termoquímica.

Palavras-Chave: ativação termoquímica; biomassa; caracterização; grafeno; nanomateriais;.

## Abstract

Soybean (*Glycine max* L.) is a plant with its first records of cultivation in East Asia, specifically in China. In Brazil, during the 1970s, soybean cultivation began to be explored. With advances in agricultural technology, Brazil has become the second-largest producer of soybeans in the world, producing 147 million tons of the grain and cultivating over 45 million hectares. With this substantial production, a significant amount of residues is also generated, which can be reused in various fields, such as animal supplementation and food production. However, the most prominent field for the use of these lignocellulosic residues is in the development of new materials and nanomaterials, such as graphene, cellulose and nanocellulose, activated carbon, and carbon nanotubes. Graphene is a material primarily composed of  $sp^2$  hybridized carbon bonds arranged in a hexagonal structure. It is two-dimensional and possesses superior physical and chemical properties, such as high mechanical strength, high thermal conductivity, and a large surface area. Graphene can be synthesized through various methodologies using residual biomass as raw material. This study aimed to obtain porous graphene microstructures from residual soy biomass from the agroindustry and to analyze their physical and chemical characteristics. The methodology applied was thermochemical activation, using soybean residue ash and potassium hydroxide as the activating agent, heated in a muffle furnace. The residue was processed through sieving and grinding, resulting in a particulate material with an average Sauter diameter of 0.28 mm. The particulate underwent an extraction process, removing 11.78% of oils and fats. The ash was produced in two trials at 400 °C for 1 hour. In the first trial, the material was partially burned in a bunsen burner before being placed in the muffle furnace. In the second trial, the material was burned exclusively in the muffle furnace. Activation was performed in the muffle furnace at 850 °C for 1 hour, with a 4:1 KOH-to-ash ratio. Characterization analyses included Thermogravimetric Analysis (TGA), X-Ray Diffraction (XRD), and Raman Spectroscopy. The TGA analysis identified the presence of lignocellulosic compounds in the material without extractives and only moisture and volatile compounds in the ash and materials produced by chemical activation. XRD analysis showed crystalline silica (26.6°) and amorphous carbon (18° to 25°) in the material without extractives. The ash revealed silica in the form of quartz and cristobalite, as well as ferrous materials like magnetite and hematite. The chemically activated materials exhibited no crystalline structures and minimal amorphous structure. Raman spectroscopy detected low peaks in the G band ( $\sim 1560\text{ cm}^{-1}$ ) for both ashes, and only the material obtained in the second activation trial showed the presence of  $sp^2$  carbon-carbon bonds. Therefore, soybean residues were not found to be suitable for producing graphene using the thermochemical activation technique.

Keywords: biomass; characterization; graphene; nanomaterials; thermochemical activation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Grafeno e alotropias do carbono. ....	14
Figura 2 - 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). ....	15
Figura 3 - Diferentes organizações do Grafeno. ....	16
Figura 4 - Vantagens e desvantagens de metodologias de produção de grafeno. ....	20
Figura 5 - Produtividade da Soja – Safra 2023/24 (em kg/ha). ....	25
Figura 6 - Resíduos da Soja. ....	28
Figura 7 - Fluxograma de processo de Peneiramento e Moagem da amostra ....	30
Figura 8 - Fluxograma de Processo para remoção de óleos e gorduras. ....	30
Figura 9 - Material Pós-Extração ....	31
Figura 10 - Fluxograma de produção de cinzas. ....	32
Figura 11 - Montagem do sistema de ativação química. ....	33
Figura 12 - Fluxograma de Produção do Grafeno. ....	33
Figura 13 - Sistema de Filtração a Vácuo. ....	34
Figura 14 - Curvas de Distribuição Granulométrica ....	35
Figura 15 - Análise Termogravimétrica dos RSoCG sem extrativos. ....	36
Figura 16 - Análise de DRX dos RSoCG sem extrativos. ....	37
Figura 17 - Queima em bico de bunsen ao longo do tempo. ....	38
Figura 18 - CRS1 após queima em bico de bunsen ....	38
Figura 19 - TGA das Cinzas de Resíduos da Soja (CRS1 e CRS2). ....	39
Figura 20 - CRS2 após queima em mufla. ....	40
Figura 21 - Análise de DRX das CRS1 e CRS2. ....	41
Figura 22 - Espectroscopia Raman das CRS1 e CRS2. ....	42
Figura 23 - Análises de DRX da ativação termoquímica. ....	43
Figura 24 - Espectroscopia Raman dos materiais após procedimento Ativação Química. ....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores da Soja no Brasil (2024). .....	23
Tabela 2 - Ranking de Valores de Produção de Soja em 2023/24.....	24

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição orgânica de biomassas. ....	22
---------------------------------------------------	----

## **LISTA DE SIGLAS**

CRS1 – Cinzas dos Resíduos da Soja 1

CRS2 – Cinzas dos Resíduos da Soja 2

DRX – Difrações de Raios X

GQD – Graphene Quantum Dots

KOH – Hidróxido de Potássio

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

RSoCG – Resíduos da Soja Casca e Grãos quebrados

TGA – Análise Termogravimétrica

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVO</b> .....	12
2.1. Objetivos Específicos.....	12
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
3.1. Produção de novos materiais .....	13
3.2. Grafeno .....	15
3.3. Rotas de Produção de Grafeno.....	18
3.4. Alternativas Sustentáveis para Novos Materiais .....	21
3.5. História e Evolução da Soja.....	22
<b>4. ARTIGO</b> .....	26
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	48
<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	48
<b>REFÊRENCIAS</b> .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

Com sua origem no leste da Ásia, a soja (*Glycine max* L.) fez parte da cultura e alimentação chinesa por centenas de anos, sendo usado para produzir tofu, leite de soja, proteína vegetal, pão e óleos. Além da alimentação a soja pode ser usada para prevenir problemas cardiovasculares, osteoporose, auxilia no processo de fixação de cálcio nos ossos, acelera o metabolismo, entre outras diversas vantagens (EMBRAPA, 2023).

A soja se tornou a principal cultura da agricultura brasileira desde a década de 70. O crescimento da indústria de óleo e o avanço das tecnologias ajudaram a expandir o cultivo de soja, que passou de 1,3 milhões de hectares na década de 70 para 8,8 milhões de hectares. Originalmente cultivada no Sul do Brasil, a soja começou a se espalhar para outras regiões do país devido ao desenvolvimento de variedades mais adaptadas e ao sistema de plantio direto. Com essas inovações, o cultivo de soja se expandiu para o Centro-Oeste, Nordeste e Norte do Brasil (Stoller, 2022).

Através do avanço na tecnologia, o Brasil se tornou o segundo maior produtor de soja do mundo, alcançando na safra de 2023/24 mais de 147 milhões de toneladas do grão e uma área plantada de mais de 45 milhões de hectares (CONAB, 2024). Em decorrência do aumento na produção da agroindústria, muitos resíduos e subprodutos são produzidos também, fazendo com que estudos e novas tecnologias sejam desenvolvidas para utilizar essas biomassas residuais para sintetizar novos materiais. Esses por sua vez, desempenham um papel fundamental na evolução tecnológica da humanidade, representando a quarta revolução industrial (SEBRAE, 2022). Os materiais em escala nanométrica possuem características físicas e químicas que permitem seu uso como substitutos de materiais derivados de combustíveis fósseis (Ali *et al.*, 2023; Allen; Tung; Kaner, 2010; Balandin *et al.*, 2008; Perondi *et al.*, 2021), reduzindo a produção e o consumo, auxiliando na problemática ambiental. A nanotecnologia pode ser empregada em praticamente todas as áreas do nosso cotidiano, como na indústria alimentícia, na indústria farmacêutica, automotiva e principalmente para a geração de energia limpa e renovável (Hasan; Marion, 2016; Pires; Souza; Fernando, 2019).

Muitos bioprecursos podem ser utilizados para produzir novos nanomateriais, como o grafeno. Perez, (2019) propôs o uso de casca de arroz, assim como Akhavan *et al.* (2014) que utilizaram ossos de galinha, esterco de bovinos, palha da cana de açúcar, casca de laranja, madeira e folhas, e como Severo (2020), tendo como bioprecursor a serragem da madeira. Shams *et al.* (2015) reaproveitaram folhas secas de cânfora para obter grafeno e descobriram

que a estrutura porosa dessas folhas facilita a formação do grafeno de uma maneira simples e ecológica.

O grafeno foi descoberto pela primeira vez em 2004 na Universidade de Manchester, por Andre Geim e Konstantin Novoselov, através da clivagem micromecânica, o que lhes garantiu a premiação do Prêmio Nobel de Física em 2010. É caracterizado por ser um material bidimensional e possui uma rede de ligações carbono-carbono, com ligações sp<sup>2</sup> hibridizadas, distribuídos de forma hexagonal (Allen; Tung; Kaner, 2010). Este material é muito conhecido e estudado pelas suas características físicas e químicas, principalmente sua condutividade térmica, área superficial e resistência intrínseca (Ali *et al.*, 2023; Allen; Tung; Kaner, 2010; Balandin *et al.*, 2008; Perondi *et al.*, 2021).

Portanto, uso de biomassas residuais da agricultura, como casca da acácia-negra (Rodrigues, 2024), palha do azevém (Silva, 2019), se mostram uma alternativa viável para produzir novos materiais, demonstrando que é possível tornar a nanotecnologia sustentável. A execução do trabalho teve auxílio e participação do Grupo de Pesquisa de Engenharia de Processos e Sistema Particulados (GPEPSP) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e servirá de contribuição para futuras pesquisas na área de estudo e desenvolvimento de novos materiais.

## **2. OBJETIVO**

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a possibilidade de utilizar soja (*Glycine max* L.) residual da agricultura, para a obtenção de microestruturas porosas de grafeno através da metodologia de ativação termoquímica.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Preparo do resíduo da soja através de remoção de impurezas, moagem e caracterização.
- Estudar a viabilidade de obter grafeno através do método de ativação termoquímica.
- Caracterizar o produto inicial e final através das análises de: Espectroscopia Raman, Análise Termogravimétrica (TGA), Difração de Raios X (DRX).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Produção de novos materiais

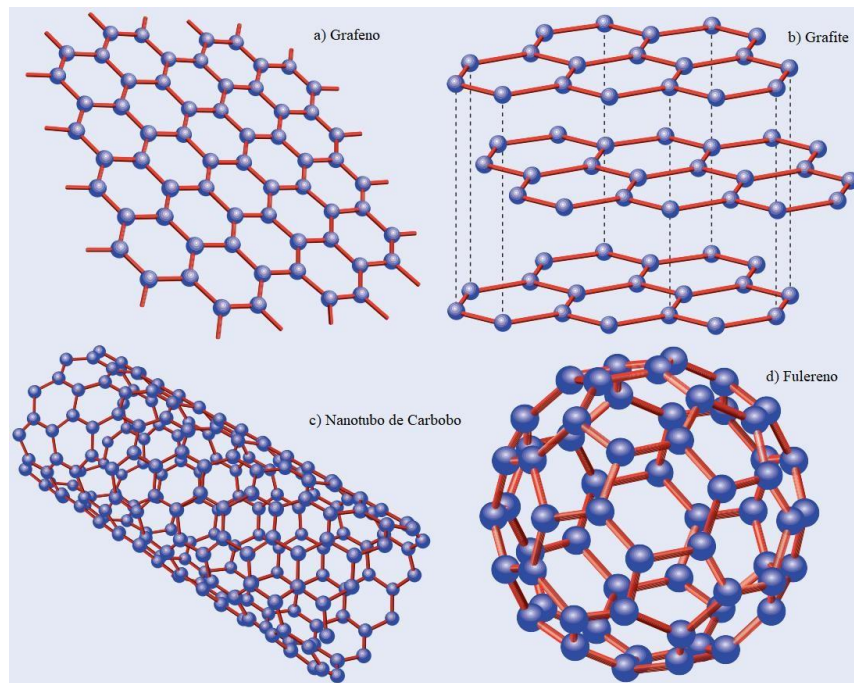
O estudo ao redor do desenvolvimento de novos materiais está cada vez mais acelerado, com grandes descobertas de novos compósitos que podem substituir os utilizados atualmente, no intuito de melhorar as tecnologias cotidianas. Também há uma vertente verde de pensamento que visa a importância de reduzir a produção e uso de derivados de combustíveis fósseis, como plásticos, polímeros e antigos nanomateriais, para auxiliar na resolução da problemática ambiental.

Através da ISO TC 229, a nanotecnologia pode ser definida como: “Compreensão e controle de matéria e processos em nanoescala, normalmente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, onde o início de fenômenos dependentes do tamanho geralmente permite novas aplicações” (Hasan; Marion, 2016).

A nanotecnologia é amplamente reconhecida como a protagonista por trás de uma nova revolução industrial em diversos setores, como a indústria farmacêutica, automotiva, de construção civil, alimentícia, entre outros. Os nanomateriais apresentam características químicas, físicas e biológicas distintas em comparação com os materiais em escala convencional (Pires *et al.*, 2019).

Em 2004, Geim e Novoselov confirmaram que o grafeno é termodinamicamente estável em condições normais, e por essa descoberta, receberam o Prêmio Nobel de Física em 2010. Antes dessa confirmação, o grafeno era visto apenas como um material teórico, sendo considerado uma estrutura básica dos alótropos do carbono, como o grafite, nanotubos de carbono e fulerenos (Mota *et al.*, 2021). A Figura 1 apresenta o grafeno e alotropias do carbono.

Figura 1 - Grafeno e alotropias do carbono



Fonte: Adaptado de Neto; Guinea; Peres, (2006).

Há também a descoberta de novas características especiais desses materiais, como os QDs (*Graphene Quantum Dots*) (Shi; Chen, 2023), conhecidos como Pontos Quânticos de Grafeno, que possuem novas especificidades químicas e físicas, permitindo a ampliação da aplicação deste nanomaterial em diversas atividades. Segundo Benítez-Martínez e Valcárcel (2014), QDs são folhas de grafeno de única ou multicamadas com espessura de até 100 nm e diâmetros de até 20 nm. Esses compostos apresentam características únicas, como baixa toxicidade, elevada biocompatibilidade, alta fluorescência, robusta inércia química e excelente fotoestabilidade (Benítez-Martínez; Valcárcel, 2014).

O desenvolvimento de novas tecnologias tem um papel crucial na sustentabilidade, na qual a ONU enfatiza na Agenda 2030. A Agenda 2030 é um plano de ação global adotado pelos países membros das Nações Unidas em 2015, com o objetivo de promover o avanço da sustentabilidade e erradicar a pobreza até 2030 por meio de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abrangem diferentes temas relacionados a sociedade e meio ambiente (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2024). A Figura 2 mostra os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Figura 2 - 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: ONU (2023)

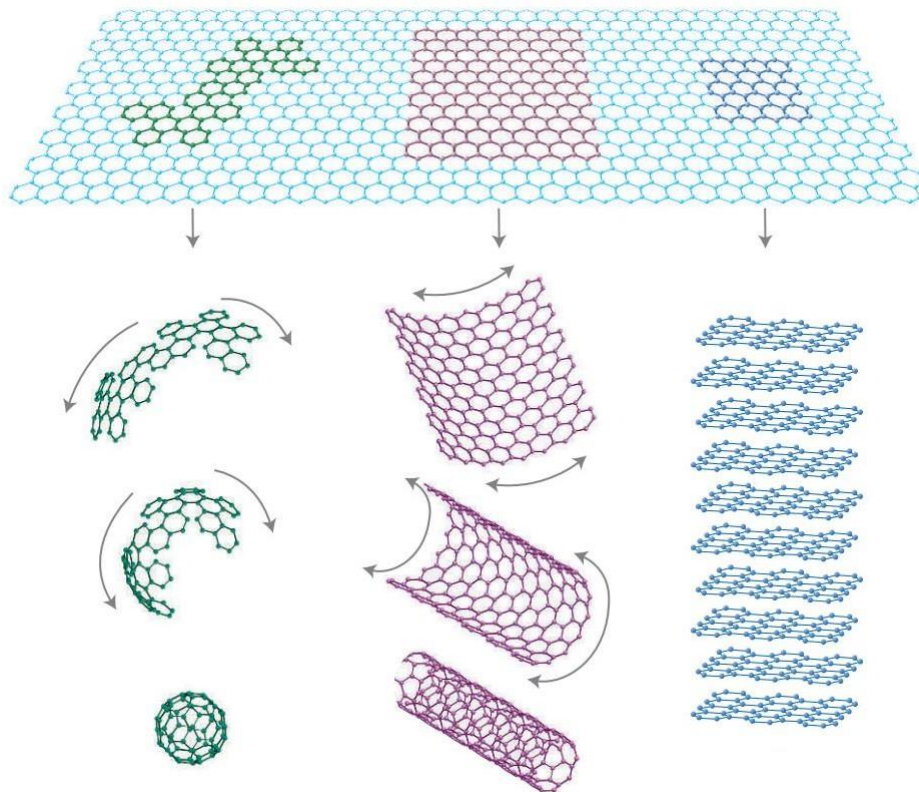
Dentre os 17 objetivos presentes na Agenda 2030, alguns se destacam em se tratar de novas tecnologias, como o ODS 2, focado em erradicar fome e tornar a agricultura mais sustentável, ODS 7, com produção de energia limpa e acessível, ODS 11, para industrialização e inovação tecnológica (HABITABILITY, 2023).

O desenvolvimento de estudos voltados a escala nanométrica tem aumentado, proporcionando descobertas de novos materiais com boas particularidades e também novas características e funções de materiais já existentes. Tais descobertas tem impacto em todo o mundo, pois fornecem oportunidades para resolver problemas, aprimorar técnicas e desenvolver novas formas de facilitar o cotidiano (Hasan; Marion, 2016).

### 3.2. Grafeno

O principal fruto do desenvolvimento de nanotecnologias e nanomateriais, que foi recentemente descoberto, é o grafeno. Um material composto por átomos de carbono hibridizados  $sp^2$ , arranjado na forma de hexágonos, como principal característica sua estrutura bidimensional, se assimilando a um favo de mel (Allen *et al.*, 2010). Tal descoberta é revolucionária, pois o grafeno demonstra características nunca antes vistas, como sua resistência mecânica, suas propriedades elétricas, térmicas, ópticas e outras mais (Hasan; Marion, 2016). A Figura 3 mostra as diferentes organizações do grafeno.

Figura 3 - Diferentes organizações do Grafeno



Fonte: Geim e Novoselov (2007)

As diferentes formas alotrópicas do carbono variam conforme o ambiente em que os átomos de carbono se organizam ou conforme a maneira como as camadas são empilhadas na estrutura cristalina. Essas variações causam mudanças significativas nas propriedades físicas e químicas dos alótropos (Machado, 2012).

O grafeno apresenta elevada área superficial de  $1200 \text{ m}^2/\text{g}$  (Perondi *et al.*, 2021). Tal característica é muito valorizada em estudos e desenvolvimento de novos materiais para aplicação em adsorção de fármacos (Jauris *et al.*, 2016, 2017), dessalinização (Elzubair; Uchôa; Prado da Silva, 2024), remoção de corantes (Silva, 2019), entre outros.

Apresenta condutividade térmica muito elevada, que está em torno de 3000 a 5000  $\text{W/m.K}$  (Allen; Tung; Kaner, 2010; Balandin *et al.*, 2008). O grafeno pode ser combinado com outros compósitos de outros materiais, como Silício, para produzir componentes eletrônicos em escala nanométrica de alta eficiência térmica, energética, além de poder transferir uma grande quantidade de dados em curto espaço de tempo (Ali *et al.*, 2023). O Lítio também pode ser somado ao grafeno, para uso em baterias de alta capacidade de armazenamento, grande transferência de energia em um curto período de tempo e semicondutores de alta potência (Balandin *et al.*, 2008).

As baterias de íons de Lítio estabeleceram-se como padrão em energia elétrica, veículos híbridos e 100% elétricos e dispositivos eletrônicos portáteis devido à sua alta densidade de potência e energia, elevada tensão de operação, impacto ambiental reduzido e longa vida útil. A eficiência das baterias está fortemente ligada aos seus componentes, especialmente aos materiais catódicos. Nesse sentido Ali *et al.* (2023), incorporou grafeno em cátodos de  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  para melhorar o desempenho de carga e descarga de baterias de íon-lítio e inibir a dissolução de  $\text{Mn}^{3+}$ .

Segundo Mazloomian *et al.*, (2023), a queda na capacidade do  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  é atribuída ao fenômeno de Jahn-Teller, que ocorre devido à dissolução do  $\text{Mn}^{3+}$  durante a reação entre o eletrodo e o eletrólito. O  $\text{Mn}^{2+}$ , na forma de  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , é solúvel na maioria dos eletrólitos, indicando que até 25% do Manganês presente pode, teoricamente, se dissolver.

O grafeno também é reconhecido pela sua alta rigidez e resistência mecânica, podendo exceder a de diversos outros materiais, como metais (Algul *et al.*, 2015; Meshram; Punith Kumar; Srivastava, 2020), fibras e polímeros (Santos *et al.*, 2021). Há diversos métodos de estimar suas características mecânicas, como por exemplo, o módulo de Young, que define a rigidez elástica de um material sob aplicação de uma tensão uniaxial (King *et al.*, 2008). Porém, para grafenos de monocamadas, não há definição de valores confiáveis de sua resistência intrínseca a ruptura. Tal fato é ocasionado pela significativa quantidade de defeitos inevitáveis existentes nas amostras de monocamadas feitas por deposição, como a geometria indefinida, defeitos estruturais, diferentes concentrações em pontos de tensão. Muitos estudos estão sendo realizados no intuito de definir a resiliência de materiais como os nanotubos de carbono de múltiplas paredes, confirmando a alta resistência de materiais derivados do grafeno (King *et al.*, 2008).

Assim como há estudos em desenvolvimento de novos materiais, existem também para matrizes poliméricas, estudos esses que buscam obter novos materiais poliméricos com boas características físicas e químicas, como condutividade térmica e elétrica e resistência mecânica (Payandehpeyman; Mazaheri; Khamehchi, 2020). Avila, *et al.* (2014 *apud* Mota *et al.*, 2021), demonstram que ao adicionar uma pequena quantidade de nanoestruturas a base de carbono, como grafeno e nanotubos de carbono, em uma resina polimérica epóxi, esta demonstrou um aumento em suas tensões de ruptura e cisalhamento, e também foi mostrado que ao expor esse composto à luz ultravioleta por um determinado tempo, suas resistências também aumentaram.

É possível aplicar grafeno em revestimento para metais, no intuito de aumentar suas resistências ao desgaste e na microdureza do material, como demonstrou Algul *et al.* (2015), adicionando grafeno a um revestimento a base de níquel. O grafeno também pode ser usado

para amplificar a resistência a corrosão, sendo somado a outros compostos, como o estudado por Meshram *et al.* (2020), que sintetizaram um revestimento a base de níquel e fósforo com a adição de grafeno em diferentes concentrações. No estudo, é comprovado que a resistência a corrosão com a adição do grafeno é maior em relação a não adição.

Atualmente, há uma grande busca para desenvolver novos materiais de construção multifuncionais de altíssimo desempenho usando as tecnologias mais modernas da engenharia, como a adição de grafeno ao concreto. Ao misturar ambos, pode-se observar que este tem suas resistências a compressão e flexão aumentadas em 146% e 79,5%, respectivamente, enquanto que sua permeabilidade a água é reduzida em até 400% (Dimov *et al.*, 2018).

### **3.3. Rotas de Produção de Grafeno**

Os estudos ao redor do desenvolvimento de novas rotas de produção e aprimoramento de rotas já existentes, estão cada vez mais avançados. Na sequência, serão indicados alguns dos principais métodos para sintetizar grafeno.

A metodologia proposta por Hummers; Hoffman, (1957) é denominada como esfoliação química em fase líquida, se consistindo em usar diferentes agentes químicos, como permanganato de potássio, clorato em ácido sulfúrico e clorato em ácido nítrico. As variações nas condições de preparação podem influenciar a composição dos grupos oxigenados no óxido de grafite, o que, por sua vez, afeta a composição química do óxido de grafeno (Moo *et al.*, 2014).

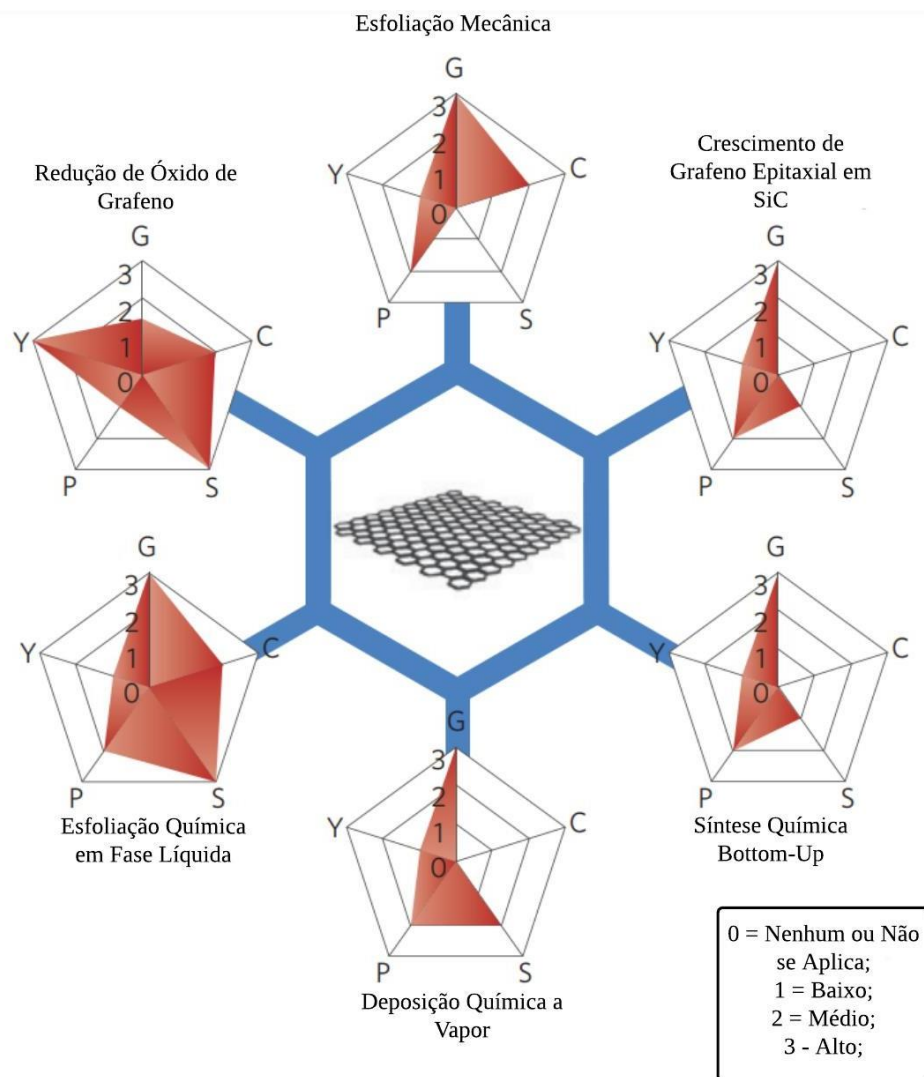
Salverda *et al.* (2022) demonstraram que é possível obter grafeno de forma prática para produção em larga escala, através da esfoliação eletroquímica do grafite, devido às suas várias vantagens em comparação com outros métodos. Entre essas vantagens estão a simplicidade de operação, o baixo custo, a possibilidade de funcionar à temperatura ambiente, a realização do processo em uma única etapa e a ausência de toxicidade. Geralmente, a esfoliação eletroquímica do grafite é feita usando líquidos iônicos e soluções aquosas ácidas como eletrólitos (Ali *et al.*, 2023).

O método mais utilizado para obter grafeno de uma qualidade aprimorada é a Deposição Química a Vapor, ou CVD, que envolve expor um substrato a gases que se decompõem, formando um filme fino, enquanto os subprodutos evaporam (Kim *et al.*, 2009). Para produzir grafeno usando esse método, coloca-se um filme de níquel em uma mistura de H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e Ar, a uma temperatura de cerca de 1000°C. O metano se decompõe na superfície do níquel, o hidrogênio evapora e o carbono se difunde para dentro do níquel. Conforme a temperatura

diminui, a solubilidade do carbono no níquel também diminui, fazendo com que os átomos de carbono migrem para a superfície do níquel, formando o grafeno. O número de camadas de grafeno produzidas depende da espessura do níquel utilizado, permitindo controle sobre a quantidade de camadas formadas (Hammes, 2016).

Sinclair *et al.* (2019), demonstraram pela primeira vez que o grafeno pode ser obtido através do método de esfoliação micromecânica utilizando fitas adesivas. A técnica de clivagem micromecânica usando fita adesiva, foi o primeiro método desenvolvido para produzir grafeno e continua sendo amplamente utilizado tanto em pesquisas acadêmicas quanto em indústrias. A fita adesiva permite aplicar força diretamente nas camadas individuais de grafeno, facilitando sua separação. Esse método é especialmente eficaz para obter grandes folhas de grafeno de alta qualidade. Até hoje, é a principal abordagem para manipular folhas de grafeno e testar suas propriedades mecânicas e elétricas. A Figura 4 mostra as vantagens e desvantagens de metodologias de produção de grafeno, onde G representa a qualidade do grafeno produzido, C representa o custo, S é a possibilidade de escala, P indica a pureza e Y é o rendimento.

Figura 4 - Vantagens e desvantagens de metodologias de produção de grafeno



Fonte: Adaptado de Perez (2019)

Perez (2019) sintetizou grafeno pelo método de ativação termoquímica, que se assemelha a metodologia utilizada na produção de carvão ativado. Essa metodologia utiliza, em sua maioria, material orgânico, se consistindo em produzir cinzas de biomassa residual através da sua queima, seguida de uma ativação química e queima controlada. Em geral, pode-se notar que algumas das metodologias que existem para a produção do grafeno (Hummers; Hoffeman, 1957; Moo *et al.*, 2014; Novoselov *et al.*, 2000; Perez, 2019; Sankar *et al.*, 2017; Sinclair; Suter; Coveney, 2019), possibilitam o uso de biomassa residual lignocelulósica, criando assim, alternativas sustentáveis para a produção desse material.

### 3.4. Alternativas Sustentáveis para Novos Materiais

Na sequência serão citados trabalhos que demonstram o uso de biomassa residual como uma alternativa viável e sustentável para produzir grafeno e novos materiais.

Perez (2019) demonstrou que é possível produzir grafeno através da casca de arroz residual. O processo de ativação termoquímica se consiste em fazer uma pré-queima do material orgânico em forno do tipo mufla para obter as cinzas deste, e adicionar KOH nas cinzas moídas para que ocorra o processo de ativação química. Por fim, uma nova queima é feita, também em forno mufla, obtendo grafeno como produto final. Outro bioprecursor que pode ser usado para produzir grafeno é a serragem da madeira, como citado por Severo (2020). A metodologia aplicada por ambos se mostra eficaz, segura e barata, gerando um produto final com boas características físicas e químicas.

Resíduos orgânicos, como ossos de galinha, esterco de vaca, palha da cana de açúcar, casca de laranja, madeira e folhas, e lixo, como jornais antigos, foram utilizados por Akhavan *et al.* (2014) para sintetizar óxido de grafeno. A metodologia escolhida foi a de Hummers, a esfoliação química em fase líquida, onde as cinzas destes resíduos foram submetidas a tratamento químico forte, com Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), Nitrato de Sódio ( $NaNO_3$ ) e Permanganato de Potássio ( $KMnO_4$ ).

A utilização de biomassas, como serragem de madeira, ainda é menos desenvolvida em comparação à casca de arroz para a produção de compostos carbonáceos. No entanto, estudos indicam que essas biomassas são excelentes precursores de baixo impacto ambiental para a síntese de nanomateriais. Liou; Wu (2009) destacaram em sua pesquisa que esses materiais são compostos principalmente de lignina, celulose e hemicelulose. A lignina é o principal componente na formação da cinza, enquanto a celulose e a hemicelulose são consumidas entre 300 e 500 °C durante o processo de carbonização, o que reduz o rendimento de carbono.

Transformar biomassa é uma forma ecológica de inovar, preocupando-se tanto com a preservação dos recursos naturais quanto com a melhoria dos processos industriais. A química sustentável tem como objetivo produzir materiais de carbono de alta qualidade, como o grafeno, por meio de métodos e tecnologias que são amigáveis ao meio ambiente (Borin Barin *et al.*, 2014).

Resíduos agroindustriais como casca de madeira, serragem, casca de grãos, como demonstrado por Silva (2019), também podem ser usados para produzir outros materiais, como o carvão ativado, que é usado para remoção, através da adsorção, de substâncias solubilizadas em água, como corantes, inseticidas, fármacos, entre outros. Sua produção dispõe de uma

metodologia que facilita o uso de biomassa, tornando seu uso viável economicamente e ecologicamente.

Outro material que se destaca é a celulose, que se tornou alvo de grandes estudos voltados em desenvolver biopolímeros para substituir os convencionais derivados do petróleo, no intuito de diminuir o consumo de combustíveis fósseis contribuindo com o meio ambiente (Gomes, 2022). A celulose, sendo um dos materiais naturais mais abundantes e comuns na Terra, é um tipo de polímero que pode ser extraído com relativa facilidade. Devido à sua excelente biocompatibilidade, ausência de toxicidade e capacidade de se decompor naturalmente, a celulose tem sido vista como uma opção viável para o desenvolvimento de curativos para feridas, podendo ser usada tanto como aditivo quanto como material base (Teixeira *et al.*, 2020). O Quadro 1 demonstra a composição orgânica de biomassas.

Quadro 1 - Composição orgânica de biomassas

Materiais Residuais	Composição Orgânica (%)			Referências
	Celulose	Hemicelulose	Lignina	
Casca da Soja	43%	34,65	4,93	MARTINS, M. F. et al. (2015)
Casca do Arroz	36,5	27,7	12,3	CHEN, (2014)
Palha do Trigo	38,6	32,6	14,1	
Bagaço da Cana-de-açúcar	38,59	27,89	17,79	GUILHERME et al. (2015)
Sabugo do Milho	31,7	34,7	20,3	SILVA, N. L. C. (2010)
Folhas do Milho	37,6	34,5	12,6	
Casca da Aveia	3,5	28,6	23,1	

Fonte: Autor (2024)

### 3.5. História e Evolução da Soja

A soja que cultivamos hoje é bem diferente das primeiras plantas cultivadas, que eram plantas rasteiras na costa leste da Ásia, especialmente ao longo do rio Yangtze, na China. Sua evolução começou com cruzamentos naturais entre espécies selvagens, domesticadas e melhoradas por cientistas na antiga China. Até 1894, a produção de soja ficou restrita à China. Apesar de conhecida e consumida por milênios no Oriente, só foi introduzida na Europa no final do século XV (EMBRAPA, 2023).

Segundo CONAB, (2024), atualmente o Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento mais de 147 milhões de toneladas foram produzidas nos períodos de 2023/24. Os estados que compõem as regiões centro-oeste,

sul e sudeste, são os maiores produtores do país, onde o Mato Grosso lidera, com quase 40 milhões de toneladas e pouco mais de 12 milhões de hectares plantados (EMBRAPA, 2023). A Tabela 1 apresenta os valores de exportação e consumo de soja no Brasil.

Tabela 1 - Valores da Soja no Brasil (2024)

Discriminação	Exportação (Mil ton)	Consumo (Mil ton)	Total (Mil ton)	Exportação (Milhões US\$)
Soja em grão	101.870	54.165	156.035	53.245
Farelo de soja	22.474	19.844	42.318	12.165
Óleo de soja	2.333	8.677	11.010	2.504
Total	126.677	82.686	209.363	67.914

Fonte: Adaptado de Embrapa (2024)

A soja é líder na agricultura brasileira por seu alto retorno econômico e sua versatilidade. O grão é usado na indústria, como fonte de proteína animal, na produção de óleo vegetal e biocombustíveis. Esses fatores, entre outros, tornam a soja amplamente cultivada, impulsionando o PIB do país junto com outras cadeias do agronegócio (Stoller, 2022).

Buscando terras abundantes e baratas, milhares de produtores de soja do sul do Brasil migraram para o despovoado Cerrado, levando desenvolvimento e promovendo uma nova cultura agrícola no centro do país. Ao longo das últimas quatro décadas, centenas de pequenos povoados surgiram no Cerrado, transformando-se em cidades de diversos tamanhos e valorizando enormemente as terras da região, que hoje são tão valiosas quanto as do Sul. O incrível crescimento da produção de soja no Brasil, aumentando aproximadamente 262 vezes nos últimos 47 anos, desencadeou uma série de mudanças sem precedentes na história da agricultura brasileira. Inicialmente apoiada pelo trigo, a soja foi a grande responsável por estabelecer a agricultura comercial no país. Ela também acelerou a mecanização das lavouras, modernizou o sistema de transporte, expandiu a fronteira agrícola, profissionalizou o comércio internacional, diversificou a dieta alimentar dos brasileiros, promoveu a urbanização, descentralizou a população do Brasil (que estava concentrada no sul, sudeste e litoral nordestino), tecnificou outras culturas (como a do milho) e impulsionou a agroindústria nacional, contribuindo para o crescimento da produção de suínos e aves (Dall’Agnol, 2021). A Tabela 2 representa o *ranking* de valores de produção de soja em 2023/24.

Tabela 2 - Ranking de Valores de Produção de Soja em 2023/24

SAFRA	ÁREA (em mil ha)	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	PRODUÇÃO (em mil ton)
2017/18	35.149,2	3.507	123.258,9
2018/19	35.874,0	3.337	119.718,1
2019/20	36.949,7	3.379	124.844,8
2020/21	39.531,2	3.526	139.385,3
2021/22	41.492,0	3.026	125.549,8
2022/23	44.079,8	3.507	154.605,9
2023/24 mar/24	45.733,2	3.229	147.684,8
jun/24	45.978,0	3.205	147.353,5

Fonte: Adaptado de CONAB (2024)

Ao observar a Figura 6, a área cultivada de soja no Brasil, entre os anos de 2017/18 e 2023/24, aumentou em 30,7% e a produção em 19,54% no mesmo período. Apesar da produtividade ter diminuído em decorrência das adversidades climáticas, a evolução tecnológica, com novos, modernos e mais eficientes insumos agrícolas como tratores, pulverizadores e colheitadeiras mais econômicos, plantadeiras maiores e mais precisas e melhoramento genético da planta, proporcionara um aumento na produção do grão (CONAB, 2024).

A soja tem um papel fundamental globalmente como a principal oleaginosa produzida e consumida. Com teores de óleo e proteína nos grãos que podem ultrapassar 20% e 40%, respectivamente, é uma cultura de grande interesse econômico. Além do impacto socioeconômico que ela gera, os benefícios da soja são notáveis por seus diversos usos na alimentação e na saúde humana. A expansão da área cultivada com soja começou nos anos 1970, com a abertura e consolidação de novas áreas agrícolas no Sul do Brasil. Na década de 1980, essa expansão alcançou o Centro-Oeste, que passou a ser responsável por 20% da produção nacional de soja. A demanda global por soja continua a crescer, impulsionada pelo aumento da renda na China, Índia e outros países em desenvolvimento (Simões Carvalho *et al.*, 2023). Na Figura 5 pode-se observar a produtividade da soja na safra de 2023/24 em kg/ha.

Figura 5 - Produtividade da Soja – Safra 2023/24 (em kg/ha)



Fonte: CONAB (2024)

Com relação à importância socioeconômica da soja para o Brasil, segundo Lazzarotto; Hirakuri (2010), ela envolve um amplo conjunto de agentes e organizações ligados a diversos setores socioeconômicos. Isso inclui empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, indústrias de máquinas e equipamentos, produtores rurais, cooperativas agropecuárias e agroindustriais, processadoras, fabricantes de óleo, ração e biodiesel, entre outros. Em outras palavras, esse complexo é fundamental para gerar riqueza, empregos e divisas, sendo um dos principais motores de desenvolvimento regional do país.

A alimentação representa a maior parte dos custos na criação de bovinos, fazendo com que os pecuaristas busquem alternativas mais econômicas. Utilizar pastagens é a forma mais barata de alimentar o gado, mas como a produção das pastagens varia ao longo do ano, em algumas épocas pode ser necessário complementar a dieta com outros alimentos. Como citado por Mulbach (1999 *apud* Machado Groff; Laurani, 2009), os pecuaristas têm várias opções para

complementar a alimentação dos bovinos. Eles podem usar forragem conservada, grãos, resíduos de colheita e beneficiamento, além de subprodutos da agroindústria. Essas alternativas ajudam a garantir uma nutrição adequada para os animais, especialmente durante períodos de escassez de pastagem.

Durante o processamento do grão de soja, a remoção do tegumento separa a casca do embrião, resultando em farelos de soja com alto teor de proteína bruta (48% a 50%) e gerando como subproduto a casca da soja. Tambara *et al.* (1995), conduziram um estudo de digestibilidade com ovelhas para avaliar o valor nutritivo deste resíduo. Eles descobriram que, apesar do seu alto teor de fibra (33,8%), esta é altamente nutritiva para ruminantes. Os coeficientes de digestibilidade aparente foram de 65% para matéria seca, 66% para matéria orgânica, 61% para proteína bruta e 68% para fibra bruta.

A casca da soja também pode ser usada com carga em polímeros derivados do petróleo, como demonstrado por Santos *et al.* (2021), com diferentes quantidades do material moída em Polietileno de Baixa Densidade (PEBD). Foi misturado, entre 5% a 20% de biomassa em massa de PEBD, através do processo de extrusão, resultando em filamentos que foram posteriormente peletizados. Foram obtidos valores satisfatórios no aumento das características mecânicas e na menor permeabilidade de água, justificadas pelo maior teor de lignina presente nas fibras da casca da soja.

Martins, *et al.* (2018) beneficiaram vagem da soja junto a madeira de eucalipto, no intuito de avaliar a viabilidade tecnológica da utilização de resíduos da soja para produzir painéis aglomerados de baixa densidade. Semelhantemente, Borges *et al.* (2022) também somaram resíduos da soja misturados a madeira de eucalipto, entretanto a metodologia foi diferente e se consistia em um pré-tratamento químico com Hidróxido de Sódio e água fria.

Em 2021 a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), desenvolveu biscoitos de okara, que é um resíduo resultante da produção de bebidas de soja e tofu, são partes insolúveis do grão de soja que ficam retidos após o processo de filtração durante a produção destes produtos alimentícios. O estudo e desenvolvimento foram realizados nos laboratórios da EMBRAPA e a tecnologia empregada aumenta a vida útil da okara, tornando o produto pronto para uso imediato por até 90 dias.

#### 4. ARTIGO

### PRODUÇÃO DE GRAFENO A PARTIR DE RESÍDUOS DA SOJA (*Glycine max* L.)

### PRODUCTION OF GRAPHENE FROM SOY WASTE (*Glycine max* L.)

Julio Navrotzki Chilanti

André Ricardo Felkl de Almeida

Gabriela Silveira da Rosa

#### RESUMO

Este estudo focou na produção de microestruturas porosas de grafeno a partir de resíduos da soja por meio de ativação termoquímica. Para isso, utilizou-se cinzas do resíduo da soja e hidróxido de potássio (4:1 KOH:Cinza), aquecidos em mufla a 850 °C por 1 hora. O resíduo foi peneirado e moído, resultando em partículas de 0,28 mm de diâmetro médio, com extração de 11,78 % de óleos e gorduras. As cinzas foram produzidas em dois ensaios a 400 °C: o primeiro com queima parcial em bico de bunsen seguida de mufla, e o segundo apenas em mufla. O beneficiamento do resíduo sem mostrou relevante para todo o desenvolvimento do trabalho, as análises (TGA, DRX e Raman) indicaram compostos lignocelulósicos, sílica na forma de quartzo e cristobalita, materiais ferrosos como magnetita e hematita, e carbono amorfo, além de ligações carbono-carbono  $sp^2$  no material do segundo ensaio de ativação, demonstrando que os resíduos da soja não se mostraram adequados para obter grafeno.

Palavras-Chave: soja; resíduos; grafeno; ativação termoquímica; caracterização.

#### 1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.), originária do leste asiático, integra a alimentação e cultura chinesa há milênios, sendo amplamente utilizada na produção de derivados como tofu, leite de soja, óleos e pães, além de contribuir com benefícios à saúde humana, como a prevenção de doenças cardiovasculares e osteoporose (EMBRAPA, 2023). No Brasil, o cultivo de soja teve seu crescimento intensificado a partir da década de 1970, impulsionado pelo desenvolvimento da indústria de óleo e pelo avanço das tecnologias agrícolas. Inicialmente concentrada na região Sul, a produção expandiu-se para o Centro-Oeste, Nordeste e Norte, favorecida pelo desenvolvimento de variedades adaptadas e pela adoção do sistema de plantio direto, que ampliou as fronteiras agrícolas (Stoller, 2022).

Com o progresso tecnológico, o Brasil consolidou-se como o segundo maior produtor global de soja, atingindo um volume superior a 147 milhões de toneladas na safra 2023/24, com uma área cultivada de mais de 45 milhões de hectares (CONAB, 2024). No entanto, o aumento da produção resultou em uma quantidade crescente de resíduos e subprodutos, evidenciando a necessidade de tecnologias inovadoras para o aproveitamento desta biomassa residual na síntese de materiais avançados. Tais materiais, vinculados ao progresso tecnológico da quarta revolução industrial, emergem como alternativas sustentáveis aos derivados de combustíveis fósseis (SEBRAE, 2022).

Nesse contexto, a nanotecnologia apresenta-se como uma solução promissora, aplicável em diversas indústrias, incluindo as indústrias alimentícia, farmacêutica, automotiva e de energia renovável (Hasan; Marion, 2016; Pires; Souza; Fernando, 2019). Um exemplo significativo dessa inovação é o grafeno, obtido pela primeira vez em 2004 na Universidade de Manchester, que se destaca por suas propriedades únicas, como elevada condutividade térmica e resistência mecânica (Ali *et al.*, 2023; Allen; Tung; Kaner, 2010; Balandin *et al.*, 2008; Perondi *et al.*, 2021). Estudos recentes indicam que bioprecusores agrícolas, como casca de arroz (Perez, 2019), palha de cana-de-açúcar (Akhavan *et al.*, 2014) e resíduos de madeira (Severo, 2020), podem ser utilizados para a produção sustentável e ecológica de grafeno.

A utilização de biomassas residuais para a síntese de nanomateriais, como o grafeno, representa uma alternativa viável para tornar a nanotecnologia mais ambientalmente sustentável. Na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), o Grupo de Pesquisa em Engenharia de Processos e Sistemas Particulados (GPEPSP) tem desenvolvido estudos focados na produção de materiais inovadores a partir de bioprecusores, como a palha de azevém (Silva, 2019) e a casca da acácia-negra (Rodrigues, 2024), contribuindo para o avanço científico e promovendo o uso sustentável de resíduos agrícolas.

Neste contexto, o presente estudo propõe a síntese de microestruturas porosas de grafeno utilizando resíduos de soja, incluindo cascas e grãos quebrados, como bioprecusores. Foram realizados ensaios de caracterização, como Difração de Raios X (DRX), Análise Termogravimétrica (TGA) e Espectroscopia Raman, com o objetivo de avaliar as propriedades do material obtido e verificar a viabilidade do método de ativação termoquímica. A proposta justifica-se pela crescente demanda por novos materiais em escala nanométrica, sendo que a utilização de resíduos de soja não comprometeria a cadeia produtiva, dada a abundância de material residual disponível para suprir as demandas dos setores interessados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Resíduo da Soja

O resíduo da soja utilizado é composto por casca e grãos quebrados resultantes do período de colheita do grão. O material foi doado por agricultores da capital do Tocantins, Palmas e foi armazenado em recipientes plásticos até ser utilizado. A Figura 6 representa o resíduo da soja.

Figura 6 – Resíduos da Soja

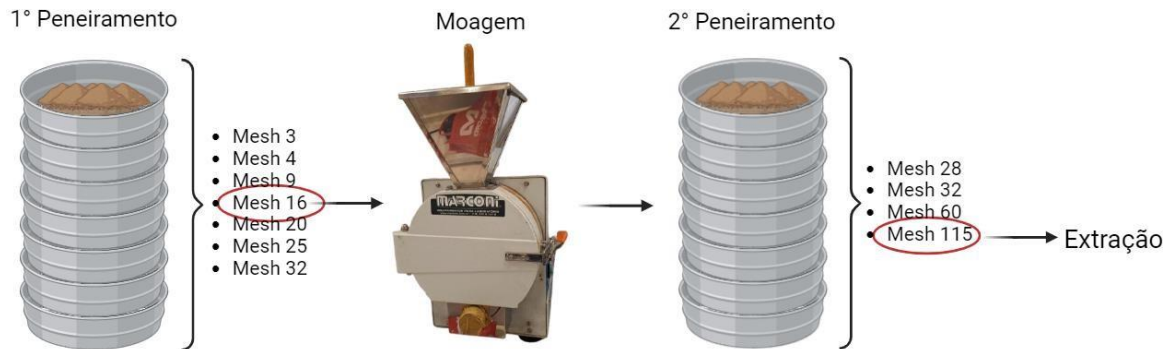


Fonte: Autor (2024)

### 2.2 Preparação do material

Para a preparação, o material passou por dois processos de separação, através de um conjunto de peneiras vibratórias (BERTEL) e por uma análise granulométrica. O primeiro peneiramento teve objetivo de separar a casca e os grãos quebrados da soja para então realizar processo de moagem em moinho de facas (MARCONI). Em seguida, outro peneiramento foi feito com o intuito de classificar o material particulado e escolher a granulometria para utilizar nos ensaios posteriores. Por fim, foi realizado a secagem em estufa a 105°C por 24 h. Na Figura 7 é possível observar o fluxograma que representa a primeira etapa de preparo da amostra.

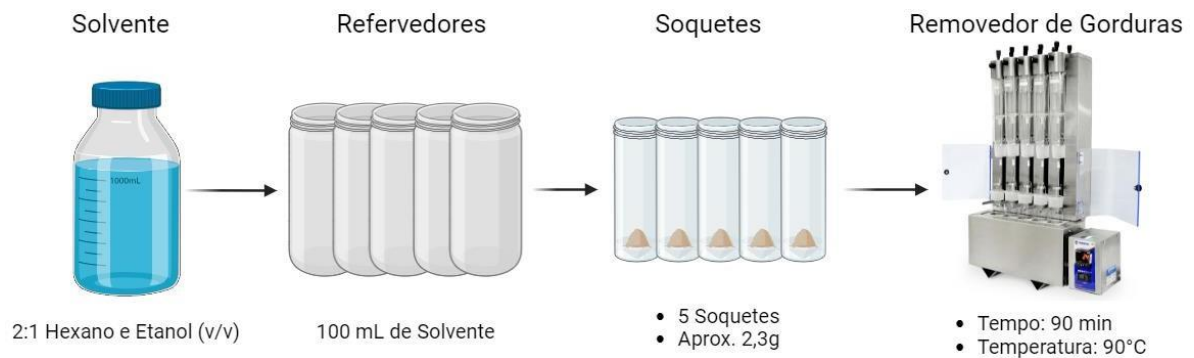
Figura 7 – Fluxograma de processo de Peneiramento e Moagem da amostra



Fonte: Autor (2024)

A última etapa de preparação se consistiu em extrair os óleos e gorduras presentes na amostra. O procedimento foi realizado em um Determinador de Gordura (TECNAL modelo TE-44-5/50) onde aproximadamente 2,3 g do material foram distribuídos em cada um dos 5 soquetes e alocados dentro de 5 refervedores com 100mL de solvente Hexano e Etanol 2:1 v/v a 90°C por 90 min. A Figura 8 demonstra o fluxograma de processo para a remoção de óleos e gorduras.

Figura 8 – Fluxograma de Processo para remoção de óleos e gorduras



Fonte: Autor (2024)

Ao final da extração as amostras foram secas por 30 min em 90°C para a remoção completa do solvente. Por fim, o material obtido foi colocado em um tubo falcon e armazenado em um dessecador. Na Figura 9 é possível observar o material obtido.

Figura 9 – Material Pós-Extração

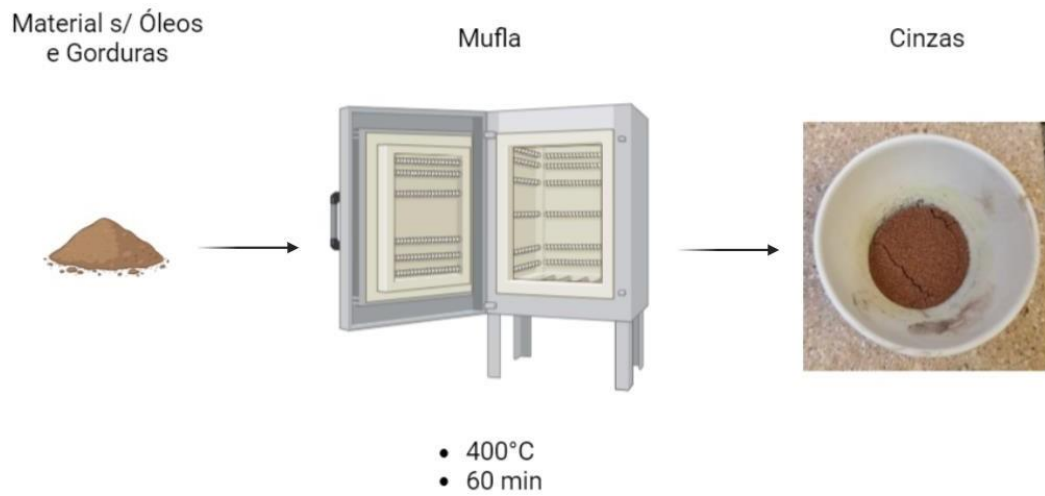


Fonte: Autor (2024)

### **2.3 Produção das cinzas dos resíduos e grafeno**

A metodologia para obtenção do grafeno foi baseada nas metodologias empregadas por Perez (2019) e Severo (2020) onde, no seguinte trabalho se caracteriza por duas etapas. Na primeira ocorre a obtenção das cinzas dos resíduos da soja (após extração) e na segunda a ativação química e pirólise. Foram realizados dois ensaios experimentais com diferentes condições para a produção das cinzas. No primeiro procedimento o material sem extrativos foi levado ao bico de bunsen, onde foi realizada uma pré-queima do material e em seguida foi levado a mufla a 400 °C e 1 h (CRS1). O segundo procedimento utilizou apenas a mufla nas mesmas condições que o primeiro procedimento (400 °C por 1 h), ou seja, o segundo procedimento não teve a etapa de pré-queima em bico de bunsen, onde o material foi posto dentro da mufla e ambos, mufla e material, aqueceram juntos até 400 °C, onde o aquecimento durou 2 h mais 1 h de permanência, totalizando 3 h (CRS2). Esta etapa tem como objetivo degradar os compostos orgânicos presentes transformando-os em cinzas com alta concentração de carbono. O processo teve a presença de ar atmosférico em contato com o material dentro do forno, sendo um ambiente não controlado. A Figura 10 mostra o fluxograma de processo da etapa de obtenção das cinzas realizado no segundo ensaio.

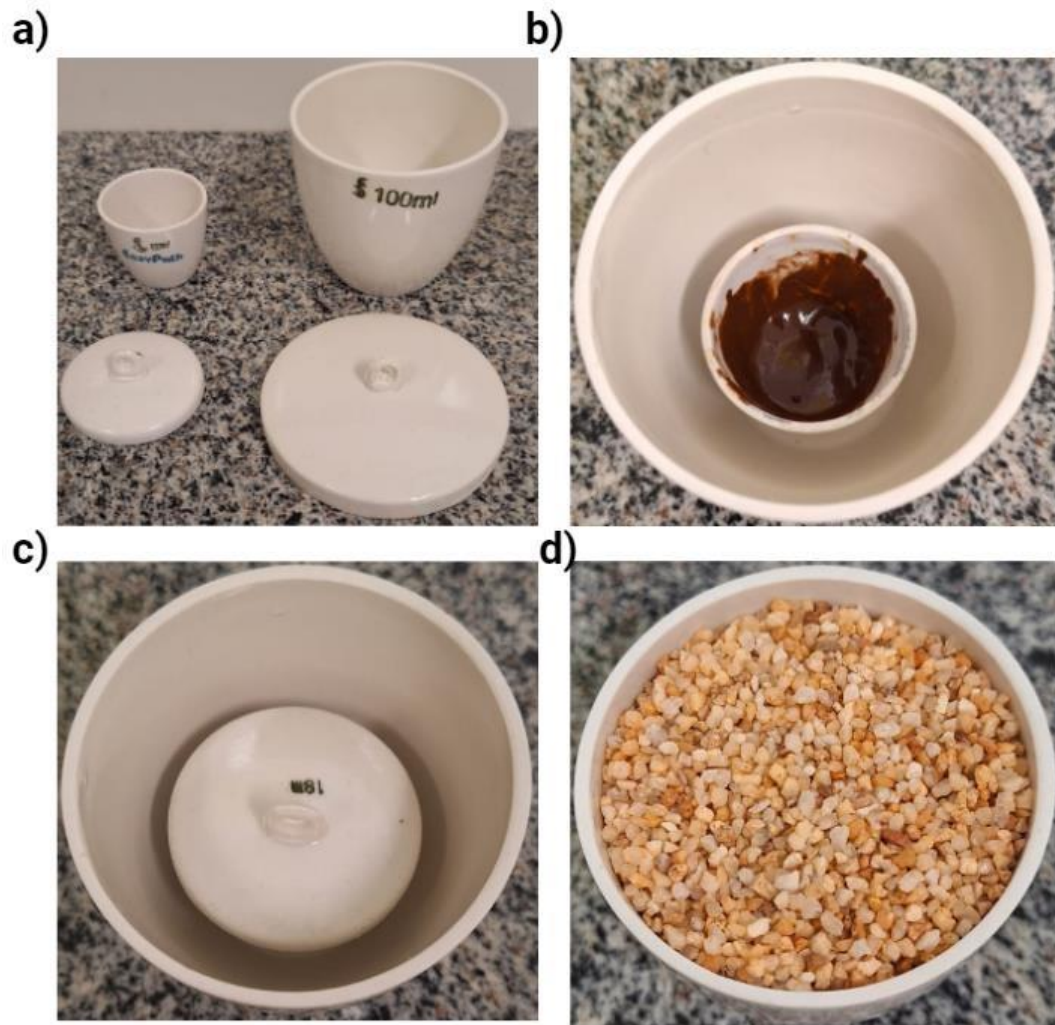
Figura 10 – Fluxograma de produção de cinzas



Fonte: Autor (2024)

A etapa final consistiu em utilizar as cinzas obtidas no processo de queima, para produzir grafeno. Foi realizada uma ativação química usando Hidróxido de Potássio e as cinzas, em uma proporção de 4:1 (KOH/Cinza). O KOH foi macerado em pistilo de ágata e misturado com as cinzas, e então foi montado um sistema utilizando areia e cadinhos (Figura 11) para impedir que os gases e compostos volatilizados no processo continuem dentro do sistema, com o intuito de simular uma atmosfera inerte. O KOH tem o papel de ser o agente de ativação química. Este foi escolhido como agente de ativação por possuir características químicas que permitem a remoção de estruturas carbonáceas amorfas e sílica residual da primeira queima e proporcionar a organização das camadas do material final, além de possuir uma temperatura de ativação baixa e um alto rendimento (Perez, 2019). Na Figura 11 é mostrado a montagem dos cadinhos e o isolamento da amostra.

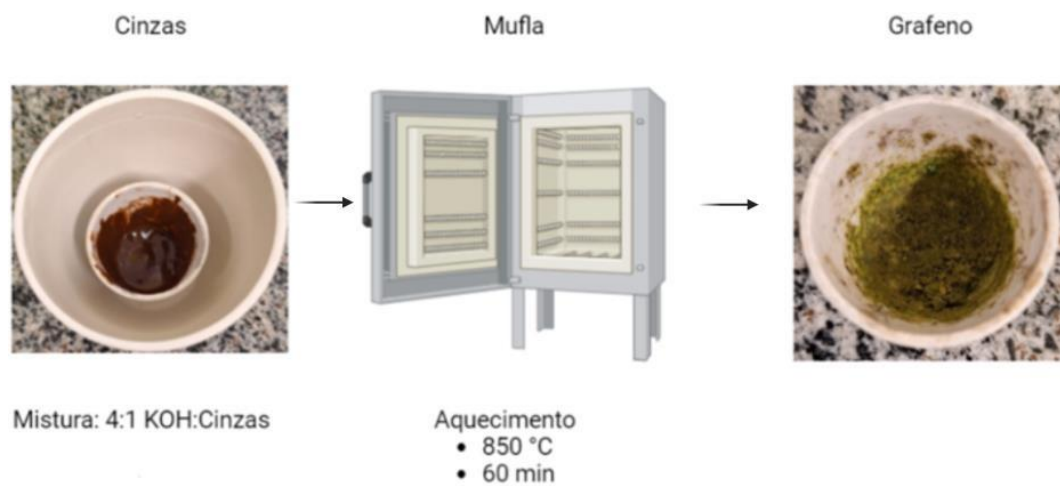
Figura 11 – Montagem do sistema de ativação química



Fonte: Autor (2024)

A Figura 12 demonstra o fluxograma de processo para a produção do grafeno.

Figura 12 – Fluxograma de Produção do Grafeno



Fonte: Autor (2024)

Após a obtenção do material foi necessário realizar uma neutralização e filtração a vácuo com água destilada. O sistema possuía uma bomba de vácuo, recipientes com sílica, um kitassato, um funil de buchner e dois papéis filtro para que não houvesse perda de material. A lavagem ocorreu até que o pH estivesse próximo do neutro. Após a filtração os filtros foram levados a estufa por 24h a 105°C e então armazenado em um tubo falcon e colocado em dessecador. A Figura 13 demonstra o sistema de filtração a vácuo utilizado.

Figura 13 – Sistema de Filtração a Vácuo



Fonte: Autor (2024)

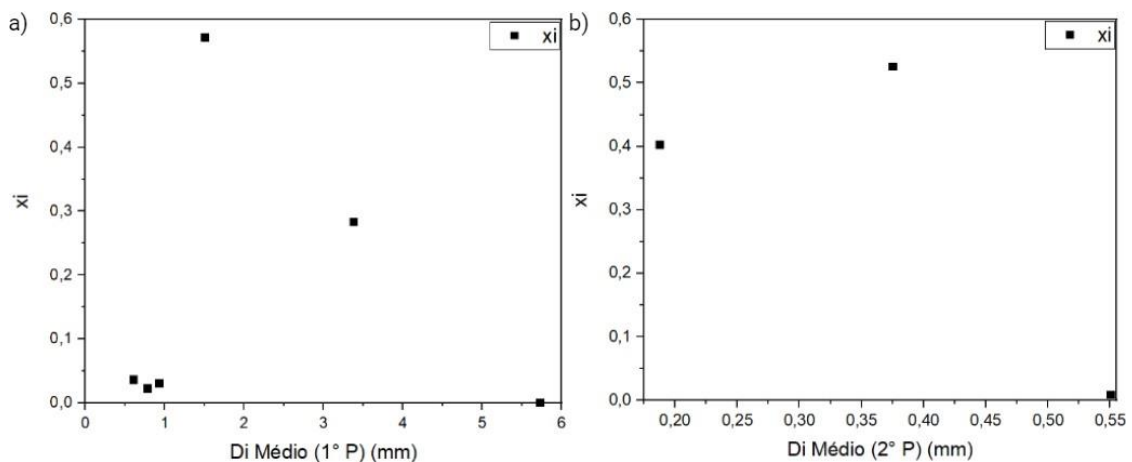
## 2.4 Caracterização do Material

Foram feitas análises de Termogravimetria (TGA), Difração de Raios X (DRX) e Espectroscopia Raman. A análise de TGA foi realizada no Analisador Térmico (TGA – 50, SHIMADZU) na temperatura de 500°C com atmosfera inerte de nitrogênio com vazão de 50 mL/min e uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A análise de DRX foi realizada no Difratorômetro Rigaku (ULTIMA IV, com geometria de Bragg-Betano) para identificar a presença de estruturas cristalinas e compostos químicos. A Espectroscopia Raman foi realizada no Espectrofotômetro (BWTEK) para identificar a presença de estruturas químicas do material.

### 3. RESULTADOS

Foram realizados dois peneiramentos, onde o primeiro teve o objetivo de obter a melhor separação entre os resíduos de interesse. O segundo peneiramento foi realizado após a moagem dos resíduos obtidos no processo anterior, e teve como objetivo obter uma granulometria constante. A Figura 14 demonstra as curvas a) e b) de distribuição granulométrica derivadas do primeiro e segundo peneiramentos.

Figura 14 – Curvas de Distribuição Granulométrica



Fonte: Autor (2024)

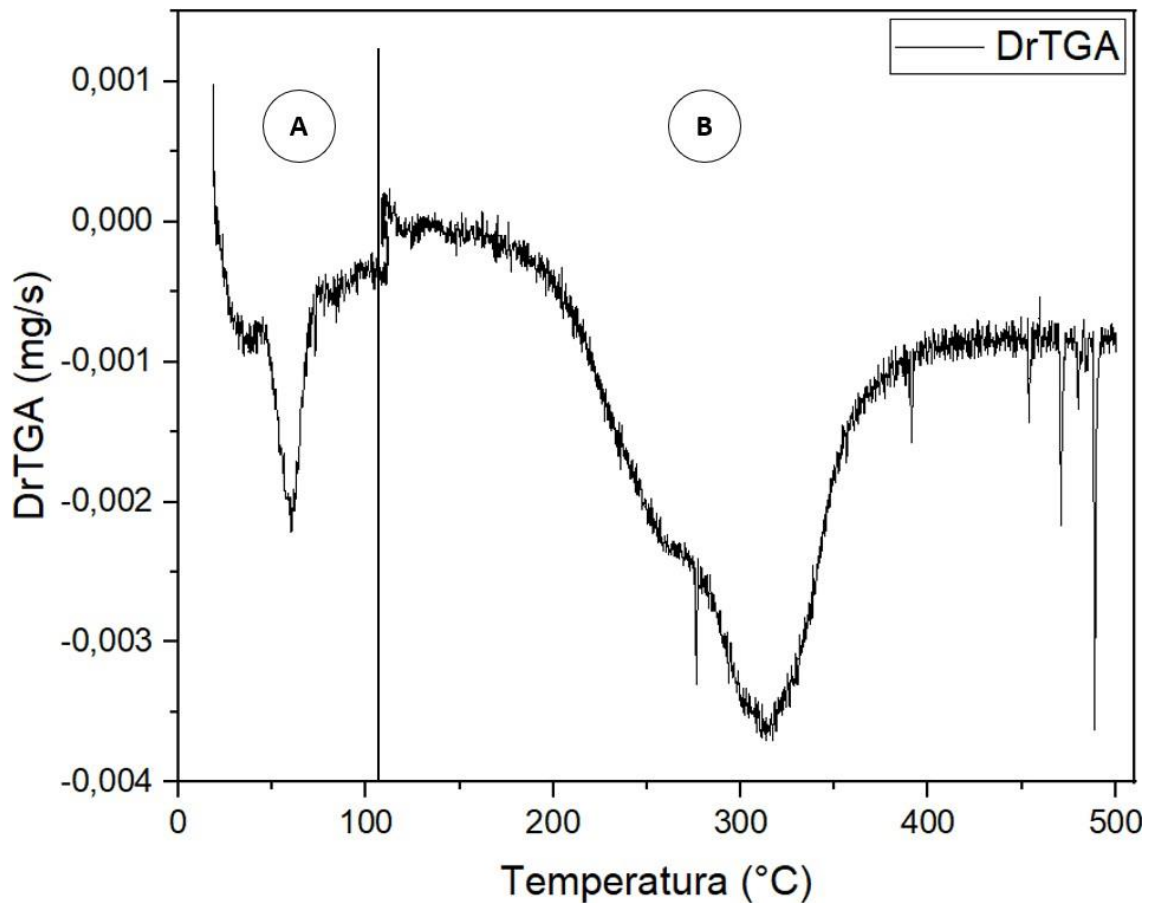
Através da análise granulométrica do primeiro peneiramento (a), é possível observar um pico que representa que mais da metade dos resíduos são compostos por cascas e os grãos quebrados. O segundo peneiramento (b) separou o material moído em três frações, a de maior diâmetro de partícula, não útil, a retida no fundo, em pouca quantidade e a fração retida na Tyler 115, que representa 40% do material moído. A presença de grãos quebrados é uma característica natural da colheita mecanizada, onde a máquina não tem a capacidade de manter todos os grãos intactos e muitos se fragmentam durante o processo. O próprio maquinário faz uma breve separação, para que apenas os grãos não danificados sejam colhidos, descartando os fragmentados com as cascas e outras impurezas (EMBRAPA, 2013).

Boa parte dos resíduos da soja é matéria orgânica, possuindo diversos compostos orgânicos como lignina, hemicelulose e celulose, dentre outras cadeias carbônicas e grupos funcionais como óleos e gorduras (Martins *et al.*, 2015). O grafeno é composto majoritariamente por átomos de carbono, contendo poucos ou nenhum grupo funcional em sua estrutura, portanto foi necessário realizar um ensaio de remoção de extrativos para que o óleo e a gordura presentes no grão não interfiram nos procedimentos subsequentes da produção do grafeno. Após a extração foi possível observar que 11,78% dos RSoCG é composto por óleos e gorduras, que são provenientes apenas dos grãos quebrados, que compõem aproximadamente

metade dos RSoCG. Segundo a literatura, a quantidade de óleo presente na soja, obtido em operações de extração, é de 20 a 25%. A diferença entre o valor obtido e a literatura pode estar relacionada com a presença de casca nos resíduos utilizados e impurezas além das cascas e grãos quebrados (Ferreira de Souza *et al.*, 2009; Tomazin Junior, 2008).

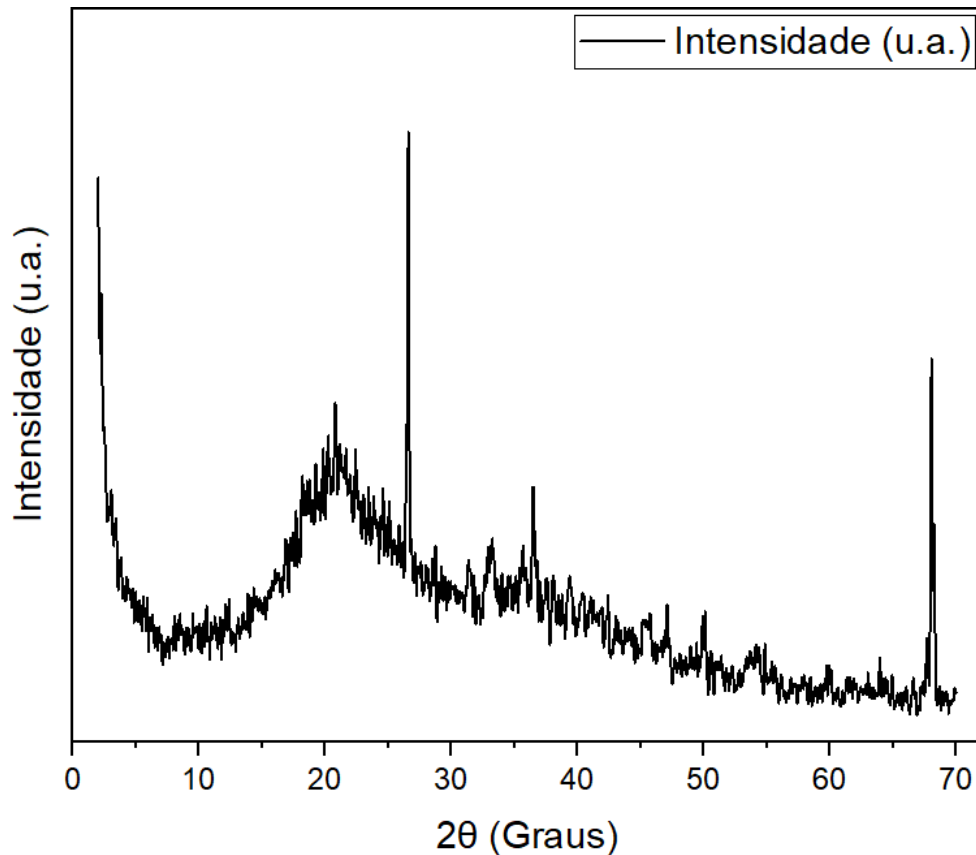
A Figura 15 e Figura 16 demonstram o resultado da Análise Termogravimétrica (TGA) dos RSoCG obtidos do processo de extração de óleos e gorduras e a análise de DRX dos RSoCG, respectivamente.

Figura 15 – Análise Termogravimétrica dos RSoCG sem extrativos



Fonte: Autor (2024)

Figura 16 – Análise de DRX dos RSoCG sem extrativos



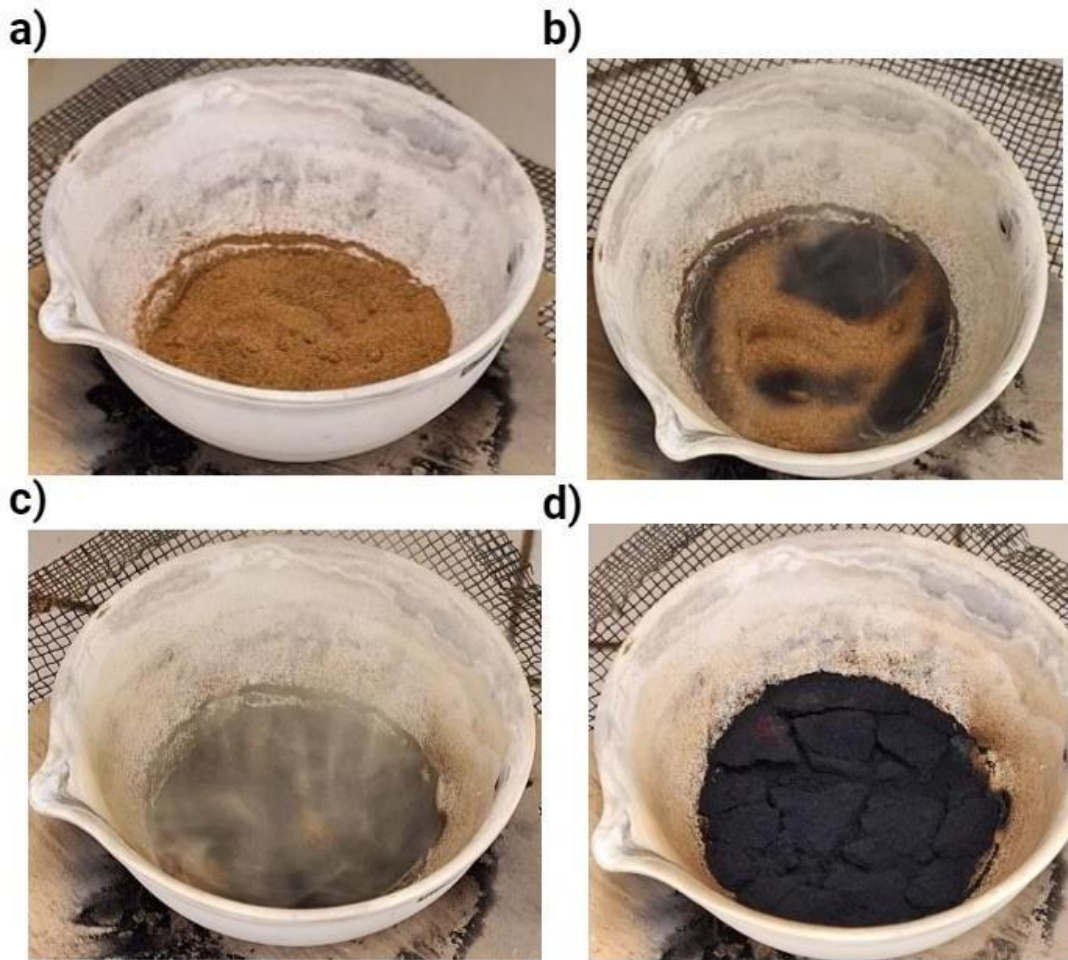
Fonte: Autor (2024)

Na Figura 15 a região A está relacionado à remoção da umidade e compostos voláteis do material e ocorre até a temperatura de 110°C (Fonseca Sobrinho, 2024; Rodrigues, 2023). A região B é possível observar perda de massa relacionada com a degradação dos compostos lignocelulósicos, sendo a faixa de temperatura entre 150 e 280°C ligada à remoção de hemicelulose, e a faixa de 280 a 380°C relacionada à degradação de celulose. A lignina, por sua vez, não possui uma faixa de degradação estreita, como a celulose e a hemicelulose, apresentando uma ampla faixa que pode chegar até 800°C. Este fenômeno se dá pela complexidade e heterogeneidade da lignina, que é composta por várias unidades estruturais com diferentes suscetibilidades à degradação térmica (Adler, 1977; Asimakidou; Chrissafis, 2022; Castells *et al.*, 2023).

Na Figura 16 é possível notar um pico entre 18° e 25° relacionado com estruturas carbonáceas amorfas (Severo, 2020). Também é notável um pico em 26,6°, caracterizando a presença de sílica na amostra, possivelmente quartzo (Apolonio *et al.*, 2020). As regiões em 53° e 65° podem estar relacionadas com estruturas amorfas de materiais ferrosos (Silva, 2008).

A Figura 17 demonstra o primeiro ensaio de queima para produção de cinzas dos resíduos da soja (CRS1), realizado em bico de bunsen.

Figura 17 – Queima em bico de bunsen ao longo do tempo



Fonte: Autor (2024)

Após o fim da queima e o resfriamento da amostra e do cadinho, foi possível observar no material uma mudança de coloração que demonstra que nem todo o conteúdo foi carbonizado, como é mostrado na Figura 18.

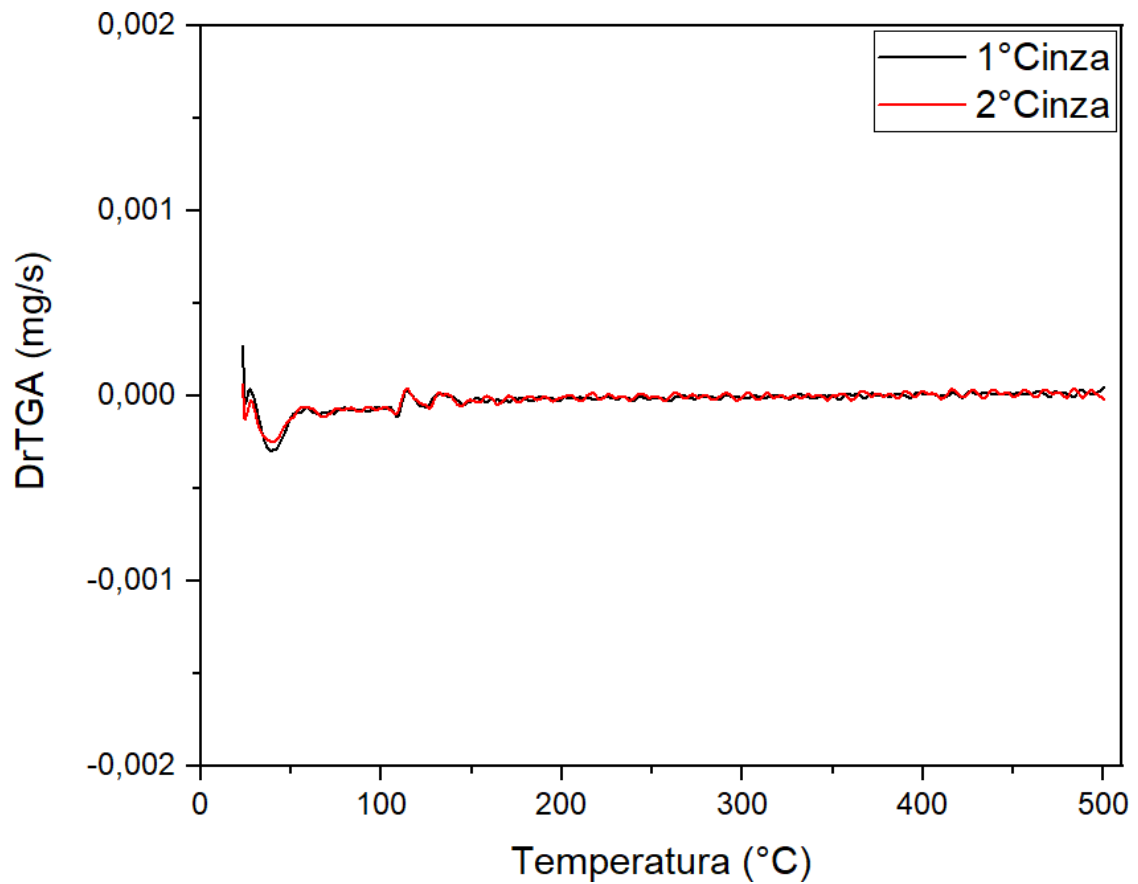
Figura 18 – CRS1 após queima em bico de bunsen



Fonte: (2024)

A Figura 19 representa as análises de TGA dos cinzas dos resíduos da soja, CRS1 e CRS2.

Figura 19 – TGA das Cinzas de Resíduos da Soja (CRS1 e CRS2)



Fonte: Autor (2024)

É possível observar, para ambas as CRS, a perda de massa característica de umidade e compostos voláteis até a faixa de 110°C. A carbonização em bico de bunsen e em mufla eliminou boa parte dos materiais voláteis e compostos lignocelulósicos, causando o comportamento demonstrado por CRS1 e CRS2, onde boa parte da massa da perda representa umidade e compostos voláteis da própria amostra e solvente residual do procedimento de extração.

A Figura 20 apresenta as cinzas obtidas através de um segundo ensaio (CRS2), feito apenas em mufla a 400°C por 1h.

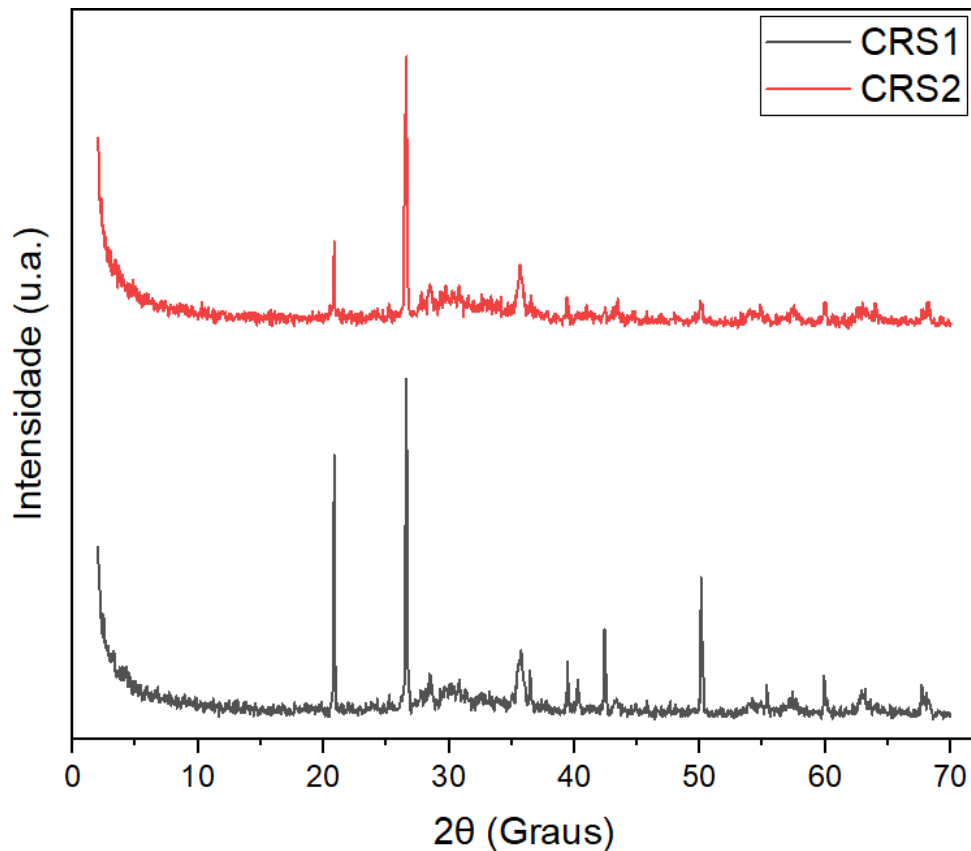
Figura 20 – CRS2 após queima em mufla



Fonte: Autor (2024)

Semelhantemente, as mesmas também foram analisadas por meio de Difrações de Raios X (DRX), onde essa técnica tem o intuito de observar a presença de compostas cristalinos e amorfos nos materiais, possibilitando a identificação de carbono amorfo, materiais ferrosos e silicatos. A Figura 21 traz as análises de DRX das cinzas dos resíduos da soja para ambos os ensaios.

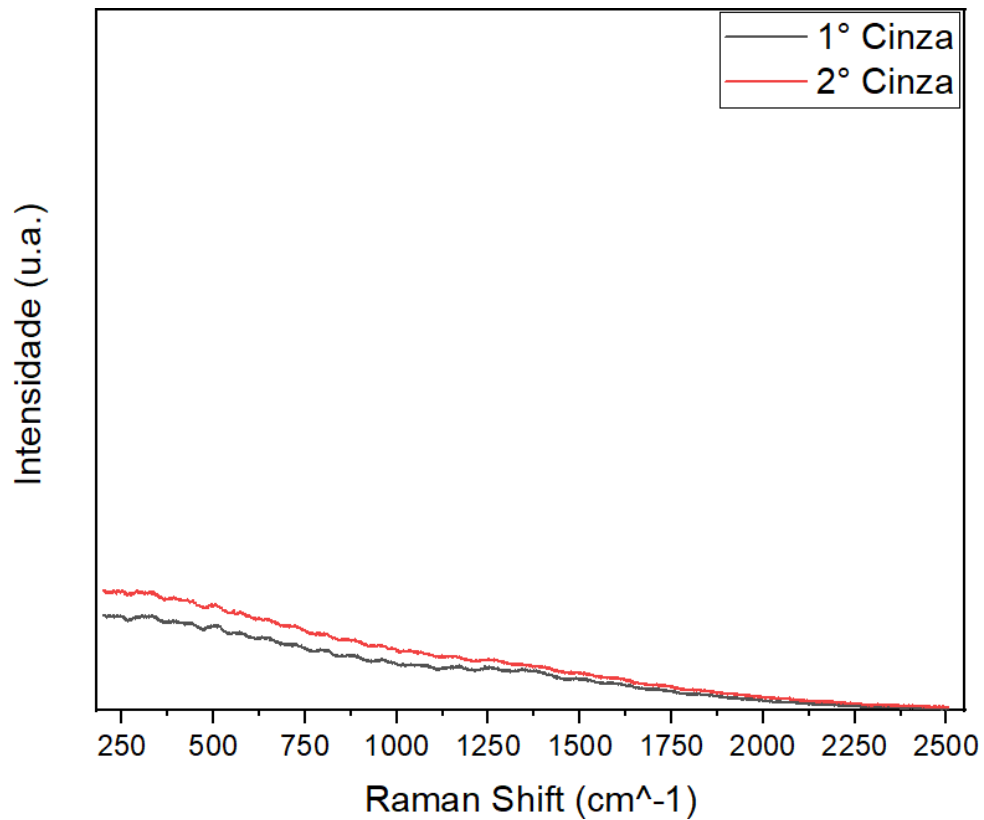
Figura 21 – Análise de DRX das CRS1 e CRS2



Fonte: Autor (2024)

Na Figura 21 é possível observar a presença de estruturas cristalinas, materiais carbonáceos e minerais, como silício e ferro. Silva *et al.* (2020), Cechin *et al.* (2022) e Silva *et al.* (2019) obtiveram comportamentos semelhantes com a cinza da casca do arroz, cinza do farelo do trigo e cinza do bagaço da cana-de-açúcar respectivamente. Com picos característicos de materiais cristalinos relacionados a Sílica, como a cristobalita ( $20,85^\circ$ ) e quartzo ( $26,6^\circ$ ). É possível observar um pico de cristobalita maior nas CRS1, pois em altas temperaturas o quartzo é convertido em cristobalita (Apolonio *et al.*, 2020). Também é possível notar perturbações na região entre  $55^\circ$  e  $65^\circ$ , que podem estar ligadas a presença de materiais ferrosos, mais em específico magnetita e hematita (Silva, 2008). Tal fato se justifica, pois mesmo após um peneiramento primário dos resíduos, ainda poderiam conter impurezas como pequenas pedras e poeira. Também é importante ressaltar que os resíduos são originários de lavouras cultivadas em solo de cor avermelhada, que indica alta concentração de materiais ferrosos. A Figura 22 traz a Espectroscopia Raman das CRS para ambos os ensaios.

Figura 22 – Espectroscopia Raman das CRS1 e CRS2

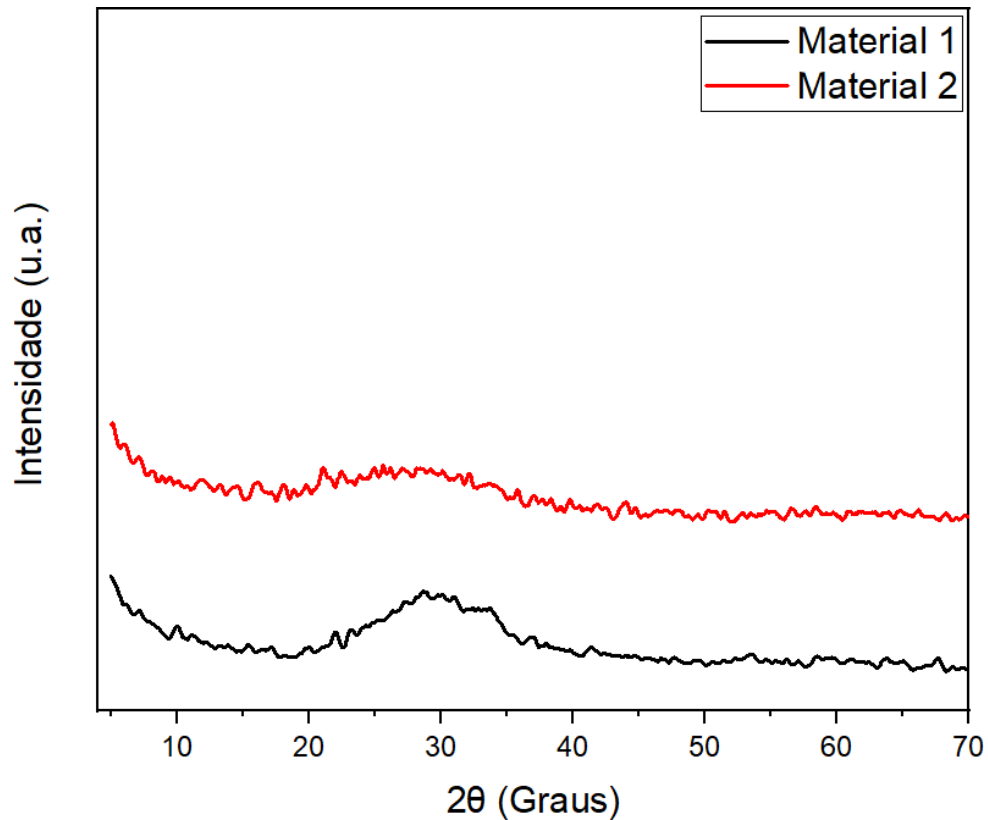


Fonte: Autor (2024)

Conforme demonstrado na Figura 22 as CRS1 não apresentam as bandas D e G bem representadas, apenas ruídos, porém as CRS2, apresentaram um leve pico na região de 1350  $\text{cm}^{-1}$  (banda D), confirmando a presença e carbono amorfo.

A Figura 23 traz as análises de DRX dos dois ensaios de ativação termoquímica das CRS1 e CRS2, com KOH a 850°C por 1h.

Figura 23 – Análises de DRX da ativação termoquímica

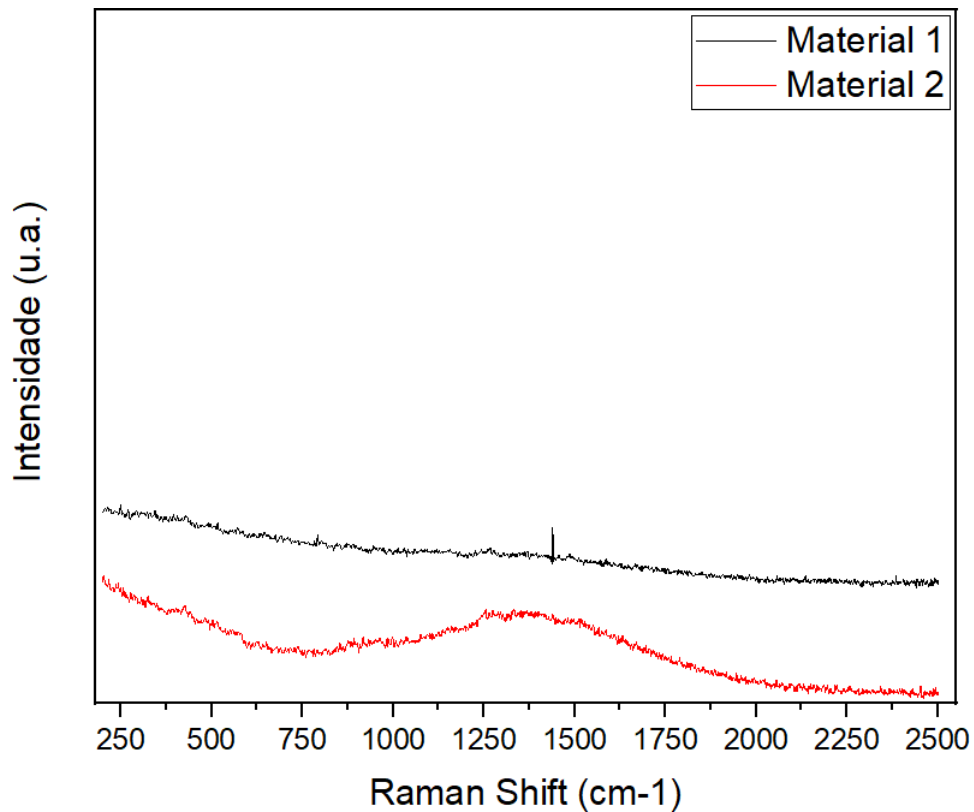


Fonte: Autor (2024)

É possível observar que a região entre  $20^\circ$  e  $35^\circ$  não evidencia mais a presença de estruturas cristalinas de silício, indicando que o agente de ativação KOH teve ação sobre o arranjo estrutural da amostra, porém ambas as amostras não demonstram a presença de estruturas gráficas. Perondi *et al.* (2021), obtiveram um resultado semelhante utilizando celulose, mas a uma temperatura de  $700^\circ\text{C}$  e resultados diferentes em temperaturas acima de  $800^\circ\text{C}$ . Salverda *et al.* (2022) produziram óxido de grafeno através de esfoliação eletroquímica e obtiveram picos em  $25^\circ$  e  $45^\circ$  que correspondem com estruturas gráficas (Perez, 2019).

A Figura 24 traz a Espectroscopia Raman dos materiais obtidos após a ativação química.

Figura 24 – Espectroscopia Raman dos materiais após procedimento Ativação Química



Fonte: Autor (2024)

Na Figura 24 o segundo material obtido demonstra um único pico amplo que varia de  $1250\text{ cm}^{-1}$  á  $1600\text{ cm}^{-1}$ , indicando a presença de carbono amorfo, estruturas grafíticas. Severo (2020), ao usar serragem da madeira como bioprecursor para produzir grafeno, obteve picos bem definidos nas bandas D e G ( $\sim 1350\text{ cm}^{-1}$  e  $\sim 1580\text{ cm}^{-1}$ ) para as cinzas, nas mesmas condições experimentais. Para o grafeno, também em mesmas condições, obteve os picos em D e G e, em paralelo, também obteve pico na banda 2D ( $\sim 2690\text{ cm}^{-1}$ ), que confirma presença de grafeno. Segundo Pimenta *et al.* (2007), a banda D representa materiais carbonáceos amorfos e desordem nas estruturas cristalinas, e a banda G representa a presença de ligações carbono-carbono  $\text{sp}^2$ .

#### 4. CONCLUSÃO

Após a execução de todos os procedimentos e comparação com a literatura, é possível observar que, nas condições experimentais atribuídas, os resíduos da soja não se mostraram adequados para produzir grafeno através da metodologia de ativação química.

Os procedimentos de beneficiamento do resíduo se mostraram relevantes para os ensaios de produção das cinzas e ativação química. O primeiro peneiramento foi eficiente e removeu boa parte das impurezas presentes nos resíduos. A moagem e o segundo peneiramento resultaram em um material particulado com 0,28 mm de diâmetro médio, possuindo uma granulometria uniforme utilizada ao longo do trabalho. O ensaio de extração removeu 11,78% de óleos e gorduras que se encontravam nos grãos quebrados dos resíduos e, portanto, condicionando o material para os demais experimentos.

As análises de DRX e Raman, do segundo ensaio experimental, tanto das cinzas quanto do material pós ativação, apresentaram comportamentos característicos e picos análogos aos materiais respectivos observados na literatura.

A análise de DRX do segundo ensaio de ativação mostrou a eficiência do KOH como agente de ativação, removendo a sílica cristalina residual da CRS2 e reorganizando as camadas do material obtido. No espectro Raman, o segundo material demonstrou leve pico em  $\sim 1560\text{cm}^{-1}$  (Banda G) indicando a presença de ligações carbono-carbono  $\text{sp}^2$ .

Portanto, os resultados e observações confirmam que as condições experimentais, desde o beneficiamento, na separação dos resíduos, moagem e peneiramento, até a produção das cinzas e ativação química, nas temperaturas e tempos de permanência escolhidos, se mostraram importantes no desenvolvimento do trabalho, demonstrando que a metodologia de ativação química pode ser aplicada a outros materiais residuais lignocelulósicos.

## REFERÊNCIAS

- ADLER, E.** Lignin chemistry: past, present and future. *Wood Science and Technology*, v. 11, n. 3, p. 169–218, set. 1977.
- ALLEN, M. J.; TUNG, V. C.; KANER, R. B.** Honeycomb carbon: a review of graphene. *Chemical Reviews*, v. 110, n. 1, p. 132–145, 13 jan. 2010.
- ALI, M. R. et al.** Performance enhancement of lithium-ion battery using modified  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  cathode followed by ultrasonic-assisted electrochemically synthesized graphene. *Results in Engineering*, v. 20, 1 dez. 2023.
- AKHAVAN, O.; BIJANZAD, K.; MIRSEPAH, A.** Synthesis of graphene from natural and industrial carbonaceous wastes. *RSC Advances*, v. 4, n. 39, p. 20441–20448, 2014.
- APOLONIO, P. H. et al.** Production of geopolymers using rice husk ash as supplementary source of silica. *Cerâmica*, v. 66, n. 378, p. 172–178, 1 jun. 2020.
- ASIMAKIDOU, T.; CHRISSAFIS, K.** Thermal behavior and pyrolysis kinetics of olive stone residue. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 147, n. 16, p. 9045–9054, 22 ago. 2022.
- BALANDIN, A. A. et al.** Superior thermal conductivity of single-layer graphene. *Nano Letters*, v. 8, n. 3, p. 902–907, mar. 2008.
- CASTELLS, B. et al.** Ignition and explosion characteristics of olive-derived biomasses. *Powder Technology*, v. 420, p. 118386, abr. 2023.
- CECHIN, L. et al.** Comparison of acids for silica extraction from wheat bran. *Revista Matéria*, v. 27, n. 4, 2022.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO).** Acompanhamento da Safra Brasileira. [S.l.: s.n.], 2024.
- EMBRAPA.** Determinação de perdas na colheita de soja: copo medidor da Embrapa. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: [www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br). Acesso em: 23 jun. 2024.

**EMBRAPA.** História da soja. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 23 jun. 2024.

**FERREIRA DE SOUZA, L. C. et al.** Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586–1593, nov./dez. 2009.

**HASAN, N. M.; MARION, B. D. G.** Grafeno: inovações, aplicações e sua comercialização. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, v. 2, n. 1, p. 29, 29 fev. 2016.

**JUNIOR, C. T.** Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela. [S.l.: s.n.], 2008.

**MANSARAY, K. G.; GHALY, A. E.** Thermogravimetric analysis of rice husks in an air atmosphere. *Energy Sources*, v. 20, n. 7, p. 653–663, 1998.

**MARTINS, M. F. et al.** Extração e caracterização da celulose e síntese de carboximetilcelulose a partir da casca de soja. [S.l.: s.n.], 2015.

**PEREZ, D. M.** Casca de arroz como precursora de carbono para obtenção de grafeno. [S.l.: s.n.], 2019.

**PERONDI, D. et al.** From cellulose to graphene-like porous carbon nanosheets. *Microporous and Mesoporous Materials*, v. 323, 1 ago. 2021.

**PIMENTA, M. A. et al.** Studying disorder in graphite-based systems by Raman spectroscopy. *Physical Chemistry Chemical Physics*, [S.l.: s.n.], 2007.

**PIRES, J. R. A.; SOUZA, V. G. L.; FERNANDO, A. L.** Valorization of energy crops as a source for nanocellulose production – current knowledge and future prospects. *Industrial Crops and Products*, v. 140, 15 nov. 2019.

**RODRIGUES, T. L.** Produção de nanofibras de celulose a partir dos resíduos de casca de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). [S.l.: s.n.], 2024.

**SEBRAE.** Nanotecnologia: benefícios para a indústria 4.0. Disponível em:

<https://respostas.sebrae.com.br/nanotecnologia-beneficios-para-a-industria-4-0/>. Acesso em: 20 jun. 2024.

**SEVERO, L. S.** Síntese e caracterização de grafeno produzido a partir da serragem de madeira. [S.l.: s.n.], 2020.

**SILVA, E. O. da.** Carvão ativado obtido a partir da palha de azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) para a adsorção do corante azul de metileno. [S.l.: s.n.], 2019.

**SILVA, J. O. da et al.** Caracterização da cinza da casca de arroz visando aplicação na confecção de materiais alternativos para construção civil. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 14, n. 1, p. 17, 14 abr. 2020.

**SILVA, E. J. da et al.** Evaluation by XRD analysis of the influence of grinding process in the pozolanic activity of sugar cane bagasse ash. *Revista Matéria*, v. 24, n. 4, 2019.

**SILVA, F. D. da.** Características químicas e cristalino-estruturais de ferritas naturais do tipo espinélio de pedossistemas magnéticos representativos. [S.l.: s.n.], 2008.

**STOLLER.** Qual a importância da soja para a agricultura brasileira? Disponível em: <https://www.stoller.com.br/blog/importancia-da-soja-para-a-agricultura-brasileira/#:~:text=A%20liderança%20da%20soja%20na,mesmo%20na%20produção%20de%20bioco mbustíveis>. Acesso em: 23 jun. 2024.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dos procedimentos e a comparação com a literatura, observou-se que, nas condições experimentais utilizadas, os resíduos de soja não foram adequados para a produção de grafeno por meio da ativação química, porém foi possível obter comportamentos característicos observados em outros trabalhos que fizeram uso da mesma metodologia e mesmas condições experimentais, mas com outras biomassas.

As etapas de beneficiamento dos resíduos se mostraram essenciais para a produção de cinzas e a ativação química. O primeiro processo de peneiramento foi eficaz, removendo grande parte das impurezas dos resíduos. A moagem e o segundo peneiramento geraram um material particulado com uma granulometria homogênea que foi utilizada ao longo do estudo. O ensaio de extração eliminou boa parte dos óleos e gorduras dos grãos quebrados dos resíduos, preparando o material para as fases subsequentes.

As análises de difração de raios X (DRX) e espectroscopia Raman no segundo experimento, tanto das cinzas quanto do material após a ativação, revelaram padrões e picos compatíveis com os materiais observados em outros estudos. O DRX do segundo ensaio mostrou a eficiência do KOH como agente de ativação, removendo a sílica cristalina residual e reorganizando as camadas do material final. O espectro Raman apresentou um largo pico na Banda G, indicando a presença de ligações carbono-carbono  $sp^2$ .

Assim, os resultados confirmam que as condições experimentais, incluindo o beneficiamento, a separação dos resíduos, a moagem, o peneiramento, a produção das cinzas e a ativação química, com as temperaturas e tempos de permanência escolhidos, foram cruciais para os resultados obtidos no estudo, evidenciando que a ativação química pode ser aplicada a outros resíduos lignocelulósicos.

O uso de resíduos agroindustriais como bioprecusores para produção novos materiais têm se demonstrado cada vez mais relevante atualmente, com diferentes biomassas sendo reaproveitadas e diversas novas metodologias sendo estudadas e aprimoradas, no intuito de atingir as melhores condições experimentais para produzir materiais de melhor qualidade.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São sugestões para trabalhos futuros, o uso de diferentes biomassas, com alto teor de compostos lignocelulósicos, em especial a lignina, a escolha de diferentes condições experimentais para produção das cinzas e do grafeno, como a temperatura, o tempo de permanência em mufla e o agente de ativação, e por fim a execução de diferentes

caracterizações, como análise de Fluorescência de Raios X (FRX), para determinar os compostos químicos presentes nas amostras, o teste de BET, para determinar a área superficial e a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para observar e analisar a estrutura morfológica dos materiais usados e obtidos após os procedimentos.

## REFÊRENCIAS

ADLER, E. Lignin chemistry: past, present and future. **Wood Science and Technology**, v. 11, n. 3, p. 169–218, set. 1977.

AKHAVAN, Omid; BIJANZAD, Keyvan; MIRSEPAH, Ali. Synthesis of graphene from natural and industrial carbonaceous wastes. **RSC Advances**, v. 4, n. 39, p. 20441–20448, 2014.

ALGUL, H. *et al.* The effect of graphene content and sliding speed on the wear mechanism of nickel-graphene nanocomposites. **Applied Surface Science**, v. 359, p. 340–348, 30 dez. 2015.

ALI, Md. Ramjam. *et al.* **Performance enhancement of lithium-ion battery using modified LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> cathode followed by ultrasonic-assisted electrochemically synthesized graphene.** Results in Engineering, v. 20, 1 dez. 2023.

ALLEN, Matthew. J.; TUNG, Vincent. C.; KANER, Richard. B. **Honeycomb carbon: A review of graphene.** Chemical Reviews, v. 110, n. 1, p. 132–145, 13 jan. 2010.

ANINA DEDAVID, Berenice; ISSE GOMES, Carmem; MACHADO, Giovanna. **MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.** [S.l: s.n.], 2007.

APOLONIO, P. H. *et al.* Production of geopolymers using rice husk ash as supplementary source of silica. **Cerâmica**, v. 66, n. 378, p. 172–178, 1 jun. 2020.

ASIMAKIDOU, T.; CHRISAFIS, K. Thermal behavior and pyrolysis kinetics of olive stone residue. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 147, n. 16, p. 9045–9054, 22 ago. 2022.

BALANDIN, Alexander. A. *et al.* Superior thermal conductivity of single-layer graphene. **Nano Letters**, v. 8, n. 3, p. 902–907, mar. 2008.

BEAMS, Ryan; GUSTAVO CANÇADO, Luiz; NOVOTNY, Lukas. Raman characterization of defects and dopants in graphene. **Journal of Physics Condensed Matter**. [S.l.]: Institute of Physics Publishing. 4 mar. 2015

BENÍTEZ-MARTÍNEZ, Sandra; VALCÁRCEL, Miguel. Graphene quantum dots as sensor for phenols in olive oil. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 197, p. 350–357, 5 jul. 2014.

BORGES, Ianca. Oliveira. *et al.* Potencial de utilização de resíduos da cultura de soja tratados com água e hidróxido de sódio para produção de painéis aglomerados. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e29511225762, 25 jan. 2022.

BORIN BARIN, Gabriela. *et al.* **OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE PROCESSO PARA A OBTENÇÃO DE MONOCAMADAS DE GRAFENO E ESTRUTURAS GRAFITE/GRAFENO-LIKE**. [S.l: s.n.], 2014.

CASTELLS, B. *et al.* Ignition and explosion characteristics of olive-derived biomasses. **Powder Technology**, v. 420, p. 118386, abr. 2023.

CECHIN, Luana. *et al.* Comparison of acids for silica extraction from wheat bran. **Revista Materia**, v. 27, n. 4, 2022.

CHEN, Hongzhang. **Biotechnology of Lignocellulose**. [S.l: s.n.], 2014.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Acompanhamento da Safra Brasileira**. [S.l: s.n.], 2024.

DALL'AGNOL, Amélio.; OLIVEIRA, Arnold Barbosa de.; LAZZAROTTO, Joelsio José.; HIRAKURI, Marcelo Hirochi. **Importância socioeconômica da soja**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica-da-soja>. Acesso em: 23 jun. 2024.

DENARI, Gabriela Bueno.; CAVALHEIRO, Éder Tadeu Gomes. **PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES DE ANÁLISE TÉRMICA**. [S.l: s.n.], 2012.

DIMOV, Dimitar. *et al.* Ultrahigh Performance Nanoengineered Graphene–Concrete Composites for Multifunctional Applications. **Advanced Functional Materials**, v. 28, n. 23, 6 jun. 2018.

ELZUBAIR, Amal.; UCHÔA, Lucas Riley.; PRADO DA SILVA, Marcelo Henrique. Production and characterization of graphene oxide/polymer support composite membranes for water desalination and purification. **Desalination and Water Treatment**, v. 317, 1 jan. 2024.

EMBRAPA. **História da Soja**. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

FERREIRA DE SOUZA, Luiz. C. *et al.* **TEOR DE PROTEÍNA E DE ÓLEO NOS GRÃOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO DE SEMENTES E APLICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586-1593, nov./dez., 2009.

**FORUM DE COMPETITIVIDADE EM NANOTECNOLOGIA Contribuições GT-Marco Regulatório**. [S.l: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <[www.nanotech.law.asu.edu/](http://www.nanotech.law.asu.edu/)>.

GOMES, Thiago Lourenço. **Obtenção de micro e nanocelulose a partir de biomassa lignocelulósica de resíduo da casca do Ingá-Cipó (*Inga edulis* Mart.) via tratamento químico**. 2022. 2022.

GUILHERME, A. A. *et al.* Evaluation of composition, characterization and enzymatic hydrolysis of pretreated sugar cane bagasse. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 32, n. 1, p. 23–33, 1 jan. 2015.

HABITABILITY. **ODS 11: conheça os objetivos da ONU para as cidades**. Disponível em: <https://habitability.com.br/ods-11-conheca-o-objetivo-da-onu-para-as-cidades/>. Acesso em: 22 jun. 2024.

HAMMES, Ingrid. **Produção de grafeno com poucas camadas a partir de filmes de carbono amorfo sobre substratos isolantes a temperatura ambiente**. [S.l: s.n.], 2016.

HASAN, Nasser. M.; MARION, Bianca. D. G. Grafeno: Inovações, Aplicações e sua Comercialização. **Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas**, v. 2, n. 1, p. 29, 29 fev. 2016.

HUMMERS, William S.; HOFFEMAN, Richard E. **PREPARATION OF GRAPHITIC OXIDE**. [S.l: s.n.], 1957.

Jauris, I. M. *et al.* Adsorption of anti-inflammatory nimesulide by graphene materials: A combined theoretical and experimental study. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 19, n. 33, p. 22099–22110, 2017.

JAURIS, I. M. *et al.* Adsorption of sodium diclofenac on graphene: A combined experimental and theoretical study. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 18, n. 3, p. 1526–1536, 2016.

JUNIOR, Celso. Tomazin. **Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela**. [S.l.: s.n.], 2008.

KIM, Keun. Soo. *et al.* Large-scale pattern growth of graphene films for stretchable transparent electrodes. **Nature**, v. 457, n. 7230, p. 706–710, 5 fev. 2009.

KING, A. *et al.* Observations of intergranular stress corrosion cracking in a grain-mapped polycrystal. **Science**, v. 321, n. 5887, p. 382–385, 18 jul. 2008.

LAZZAROTTO, Joelsio José.; HIRAKURI, Marcelo Hirakuri. **Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro**. 2010. Disponível em: [www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br). Acesso em: 23 jun. 2024.

LIOU, Tzong Horng.; WU, Shao Jung. Characteristics of microporous/mesoporous carbons prepared from rice husk under base- and acid-treated conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1–3, p. 693–703, 15 nov. 2009.

MACHADO, Fernando Machado. **NANOTUBOS DE CARBONO COMO NANOADSORVENTES NA REMOÇÃO DE CORANTES SINTÉTICOS DE SOLUÇÕES AQUOSAS: UM ESTUDO EXPERIMENTAL E TEÓRICO**. [S.l.: s.n.], 2012.

MACHADO GROFF, Andréa.; LAURANI, Marcus Vinícius. **Composição química e uso dos resíduos de beneficiamento de soja e milho na alimentação de bovinos**. [S.l.: s.n.], 2009.

MANSARAY, K. G.; GHALY, A. E. **Thermogravimetric Analysis of Rice Husks in an Air Atmosphere**. **Energy Sources**, 20(7), 653–663. 1998

MARTINS, Evelyn Hoffmann. *et al.* Soybean waste in particleboard production. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 186–194, 1 mar. 2018.

MARTINS, Morganna Freitas. *et al.* **EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA CELULOSE E SÍNTESE DE CARBOXIMETILCELULOSE A PARTIR DA CASCA DE SOJA**. [S.l.: s.n.], 2015.

MAZLOOMIAN, Katrina. *et al.* Supercapacitor Degradation: Understanding Mechanisms of Cycling-Induced Deterioration and Failure of a Pseudocapacitor. **Batteries and Supercaps**, v. 6, n. 8, 1 ago. 2023.

MESHARAM, Atul P.; PUNITH KUMAR, M. K.; SRIVASTAVA, Chandan. Enhancement in the corrosion resistance behaviour of amorphous Ni–P coatings by incorporation of graphene. **Diamond and Related Materials**, v. 105, 1 maio 2020.

MOO, James Guo Sheng. *et al.* Graphene Oxides Prepared by Hummers', Hofmann's, and Staudenmaier's Methods: Dramatic Influences on Heavy-Metal-Ion Adsorption. **ChemPhysChem**, v. 15, n. 14, p. 2922–2929, 1 out. 2014.

MOTA, Rafael Oliveira da *et al.* AVANÇOS RECENTES NA UTILIZAÇÃO DO GRAFENO COMO ADITIVO EM POLÍMEROS / RECENT ADVANCES IN THE USE OF GRAPHENE AS AN ADDITIVE IN POLYMERS. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 32743–32752, 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 22 jun. 2024.

NETO, Antonio Castro; GUINEA, Francisco; PERES, Nuno Miguel. **Drawing conclusions from graphene**. [S.l.: s.n.], 2006. Disponível em: <http://iopscience.iop.org/2058-7058/19/11/34>.

NOVOSELOV, Konstantin S. *et al.* **Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films**. **Phys. Rev. Lett.** [S.l.]: Kluwer, 2000. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/>. Acesso em: 08/07/2024.

PAYANDEHPEYMAN, J.; MAZAHARI, M.; KHAMEHCHI, M. Prediction of electrical conductivity of polymer-graphene nanocomposites by developing an analytical model considering interphase, tunneling and geometry effects. **Composites Communications**, v. 21, 1 out. 2020.

PEREZ, Diego. Marisco. **CASCA DE ARROZ COMO PRECURSORA DE CARBONO PARA OBTENÇÃO DE GRAFENO**. [S.l.: s.n.], 2019.

PERONDI, Daniele. *et al.* From cellulose to graphene-like porous carbon nanosheets. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 323, 1 ago. 2021.

PIMENTA, Marcos. A. *et al.* **Studying disorder in graphite-based systems by Raman spectroscopy.** *Physical Chemistry Chemical Physics*. [S.l: s.n.], 2007

PIRES, João. R. A.; SOUZA, Victor. G. L.; FERNANDO, Ana. Luísa. Valorization of energy crops as a source for nanocellulose production – Current knowledge and future prospects. **Industrial Crops and Products**, v. 140, 15 nov. 2019.

RODRIGUES, Tereza Longaray. **PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS DE CELULOSE A PARTIR DOS RESÍDUOS DE CASCA DE ACÁCIA-NEGRA (Acacia mearnsii De Wild.)**. [S.l: s.n.], 2024.

SALVERDA, Michael. *et al.* Electrochemical Exfoliation of Graphite to Graphene-Based Nanomaterials. **Molecules**, v. 27, n. 24, 1 dez. 2022.

SANKAR, S. *et al.* Ultrathin graphene nanosheets derived from rice husks for sustainable supercapacitor electrodes. **New Journal of Chemistry**, v. 41, n. 22, p. 13792–13797, 2017.

SANTOS, Thalita Paula Dos. *et al.* Potencial de utilização do resíduo de soja como carga em polietileno de baixa densidade (PEBD). **Revista Materia**, v. 26, n. 4, 2021.

SEVERO, Lisiane da Silva. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE GRAFENO PRODUZIDO A PARTIR DA SERRAGEM DE MADEIRA**. [s.l: s.n.], 2020.

SHAMS, S. Saqib. *et al.* Synthesis of graphene from biomass: A green chemistry approach. **Materials Letters**, v. 161, p. 476–479, 5 set. 2015.

SHI, Shih Chen; CHEN, Xin An. Cellulose circular economy: Amino-functionalized graphene quantum dots as highly sensitive vaccine indicators. **Industrial Crops and Products**, v. 206, 15 dez. 2023.

SILVA, Elenara Oliveira da. **CARVÃO ATIVADO OBTIDO A PARTIR DA PALHA DE AZEVÉM (Lolium multiflorum Lam.) PARA A ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO**. [s.l: s.n.], 2019.

SILVA, Fernando Dias da. **Características Químicas e Cristalino-Estruturais de Ferritas Naturais do Tipo Espinélio de Pedossistemas Magnéticos Representativos**. [s.l: s.n.], 2008.

SILVA, Juliana Oliveira da *et al.* CARACTERIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ VISANDO APLICAÇÃO NA CONFECÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 17, 14 abr. 2020.

SILVA, Neumara Luci Conceição. **PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE BIOMASSA RESIDUAL DA INDÚSTRIA DE CELULOSE**. [s.l: s.n.], 2010.

SIMÕES CARVALHO, Nágyla. *et al.* **REVISÃO: A IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO**. [s.l: s.n.], 2023.

SINCLAIR, Robert C.; SUTER, James L.; COVENEY, Peter V. Micromechanical exfoliation of graphene on the atomistic scale. **Physical Chemistry Chemical Physics**, v. 21, n. 10, p. 5716–5722, 2019.

STOLLER. **QUAL A IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA A AGRICULTURA BRASILEIRA?** Disponível em: <https://www.stoller.com.br/blog/importancia-da-soja-para-a-agricultura-brasileira/#:~:text=A%20liderança%20da%20soja%20na,mesmo%20na%20produção%20de%20biocombustíveis>. Acesso em: 23 jun. 2024.

TAMBARA, Antônio Augusto Cortiana. *et al.* **Avaliação in vivo da digestibilidade da casca do grão de soja moída com ovinos**. 1995.

TEIXEIRA, Marta A. *et al.* Electrospun nanocomposites containing cellulose and its derivatives modified with specialized biomolecules for an enhanced wound healing. **Nanomaterials**. **MDPI AG**, 1 mar. 2020.