



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – *CAMPUS IX***  
**COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**USO DO GRAFENO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE  
DE QUATRO VARIEDADES DE SOJA EM SÃO DESIDÉRIO - BA**

**ARMANDO DE SOUZA RIBEIRO NETO**

BARREIRAS – BA

2025

**ARMANDO DE SOUZA RIBEIRO NETO**

**USO DO GRAFENO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE  
DE QUATRO VARIEDADES DE SOJA EM SÃO DESIDÉRIO - BA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo  
pela Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
no departamento de Ciências Humanas –  
*Campus IX.*

Orientador: Prof. Dr. Jorge da Silva  
Júnior

BARREIRAS

2025

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – CAMPUS IX**  
**COLEGIADO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**

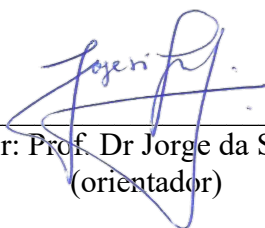
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**USO DO GRAFENO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE**  
**DE QUATRO VARIEDADES DE SOJA EM SÃO DESIDÉRIO - BA**

AUTOR: ARMANDO DE SOUZA RIBEIRO NETO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Jorge da Silva Júnior

Banca Examinadora:



---

Orientador: Prof. Dr. Jorge da Silva Júnior.  
(orientador)

---

Dr<sup>a</sup>. Leandra Brito de Oliveira  
(examinador externo 1)

---

Dr. Tadeu Cavalcante Reis  
(examinador externo 2)

Data de realização \_\_10\_\_ / \_\_07\_\_ / \_\_2025\_\_

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus, fonte de todas a sabedoria, que me sustentou nos momentos de cansaço, duvida e incerteza. E a minha família, pelo amor, paciência e apoio incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concebido forças para superar todas as adversidades, e fazendo chegar aonde cheguei, sempre me abençoando a todo momento.

Agradeço aos meus pais, Selma Renata de Souza Ribeiro e José Raimundo Ribeiro Filho, por me fazer o homem que sou hoje. Sinto muito orgulho de ser filho de vocês. Obrigado por todas as oportunidades que me deram. Obrigado por sempre me apoiarem. Obrigado pelos ensinamentos de vida. Obrigado também pelas repreensões, pois foi através dessas ações, que podem ser simples vista de fora, mas para um filho é o melhor presente do mundo.

Obrigado mãe por ser essa mulher forte e dedicada, que sempre tem a família como prioridade, obrigado por todo o apoio, incentivo e carinho, a senhora é o meu maior orgulho, te amo muito.

Obrigado pai por ser o alicerce da nossa família, o senhor é a minha inspiração, fico satisfeito se conseguir ser metade do homem e pai, que o senhor é para mim, te amo muito.

Agradeço também a minha família por sempre me ajudarem e apoiarem. Em especial minhas avós Dona Ieda e Dona Santinha, minhas tias Sandra e Fernanda, e meus tios Venicius, Edmilson, Luís e Wilson.

Agradeço a minha namorada Karoline Queiroz de Almeida, por todo o apoio e amor que me proporcionou durante todos os momentos que tivemos juntos, por todas as risadas, por estar comigo nos melhores e nos piores momentos. Obrigado por ser essa mulher incrível, te amo muito.

Agradeço aos meus primos mais velhos Gabriel e Natalia, por todo o apoio e encorajamento que me deram durante a minha vida, e aos meus priminhos por serem um dos motivos da minha força e da vontade de conquista todos os meus sonhos.

Agradeço aos meus amigos por me acompanharem durante todo o meu processo de amadurecimento, em especial, Tauana, Isadora, Gabriel Marques, Gabriel Araújo, Wilian, Rafael, Gislane e Magdiel. Sem vocês a passagem pela faculdade não seria tão divertida.

Agradeço ao meu orientador Dr. Jorge da Silva Júnior, e a prof. Dr<sup>a</sup>. Leandra Brito de Oliveira, não só por me orientarem durante esse processo, mas por serem esse exemplo a se seguir, obrigado pela dedicação, paciência e todo o apoio.

Por fim, agradeço a Empresa Agrografeno por ter me disponibilizado todo o material para realizar o estudo feito.

RIBEIRO NETO, Armando de Souza. **Grafeno como potencializador fisiológico da soja no Oeste Baiano**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Barreiras, 2025.

## RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com grande importância socioeconômica devido à sua ampla utilização na alimentação humana, animal e na produção de biocombustíveis. A crescente demanda por produtividade tem impulsionado o uso de novas tecnologias, como os nanomateriais, que apresentam potencial para melhorar o desempenho fisiológico das plantas. O objetivo deste trabalho é identificar os efeitos do uso da nanotecnologia no desenvolvimento e na produtividade de quatro cultivares de soja. O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados com aplicação foliar (1 kg/ha) em quatro cultivares de soja. Foram analisadas as variáveis, altura de planta, número de nós reprodutivos, número de vagens por planta, número de grãos por planta e produtividade. Os resultados evidenciaram que as cultivares TMG 2383 IPRO, DOMÍNIO IPRO e OLIMPO IRO responderam de forma positiva à aplicação do grafeno, com incrementos significativos em todos os parâmetros analisados. A cultivar TMG 2383 IPRO apresentou aumento de 121,70% no número de vagens por planta e 139,63% no número de grãos por planta. A OLIMPO IRO destacou-se com incremento de 26,16% na altura e 27,71% no número de nós reprodutivos. A cultivar M8349 IRO demonstrou desempenho mais estável, com menor variação entre os tratamentos com e sem grafeno, indicando menor sensibilidade ao nanomaterial.

**Palavras-chave:** Nanomateriais, fisiologia, produtividade.

RIBEIRO NETO, Armando de Souza. **Graphene as a physiological enhancer in soybean cultivation in the West of Bahia.** Undergraduate Thesis (Graduation in Agronomic Engineering) – University of state Bahia – UNEB, Barreiras, 2025

### ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the main agricultural crops in Brazil, with great socioeconomic importance due to its wide use in human and animal nutrition, as well as in the production of biofuels. The growing demand for productivity has driven the adoption of new technologies, such as nanomaterials, which have the potential to improve the physiological performance of plants. This study aimed to identify the effects of nanotechnology on the development and productivity of four soybean cultivars. The experiment followed a randomized block design, with foliar application of graphene (1 kg/ha) in four soybean cultivars. The variables analyzed were plant height, number of reproductive nodes, number of pods per plant, number of grains per plant, and productivity. The results showed that the cultivars TMG 2383 IPRO, DOMÍNIO IPRO, and OLIMPO IPRO responded positively to the application of graphene, with significant increases in all evaluated parameters. The TMG 2383 IPRO cultivar showed a 121.70% increase in the number of pods per plant and a 139.63% increase in the number of grains per plant. OLIMPO IPRO stood out with a 26.16% increase in plant height and a 27.71% increase in the number of reproductive nodes. The M8349 IPRO cultivar showed more stable performance, with less variation between treatments with and without graphene, indicating lower sensitivity to the nanomaterial.

**Key-words:** Nanomaterials, physiology, productivity

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1** - Altura média das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, 2025.....20
- Tabela 2** - Média do número de nós reprodutivos das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, 2025.....21
- Tabela 3** - Média do número de vagens por planta das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, 2025.....22
- Tabela 4** - Média do número de grãos por planta das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, 2025.....22

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Importância socioeconômica da soja .....	12
2.2 Botânica e morfologia da soja .....	13
2.3 Grafeno .....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1 Área Experimental .....	17
3.2 Delineamento, tratamentos e parcelas .....	17
3.3 Condução do experimento .....	17
3.4 Avaliações e coleta de dados .....	17
3.5 Análise estatística .....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5 CONCLUSÕES .....	24

## 1 INTRODUÇÃO

A soja *Glycine max* (L.) Merrill pertence à família Fabaceae (leguminosa), tem como centro de origem o continente Asiático, mais precisamente a região da China Antiga, sendo o grão uma importante fonte de proteínas, e quantidades significativas de aminoácidos que são essenciais ao corpo humano (Fernandes, 2022).

A introdução da soja *Glycine max* (L.) Merrill no Brasil deu-se por volta de 1882, sendo o professor Gustavo Dutra, da Escola de Agronomia da Bahia, o responsável pelos primeiros estudos com a cultura no país. No entanto, os cultivares oriundos dos Estados Unidos, não tiveram boa adaptação numa latitude em torno de 12° Sul. Em 1908, imigrantes japoneses, introduziram a soja em São Paulo, em latitude de 22° Sul, cujas primeiras observações foram feitas no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), apresentando melhor desenvolvimento que na Bahia (Silva et al., 2025). Naquela época, o interesse pela cultura não era pelo seu material nobre, o grão, e sim pela planta como uma espécie a ser utilizada como forrageira e na rotação de culturas. Os grãos eram ministrados aos animais já que ainda não havia o seu emprego na indústria (Weber, 2011).

O aumento gradativo da população mundial e a demanda de grãos para a produção de energia, aumenta a demanda por alimentos tanto no mercado interno quanto externo. Diante desse fator, a soja se torna um dos produtos mais consumidos, seja para alimentação humana, animal e/ou produção de energia (Ribeiro Neto, 2021). À medida que essa demanda aumenta, mais técnicas de produção agrícola são inseridas no seu cultivo, visando produtividade, qualidade e praticidade do produto final.

Na cultura da soja, a competição por plantas daninhas além de limitar o rendimento de grãos, também aumenta os custos e reduz a qualidade da produção. No estresse proporcionado pela matocompetição, a concorrência por recursos vitais como água, CO<sup>2</sup>, nutrientes, radiação e espaço, compromete o desenvolvimento da planta, alterando suas características morfológicas e fisiológicas severamente (Fernandes, 2022).

A floração adequada é de suma importância na cultura da soja, uma vez que, garante um grande número de vagens e, conseqüentemente, altas produtividades. No entanto, o aborto de estruturas como vagens e flores, ocorrem nos estágios iniciais de crescimento da planta e são influenciados por vários fatores bióticos e abióticos (Meyer et al., 2021). Para que consiga expressar todo o seu potencial produtivo, são levados em consideração os componentes genéticos e ambientais e a sua interação (Finoto et al., 2021).

Dessa forma, afim de mitigar esses danos a produtividade, faz-se o uso de nanomateriais, a exemplo do grafeno, que pode ser utilizado na agricultura, como estimulador de crescimento vegetal e componente de fertilizantes, em nanoencapsulação e sistemas de liberação inteligente, agente antifúngico e antibacteriano, embalagens inteligentes, tratamento de água e ultrafiltração, remoção de contaminantes, quantificação de pesticidas e inseticidas e em sistemas de detecção de agricultura de precisão (May et al., 2021)

Nesse sentido, o presente estudo objetivou identificar os efeitos do uso da nanotecnologia no desenvolvimento e na produtividade de quatro cultivares de soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância socioeconômica da soja

No Brasil, até meados dos anos 60 a soja não tinha importância econômica dentre as culturas principais, como cana-de-açúcar, algodão, milho, arroz, café, laranja e feijão. No entanto, a partir do final dos anos 60, a produção de soja teve um crescimento extraordinário, alterando sua importância relativa no cenário nacional e internacional. Esse crescimento fez com, que o Brasil, aumentasse sua participação na produção mundial de 3,6%, em 1970, para 18,7%, em 1980, passando de terceiro para segundo produtor mundial (Arantes, 1993).

No cenário atual da agricultura brasileira, a soja é uma das culturas de maior importância econômica, contribuindo significativamente para o PIB (Produto Interno Bruto) do setor agropecuário. A safra de 2024/25 se confirma como a maior produção já registrada de oleaginosa na história do país, com uma produção estimada de 167.869,8 mil toneladas, 13,6% superior à da safra 2023/24 e 7,8% superior ao recorde anterior da safra 2022/23 (CONAB, 2025).

A grande produção do Brasil é destaque no cenário mundial, estando relacionada principalmente à expansão da área cultivada, não à produtividade. Ficando evidente quando se compara com a safra de 1976/77 com a de 2023/24, cuja área plantada saltou de 6,9 milhões de hectares para 46,1 milhões de hectares (aumento de 568,12% em 47 anos), enquanto a produtividade saltou de 1748 kg ha<sup>-1</sup> para de 3202 kg ha<sup>-1</sup> (aumento de 83,18% em 47 anos) (Vieira, 2024).

Segundo Silva et al., 2025, a produção de aves e suínos, que tem como base da ração o farelo de soja, teve seu desenvolvimento atrelado à produção dessa oleaginosa, como ocorreu no Brasil a partir da década de 1970. A demanda por farelos está diretamente relacionada à demanda de carnes. O farelo de soja garante a produção de carne a custo mais baixo e, dessa forma, países produtores se beneficiam da oferta local e de preços mais baixos. Como consequência direta, o preço da carne é reduzido.

Diante disso, considera-se que a cadeia produtiva da soja, ajudou e ainda ajuda no setor econômico brasileiro, contribuindo para o crescimento do setor agrícola e impulsionando diversas indústrias relacionadas. A expansão do cultivo, viabilizada pela criação de cultivares adaptadas a diferentes regiões, permitiu um aumento da produtividade, e conseqüentemente influenciou no desenvolvimento econômico local. Dessa forma, o produtor responsável pelo cultivo utiliza as cultivares apropriadas e técnicas de manejo mais eficazes para o plantio, garantindo colheitas mais produtivas (Cuiabano, 2020).

## 2.2 Botânica e morfologia da soja

A soja é uma planta pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsia, orden Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae, gênero Glucine, espécie *Glycine max* (L.). É uma planta anual, herbácea, ereta, que apresenta grande variabilidade para características morfológicas, as quais são ainda influenciadas pelo ambiente (Bezerra, 2023).

A soja é uma cultura herbácea anual com germinação epígea da semente, ciclo de vida (emergência à maturação) de 70 a 200 dias, altura da inserção da primeira vagem de 10 cm a 20 cm e da planta de 30 cm a 250 cm, resistência à deiscência das vagens, grupo de maturidade relativa, hastes e vagens pubescentes na cor cinza ou marrom (em diversas intensidades de cor), boa qualidade visual e fisiológica de sementes, resistência a pragas, doenças e herbicidas, e alta produtividade (Silva et al., 2025).

O sistema radicular é constituído por raiz axial principal e de raízes secundárias, caule hispido pouco ramificado, três tipos de folhas: duas cotiledonares, duas unifoliadas e demais trifolioladas, flores com fecundação autógamas, de coloração branca, roxa ou intermediária, que quando fertilizadas desenvolvem vagens levemente arqueadas, passando da coloração verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza conforme amadurece. A vagem pode apresentar de um a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento amarelo-pardo (Dias, 2019).

As folhas trifolioladas possuem três folíolos, sendo um terminal e dois laterais, dispostos alternadamente. Os folíolos apresentam margens inteiras e de forma oval, lanceolado ou oblongo, os folíolos podem ter de 4 a 20 cm de comprimento e 3 a 10 cm de largura. Porém, existem cultivares com folhas maiores e ocasionalmente, maior número de folíolos, chegando em média quatro a sete folíolos por folha. Os folíolos laterais são inseridos na raque através de peciólulos, de comprimento geralmente inferior a 1 cm, a inserção do folíolo terminal ocorre por meio de um pulvínulo, essa extensão varia de 1 a 5 cm de comprimento (Bezerra, 2023).

Os peciolos das folhas de soja têm o seu comprimento influenciado por alguns fatores, alguns deles são a posição, a cultivar, o tipo de crescimento da planta e o tipo de folhas. As folhas cotiledonares são sésseis, nas unifolioladas são curtos, variando de 1 a 3 cm de comprimento, nas trifolioladas variam de 5 a 20 cm, as últimas folhas de plantas de crescimento indeterminado apresentam peciolos mais curtos já a coloração das folhas varia entre verde-pálida e verde escura, em função da idade, variedade, nível nutricional e de outros fatores ambientais (Muller et al., 1981).

As folhas, como o caule, as estípulas, o pecíolo, as flores e os demais órgãos com exceção dos cotilédones, estão cobertos de pelos ou tricomas. Existem vários tipos de pilosidades: densas, normal, crespa, esparsa, finamente pubescente e glabra, e estas podem apresentar coloração cinza, marrom-escuro, marrom de tom intermediário, marrom claro ou parda (Bezerra, 2023).

As flores da soja são completas, formadas pelo cálice, corola, androceu e gineceu, ocorrendo em ramos racemos terminais ou axilares, o número de flores varia de 2 a 35 por racemos quando abertas, medem de 3 a 8 mm de diâmetro, sua abertura floral acontece pela manhã e é influenciada pelas condições de temperatura e umidade (Bezerra, 2023). A cor da flor pode ser branca ou púrpura, a tonalidade púrpura varia de acordo com a constituição genética da cultivar, e a antocianina é o pigmento responsável pela presença dessa cor nas pétalas da flor, no hipocótilo e as vezes, nas plúmulas (Vernetti et al., 2009).

O fruto da soja é caracterizado como um legume, que comumente é chamado de vagem, quando maduro apresenta de 2 a 7 cm de comprimento, e 1 a 2 cm de largura, dependendo da cultivar e das condições climáticas. O número de vagens por inflorescência é de 2 a mais de 20 e acima de 400 por planta. Já as sementes têm aparência típica de uma semente de leguminosa, é composta por um tegumento, normalmente liso, lustro e brilhante, por um tecido reserva, representado por dois cotilédones, e pelo eixo embrionário, dividido em duas partes: radícula e caulículo, sendo o caulículo dividido em hipocótilo e epicótilo (Bezerra, 2023).

No completo desenvolvimento do embrião, tem-se o eixo radicular hipocótilo, este é a primeira porção desenvolvida do caule, apresentando a cor verde ou roxa, seguido do epicótilo, que por seu alongamento separa do nó cotiledonar as plúmulas com os primeiros primórdios foliares. Durante a emergência das plântulas de soja, o hipocótilo eleva os cotilédones e o epicótilo acima da superfície do solo. Após o epicótilo, são formados os internódios e, em cada nó, há uma folha, normalmente trifoliolada, e nas axilas destas uma gema lateral, que pode se transformar em ramificações dependendo das particularidades da constituição genética de cada cultivar, bem como dos espaços disponíveis para desenvolvimento (Bezerra, 2023).

O desenvolvimento final do caule é dependente do tipo de crescimento da planta, sendo dividido em três tipos: determinada, semideterminada e indeterminada. A determinada, possui racemo terminal, ou seja, inflorescência racemosa terminal e axilar, a planta com esta característica paralisa o crescimento vegetativo após florescimento, podendo crescer mais 10%. O crescimento semideterminada apresenta mesma inflorescência que a determinada, porém, florescem ao atingir 70% da altura final (Santos, 2023).

Se durante o crescimento não ocorrer influências de condições externas o crescimento do caule na maioria das vezes é ortótropo, quando a planta é exposta a condições de baixa luminosidade, especialmente em fotoperíodos longos, as cultivares tornam-se volúveis, com caule delgado, podendo atingir mais de três metros de comprimento, com crescimento indeterminado (Bezerra, 2023).

### **2.3 Grafeno**

O mais recente alótropo de carbono, representante da família dos nanomateriais, é o grafeno, conhecido como a unidade básica estrutural cujo o empilhamento origina a estrutura do grafite, e quando isolado corresponde a um material bidimensional com espessura nanoatômica (Zarbin et al., 2013)

Segundo Zarbin et al., 2013, o grafeno foi o primeiro cristal bidimensional estável isolado, e seu longo sistema conjugado, onde os elétrons estão confinados em duas dimensões, lhe confere propriedades excepcionais. Ganhou destaque nos anos 2000, quando Geim e Novolosev o isolaram e caracterizaram pela primeira vez, em uma técnica conhecida como “método de fita adesiva”. Por esta técnica, os pedaços de grafite são esfoliados com mais fita adesiva e aplicados a folhas de sílica até que uma camada atômica de grafite-grafeno seja finalmente imobilizada na aplicação (May et al., 2021).

A partir do enrolamento de uma folha de grafeno, pode ser visualizada a estrutura dos nanotubos de carbono, que correspondem, a uma família de materiais com características diferentes entre si, formados a partir do enrolamento de uma ou mais folhas de grafeno a partir do seu próprio eixo. Esse enrolamento forma estruturas cilíndrica com diâmetros na faixa dos nanômetros, e comprimentos que variam de alguns micrometros até vários centímetros. A estrutura de nanotubos de carbono levam a uma miríade de possibilidades de aplicação, em vários sistemas, produtos e dispositivos (Zarbin et al., 2013)

O oxido de grafeno possui uma camada de carga negativa que permite a retenção de micronutrientes catiônicos, como o Zinco e Cobre, por isso pode ser adicionado no processo de encapsulamento de fertilizantes, permitindo a liberação prolongada desses nutrientes e atendendo melhor às necessidades das plantas. Pode ser usado na produção de fungicidas e bactericidas, em razão da sua capacidade de inibir o crescimento micelial de alguns fungos, e à alta taxa citotoxicidade em bactérias, inibindo seu crescimento (Juliatti, 2024).

Algumas propriedades físicas notáveis do grafeno é sua altíssima transparência óptica, alta condutividade térmica, ampla superfície específica, características essas que proporcionam sua ampla aplicabilidade na agricultura. Atualmente, o grafeno é conhecido e muito utilizado

em razão da sua capacidade de regulação do crescimento vegetal, que pode ser estimulado ou reduzido de acordo com a dose utilizada (Juliatti, 2024).

Pesquisas constataam que o grafeno em concentrações baixas estimula tanto os canais de água quanto as proteínas de extensão da parede celular, promovendo assim a absorção de água e nutrientes, resultando em melhorias no crescimento de mudas e aceleração da fotossíntese (Oliveira, 2025).

Segundo Alanis, 2020, quando aplicado o grafeno pode ser observado o aumento de compostos fenólicos e, como consequência, a modificação do estado redox das células vegetais e ativação de dinâmicas de sinalização. Todas essas respostas fisiológicas, são um fator chave na indução do aumento no crescimento, na produção de biomassa e na densidade de pelos absorventes.

O grafeno apresenta possíveis mecanismos tóxicos, segundo pesquisas de Wang et al., 2019, como o aumento na geração de espécies reativas de oxigênio (ROS), inibição de atividades enzimáticas antioxidantes, resultando em estresse oxidativo, distúrbios metabólicos de carboidratos e aminoácidos, e inibição da fotossíntese pela redução da biossíntese de clorofila.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área Experimental**

A pesquisa foi realizada em campo, nas propriedades Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte, Fazenda Santa Paula, localizadas na região Oeste da Bahia, próximas a cidade de São Desidério, cujas coordenadas são 12°41'36.7'' S e 45°42'16.6''W, 12°31'00,4''S e 44°26'50,4''W, 12°21'33.9''S e 45°35'38.1''W, 12°48'48.3''S e 45°28'49.2''W respectivamente. Na região encontra-se o bioma Cerrado e o clima, conforme a classificação de Köppen é do tipo Aw.

#### **3.2 Delineamento, tratamentos e parcelas**

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com 1 dose do grafeno (1 kg ha<sup>-1</sup>) em 12 repetições, sendo divididas entre 2 aplicações, onde a primeira acontece em torno de 25 dias após o plantio (V3-V4), geralmente junto com a primeira aplicação de fungicida, e a segunda acontece 50 dias após o plantio (R1), junto com a segunda aplicação de fungicida. O experimento foi conduzido com 2 tratamentos contendo 12 repetições cada, perfazendo um total de 24 parcelas. Formando 6 parcelas para cada cultivar: TMG 2383 IPRO; M8349 IPRO; DOMÍNIO IPRO; OLIMPO IPRO.

Cada parcela foi composta por cinco linhas de 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,5 m entre linhas.

#### **3.3 Condução do experimento**

As sementeiras foram realizadas nos dias 11/11/2024; 14/11/2024; 11/11/2024 e 05/11/2024 respectivamente, de forma mecanizada com os tratores acoplados às sementeiras. As médias das populações foram seguidas de acordo com as recomendações das obtentoras, obtendo 12 plantas por metro linear para as cultivares TMG 2383 IPRO e OLIMPO IPRO, 11 plantas por metro linear para a cultivar M8349 IPRO, e 9 plantas por metro linear para a cultivar DOMÍNIO IPRO.

Os tratos culturais fitossanitários necessários à cultura, foram supervisionados e manejados de acordo com as recomendações das fazendas.

#### **3.4 Avaliações e coleta de dados**

A altura de plantas, número de nós reprodutivos, número de vagens por plantas, número de grãos por plantas e a produtividade foram os parâmetros avaliados pelos procedimentos descritos na sequência.

Altura de plantas: foi avaliada a altura de plantas em centímetros, medindo com uma trena da base da planta até o meristema apical;

Número de nós reprodutivos: foram contados os nós de cada uma das cinco plantas de cada parcela;

Número de vagens por plantas: determinado através de contagem das vagens de cada uma das cinco plantas;

Número de grãos por plantas: as vagens foram debulhadas, sendo os grãos contados manualmente e, pela relação entre número de grãos e de vagens, foi determinado o número de grãos por planta.

Produtividade: foi obtida na colheita de um hectare, através dos maquinários de cada fazenda.

### **3.5 Análise estatística**

Os resultados obtidos foram submetidos à uma análise de variância (ANOVA). As comparações de médias foram feitas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para estimar a confiabilidade nos resultados obtidos, no programa estatístico Sisvar.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da avaliação do comportamento da nanotecnologia nas cultivares de soja: TMG 2383 IPRO, M 8349 IPRO, DOMÍNIO IPRO e OLIMPO IPRO, observou-se variações no comportamento produtivo sob a aplicação da nanotecnologia em cada cultivar.

Os dados representados na coluna “Sem Grafeno”, são utilizados como referência para comparação com os dados da coluna “Com Grafeno”. Onde esse valor indica a capacidade natural das plantas em se desenvolver e produzir na ausência do grafeno, permitindo assim avaliar como a aplicação da nanotecnologia impacta no desempenho em relação ao seu desenvolvimento padrão. As diferenças observadas entre os tratamentos refletem o efeito potencial do grafeno no desenvolvimento das plantas em comparação ao controle.

As cultivares TMG 2383 IPRO e OLIMPO IPRO, indicam que a aplicação do grafeno teve um efeito estimulador no crescimento de plantas, apresentando respectivamente um aumento de 13,50% e 26,16% em relação as plantas sem o grafeno. Esses dados alinham-se com os de Juliatti, (2024), onde a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> do grafeno, aumentou o desempenho na altura de plantas na cultura do algodão.

Nos tratamentos com grafeno, as cultivares em destaque foram, TMG 2383 IPRO, DOMÍNIO IPRO e OLIMPO IPRO, onde exibem maior incremento em desenvolvimento de altura entre plantas com o uso do grafeno. Estes dados corroboram com a pesquisa de Oliveira., (2025), onde observaram que o grafeno, ativa canais de água e proteínas responsáveis pela extensão da parede celular, o que facilita a absorção de água e nutrientes, resultando em aumento no crescimento de plantas.

Para os tratamentos sem grafeno, se destaca a cultivar DOMÍNIO IPRO, uma vez que apresenta hábito de crescimento indeterminado (Brasmax Genética, 2025).

**Tabela 1.** Altura média das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, São Desidério – BA, 2025.

Cultivares	Altura de plantas (cm)	
	Com Grafeno	Sem Grafeno
TMG 2383 IPRO	0,78 Aa	0,69 Bab
M8349 IPRO	0,64 Ab	0,63 Ab
DOMÍNIO IPRO	0,75 Aa	0,78 Aa
OLIMPO IPRO	0,82 Aa	0,65 Bb

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Na tabela 2, as cultivares TMG 2383 IPRO e OLIMPO IPRO, indicam que o grafeno teve um efeito positivos na fisiologia das plantas, apresentando respectivamente um aumento de 16,27% e 27,71% em relação as plantas sem o grafeno. Dados semelhantes foram relatados por Mineradora Amazonas Grafeno Ltda. (2025), onde a aplicação do grafeno promoveu 13% a mais de nós reprodutivos.

Nos tratamentos com grafeno, a cultivar em destaque foi a TMG 2383 IPRO, exibindo maior incremento em desenvolvimento de números de nós reprodutivos com o uso do grafeno. Esse dado corrobora com a citação de May et al., (2025), onde afirma que, o grafeno quando aplicado em baixas concentrações, pode atuar como um estimulante do crescimento vegetal, promovendo efeitos positivos na fisiologia das plantas.

Nos tratamentos sem grafeno, a cultivar TMG 2383 IPRO, teve destaque, uma vez que apresenta auto potencial produtivo e crescimento semideterminado (TMG, 2022).

**Tabela 2.** Média do número de nós reprodutivos das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, São Desidério – BA, 2025.

Cultivares	Nº de nós reprodutivos	
	Com Grafeno	Sem Grafeno
TMG 2383 IPRO	14,80 Aa	12,73 Ba
M8349 IPRO	6,60 Ac	6,86 Ac
DOMÍNIO IPRO	11,53 Ab	10,40 Ab
OLIMPO IPRO	12,26 Ab	9,60 Bb

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Já as cultivares TMG 2383 IPRO, M8349 IPRO e DOMÍNIO IPRO, tem maior incremento em número de vagens por planta com o uso do grafeno, apresentando respectivamente um aumento de 121,70%, 40,86% e 65,43% em relação as plantas sem o grafeno. Concordando assim com os dados da Mineradora Amazonas Grafeno Ltda. (2025), onde a aplicação do grafeno promoveu 14,4% a mais de vagens por plantas (Tabela 3).

Segundo May et al., (2021), em concentrações limitadas, o oxido de grafeno aumenta a área foliar, o número de folhas e a formação de brotos e flores em melancia. Essa argumentação, se adequa aos dados observados da tabela 3, onde a cultivar TMG 2383 IPRO, apresentar um efeito mais benéfico no seu número de vagens.

Nos tratamentos sem grafeno, a cultivar em destaque foi a M8349 IPRO, pois apresenta número de vagens superior as demais culturas. Segundo Agro-sol Sementes (2025), a cultivar

M8349 IPRO possui “índice de ramificação alto”, o que favorece o estabelecimento de mais ramos laterais, e consequentemente maior número de vagens.

**Tabela 3.** Média do número de vagens por planta das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazenda Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, São Desidério – BA, 2025.

Cultivares	Número de vagens/ planta	
	Com Grafeno	Sem Grafeno
TMG 2383 IPRO	142,33 Aa	64,20 Bab
M8349 IPRO	110,8 Ab	78,66 Ba
DOMÍNIO IPRO	80,73 Ac	48,80 Bc
OLIMPO IPRO	62,46 Ac	49,46 Ac

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

As cultivares TMG 2383 IPRO, M8349 IPRO e DOMÍNIO IPRO, apresentaram maior incremento em número de grãos por planta com o uso do grafeno, apresentando respectivamente um aumento de 139,63%, 41,45% e 68,48% em relação as plantas sem o grafeno. Esses dados se adequam a observação da Mineradora Amazonas Grafeno Ltda. (2025), onde a aplicação do grafeno aumentou a duração do período fotossintético na soja. Sendo esse, importante na formação de estruturas reprodutivas (Tabela 4).

Segundo Oliveira, (2025), o grafeno pode ser modificado para aprimorar sua atividade fotocatalítica como na geração de oxigênio e hidrogênio, aumentando a eficiência fotossintética e, que por sua vez, favorece os processos biológicos. Esse aumento na eficiência da fotossíntese contribui para uma maior produção de fotoassimilados, sendo esses, essenciais para o aumento na formação de estruturas reprodutivas, como vagens e grãos. Essa argumentação, se adequa aos dados da tabela 4, onde a cultivar TMG 2383 IPRO, teve destaque, indicando o efeito mais benéfico no seu número de grãos por planta.

Nos tratamentos sem grafeno, a cultivar em destaque foi a M8349 IPRO, onde apresenta número de grãos por planta superior as demais cultivares. Esse resultado se dá devido duas características principais da cultivar, que é a arquitetura de planta superior (ramos bem posicionados e distribuição otimizada de vagens) e alta índice de ramificação (Agro-sol Sementes, 2025).

**Tabela 4.** Média do número de grãos por planta das quatro cultivares, em função da aplicação e não aplicação do grafeno, por via foliar. Fazendo Salt Verde, Fazenda Lageado, Fazenda Novo Horizonte e Fazenda Santa Paula, São Desidério – BA, 2025.

Cultivares	N° de grãos/ planta	
	Com Grafeno	Sem Grafeno
TMG 2383 IPRO	383,00 Aa	159,83 Bb
M 8349 IPRO	315,53 Ab	223,06 Ba
DOMÍNIO IPRO	222,40 Ac	132,00 Bb
OLIMPO IPRO	179,66 Ac	140,06 Ab

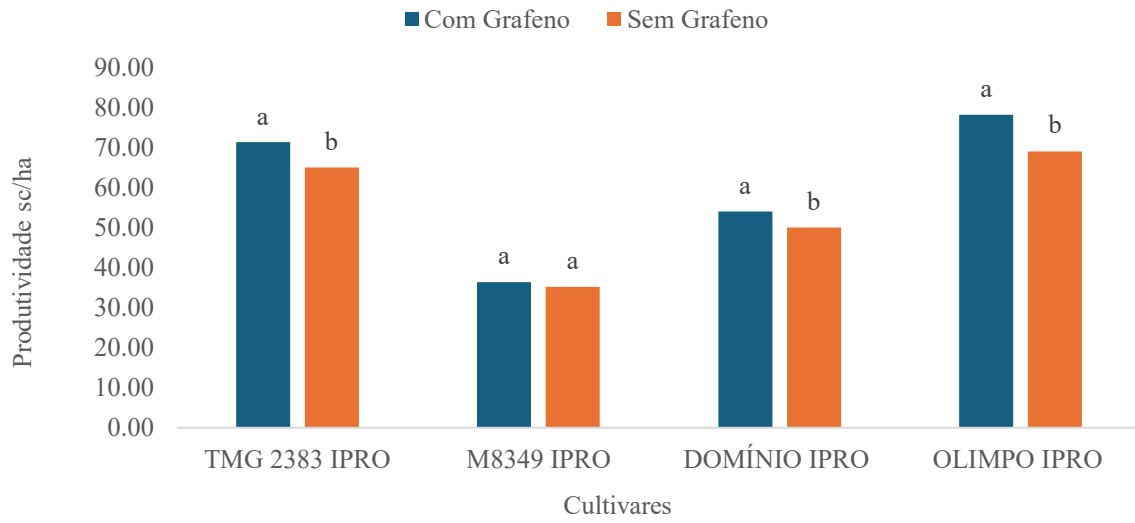
Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

Avaliando-se o comparativo da produtividade (sacas/hectares) de quatro cultivares de soja: TMG 2383 IPRO, M8349 IPRO, DOMÍNIO IPRO E OLIMPO IPRO, com e sem a aplicação de grafeno. Observa-se que, com exceção da cultivar M8349 IPRO, todas as demais apresentaram aumento significativo na produtividade quando tratadas com grafeno.

A cultivar OLIMPO IPRO foi a que apresentou maior incremento produtivo com a aplicação do nanomaterial, chegando a produzir 9 sc/ha a mais que o tratamento sem grafeno. Já as cultivares TMG 2383 IPRO e DOMÍNIO IPRO, também demonstram ganhos relevantes, de aproximadamente 6,23 sc ha<sup>-1</sup> e 4 sc ha<sup>-1</sup> a mais do que os tratamentos sem grafeno. Dados semelhantes foram relatados pela Mineradora Amazonas Grafeno Ltda. (2025), onde a aplicação de 1 kg ha<sup>-1</sup> de grafeno melhorou o desenvolvimento da planta e produtividade obtendo 116,0 kg ha<sup>-1</sup> a mais do que o tratamento, e em outro resultado apresentou um aumento da produção em 450 kg ha<sup>-1</sup> ou 7,5 sacas a mais.

Dessa forma, os dados sugerem uma relação positiva entre a aplicação do grafeno e o aumento da produtividade, apontando para um potencial promissor que justifica investigações mais aprofundadas, uma vez que os efeitos finais dos nanomateriais variam com as variedades e espécies de plantas, reforçando a importância de mais pesquisas sobre o impacto potencial do grafeno em vários sistemas agrícolas e na otimização de processos biológicos para recomendar seu uso seguro (Nair et al., 2012).

**Figura 1.** Gráfico da produtividade (sacas/hectares), em função da aplicação e não aplicação do grafeno, em cultivares de soja, São Desidério – BA, 2025.



Médias seguidas por uma mesma letra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

## 5 CONCLUSÕES

O uso do Grafeno influencia no desenvolvimento da soja, com incremento para as variáveis altura de plantas, número de nós reprodutivos, número de vagens e de grãos por planta, especialmente nas cultivares TMG 2383 IPRO, DOMÍNIO IPRO e OLIMPO IPRO.

O grafeno atua como um potencializador fisiológico, influenciando positivamente a produtividade da cultura para os genótipos TMG 2383 IPRO, DOMÍNIO IPRO e OLIMPO IPRO.

## REFERÊNCIAS

- AGRO-SOL SEMENTES. **M8349 IPRO**. Disponível em: [Sementes m8349 - Agro-sol Sementes](#). Acesso em: 24 jun. 2025.
- ALANIS, Angelica Cardiel. **Respuestas fisiológicas y bioquímicas de Cucurbita pepo asociadas al efecto de nanopartículas de óxido de cobre y grafeno**. 2020.
- ARANTES, Neylson Eustáquio; SOUZA, Plínio Itamar de Mello. **Cultura da soja nos cerrados**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba – SP, 1993.
- BEZERRA, Misleany Pires. **Caracterização de cultivares de soja através dos descritores morfológicos**. Universidade Estadual do Maranhão. Balsas – MA, 2023.
- BRASMAX GENÉTICA. **Saiba tudo sobre a cultivar brasmax domínio ipro**. Blog Brasmax Genética, 22 abr. 2020. Disponível em: [Brasmax Domínio IPRO: saiba tudo sobre a cultivar](#). Acesso em: 24 jun. 2025
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/25 – sétimo levantamento**. Brasília, DF: Conab, v. 12, n. 7, abr. 2025. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- CUIABANO, Simone Maciel. Principais fatores responsáveis pela expansão da soja no Brasil: Main Factors for Soy Expansion in Brazil. **Brazilian Journal of International Relations**, v. 8, n. 3, p. 460-487, 2020.
- DIAS, Christian Rosa; PETER, Marcelo. **Análises de controle de qualidade da recepção da soja e do arroz de uma indústria processadora de grãos**. Revista Sociedade Científica, v. 2, n. 1, p.1-18. 2019.
- FERNANDES, Raphael Mamede Nunes. **Seletividade de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja**. Instituto Federal Goiano. Urutaí – Go, 2022.
- FINOTO, Everton Luis et al. **Sowing times in adaptation, stability, productivity, and oil and protein contents of soybean genotypes**. Universidade Federal Rural do SemiÁrido. Revista Caatinga. Mossoró. v. 34, n. 4, p. 799 – 812. 2021.
- JULIATTI, Fernanda Cristina et al. **Avaliação da eficiência e praticabilidade agrônômica do grafeno como promotor de crescimento na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.)**. Estação experimental Juliagro B, G & P-LTDA “Bioprodutos, Genética e Proteção de cultivos”. Uberlândia – MG, 2024.
- MAY, André et al. **Graphene: A new technology for agriculture**. Research, Society and Development, v. 10, n. 2, p. e56610212827-e56610212827, 2021.
- MAY, André et al. **Materiais baseados em grafeno para uso na agricultura**. 2024.

- MEYER, Fabiano Rosa et al. **Foliar spraying of a seaweed-based biostimulant in soybean**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Revista Caatinga. Mossoró, v. 34, n. 1, p. 99 – 107. 2021.
- MINERADORA AMAZONAS GRAFENO LTDA. *Aplicação do agrografeno no solo*. Mineradora Amazonas Grafeno Ltda. 17 p. Disponível em: [https://www.amgrafe.com.br/\\_files/ugd/970978\\_864f72790e944746ae43ff9d6b721bbd.pdf](https://www.amgrafe.com.br/_files/ugd/970978_864f72790e944746ae43ff9d6b721bbd.pdf). Acesso em: 24 jun. 2025.
- MULLER, L et al. **A soja no Brasil**. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104. 1981.
- NAIR, Remya et al. **Effect of carbon nanomaterials on the germination and growth of rice plants**. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, v. 12, n. 3, p. 2212–2220, 2012.
- RIBEIRO NETO, Luiz Carlos Vieira. **Cotação do dólar e lucro sobre o custo variável do cultivo da soja: histórico dos principais municípios produtores brasileiros**. Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, 2021.
- OLIVEIRA, João Guilherme Pallin. **Fotossíntese e transpiração de cultivares de rúcula com doses de grafeno**. Instituto Federal Goiano – Campus Ceres. Ceres – GO, 2025.
- SANTOS, Ayra Souza. **Produtividade de cultivares de soja sob diferentes doses de bioestimulantes e fertilizantes aplicado**. Universidade do Estado da Bahia – UNEB. Barreiras – BA, 2023.
- SILVA, Felipe; BOREM, Aluizio; SEDIYAMA, Tuneo; et al. **Soja: do Plantio à Colheita**. 2. ed. Porto Alegre: Oficina de Texto, 2025. E-book. p.6. ISBN 978-65-86235-67-8. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/978-65-86235-67-8/>. Acesso em: 24 jun. 2025.
- TROPICAL MELHORAMENTO & GENÉTICA S.A. (TMG). **TMG 2383 IPRO, principais características**. 2022. Disponível em: [TMG 2383 IPRO - TMG](#). Acesso em: 24 jun. 2025.
- VERNETTI, F. J et al. **Genética da soja: caracteres quantitativos e diversidade genética**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 221.p, 2009.
- VIEIRA, Guilherme Alves. **Uso de bioestimulantes no cultivo de soja irrigada e não irrigada**. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano – Campus CERES. Ceres – GO, 2024.
- WANG, Qinghai et al. **Phytotoxicity of graphene Family nanomaterials and its mechanisms: a review**. *Frontiers in Chemistry*, Lausanne, v. 7, p. 1–15, 1 maio 2019
- WEBER, Fernanda. **Uso de bioestimulante no tratamento de sementes de soja**. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2011.

ZARBIN, A. J. G et al. **Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): quo vadis?** Química Nova, v. 36, n. 10, p. 1533–1539, 2013. Disponível em: <https://scielo.br/j/qn/a/3JPDgp4ZqLGYYgf68grgZ5w/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 jun. 2025.