



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL

CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

**EFEITOS FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS DE
NANOCOMPÓSITOS DE CARBONO FLUORESCENTE EM VIDEIRA
ARRA SWEETIES™**

EMANUELE DUARTE DOS SANTOS

PETROLINA – PE
2025

EMANUELE DUARTE DOS SANTOS

**EFEITOS FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS DE
NANOCOMPÓSITOS DE CARBONO FLUORESCENTE EM VIDEIRA
ARRA SWEETIES™**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao IFSertãoPE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a obtenção
do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador(a): M. Sc. Ana Rita Leandro dos Santos

PETROLINA – PE
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237 Santos, Emanuele Duarte.

Efeitos fisiológicos e agrônômicos de nanocompositos de carbono fluorescente em videira ARRA sweeties / Emanuele Duarte Santos. - Petrolina, 2025.
40 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2025.

Orientação: Profª. Msc. Ana Rita Leandro dos Santos.

Coorientação: Msc. Marcos Martins Massutti.

1. Ciências Agrárias. 2. Arra sweeties. 3. Amido. 4. C-dots. 5. Nanotecnologia. I. Título.

CDD 630

EMANUELE DUARTE DOS SANTOS

**EFEITOS FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS DE
NANOCOMPÓSITOS DE CARBONO FLUORESCENTE EM VIDEIRA
ARRA SWEETIES™**

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao IFSertão/PE *Campus*
Petrolina Zona Rural, exigido para a obtenção
de título de Engenheira Agrônoma.

Aprovada em 11 de junho de 2025.

Profa. Ma. Ana Rita Leandro dos Santos
IFSertão/PE, *Campus* Petrolina Zona Rural

Me. Izaías Carvalho de Sousa
MK Consultoria/ Marcos Kleber consultoria agrônoma

Dra. Eliatania Clementino Costa
IFSertão/PE, *Campus* Petrolina Zona Rural

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, e aos meus pais, que sob muito sol, fizeram-me chegar até aqui, na sombra.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade ao longo da minha trajetória acadêmica, tornando possível a realização deste trabalho e de tantos outros objetivos construídos ao longo dos anos.

Aos meus pais, Edilene Almeida Duarte e José Juarez Teles de Almeida, por serem minha base e meu alicerce em todos os momentos. Agradeço pelo amor incondicional, apoio constante e por nunca medirem esforços para que meus sonhos se tornassem realidade.

À minha orientadora, Ana Rita Leandro Santos, expresso minha profunda gratidão pela orientação dedicada, pela paciência, incentivo, amizade e pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso e, especialmente, durante a elaboração deste trabalho. Ao grupo de estudos GEESP, a minha segunda casa acadêmica, e a todos que o compõem, por contribuírem imensamente para minha formação pessoal, profissional e científica, e por estarem presentes em muitas das minhas conquistas.

Agradeço à empresa BSAríd pela confiança e por todo o suporte disponibilizado para a realização do experimento, fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Às amigas Jullyana Rodrigues e Andresa Carvalho, pela parceria, apoio e amizade ao longo da jornada, e, em especial, a Jullyana, pela valiosa colaboração na condução do experimento.

À amiga Alessandra S. Vieira, por todos os anos de amizade, pelas palavras de encorajamento, gestos de apoio e por nunca deixar de acreditar em mim.

Ao Professor Marcos Martins Masutti, pelo cuidado, atenção e disponibilidade na correção deste trabalho, contribuindo diretamente para o seu aperfeiçoamento.

À Fazenda JMM e toda a sua equipe, pela receptividade, confiança e assistência prestada durante o experimento, sempre dispostos a contribuir com dedicação e comprometimento.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano – Campus Petrolina Zona Rural, pela formação de excelência, estrutura oferecida e acolhimento ao longo dessa etapa tão importante.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que este trabalho fosse concretizado. A cada um, meu sincero muito obrigada.

Guarda-me como a menina dos teus
olhos, esconde-me a sombra das tuas asas.
(Bíblia sagrada- salmos 17:8)

RESUMO

A viticultura irrigada no Vale do São Francisco destaca-se pela elevada produtividade e qualidade das uvas de mesa, sendo a cultivar ARRA 15[®] (ARRA Sweeties[™]) uma das mais expressivas nesse cenário. Diante da busca por tecnologias que conciliem desempenho agrônomo e sustentabilidade, a nanotecnologia, em especial as nanopartículas de carbono fluorescente (C-dots), surge como alternativa promissora para o manejo fisiológico e produtivo das videiras. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de C-dots sobre variáveis fisiológicas, produtivas e qualitativas da cultivar ARRA Sweeties, em condições de campo no semiárido. O delineamento experimental foi composto por quatro tratamentos (0, 250, 300 e 350 mL ha⁻¹ de C-dots), dispostos em duas fileiras por tratamento com aproximadamente 76 plantas, intercaladas por fileiras de bordadura. Cada tratamento contou com seis repetições, compostas por parcelas de dez plantas, totalizando 240 plantas avaliadas. As variáveis analisadas incluíram área foliar específica, teores de clorofilas, extravasamento de eletrólitos, acúmulo de amido, além de características dos cachos, das bagas e da produtividade. Os resultados mostraram que a aplicação de 300 mL ha⁻¹ proporcionou maior eficiência fisiológica, com aumento da atividade fotossintética, redução do estresse celular e maior acúmulo de amido. Também resultou em frutos com melhor qualidade sensorial (maior SST, menor acidez e melhor ratio) e na maior produtividade entre os tratamentos (46,6 t ha⁻¹). Conclui-se que a aplicação de nanopartículas de Aono em doses adequadas pode atuar como bioestimulante eficiente na videira ARRA Sweeties, contribuindo para o aumento da produtividade e da qualidade dos frutos, com potencial para ser incorporada ao manejo sustentável da cultura.

Palavras-chave: nanotecnologia; C-dots; ARRA Sweeties[™]; amido; viticultura irrigada.

ABSTRACT

Irrigated viticulture in the São Francisco Valley stands out for its high productivity and the quality of table grapes, with the cultivar ARRA 15[®] (ARRA Sweeties[™]) being one of the most prominent in this context. In the search for technologies that combine agronomic performance and sustainability, nanotechnology, especially fluorescent carbon nanoparticles (C-dots), emerges as a promising alternative for the physiological and productive management of grapevines. This study aimed to evaluate the effects of different doses of C-dots on physiological, productive, and qualitative variables of the ARRA Sweeties cultivar under field conditions in the semi-arid region. The experimental design consisted of four treatments (0, 250, 300, and 350 mL ha⁻¹ of C-dots), arranged in two rows per treatment with approximately 76 plants, interspersed with border rows. Each treatment had six replicates, composed of plots with ten plants, totaling 240 evaluated plants. The analyzed variables included specific leaf area, chlorophyll content, electrolyte leakage, starch accumulation, as well as cluster, berry, and yield characteristics. The results showed that the application of 300 mL ha⁻¹ provided greater physiological efficiency, with increased photosynthetic activity, reduced cellular stress, and greater starch accumulation. It also resulted in fruits with better sensory quality (higher TSS, lower acidity, and better ratio) and the highest productivity among treatments (46.6 t ha⁻¹). It is concluded that the application of carbon nanoparticles at appropriate doses can act as an efficient biostimulant in ARRA Sweeties grapevines, contributing to increased yield and fruit quality, with potential to be incorporated into the sustainable management of the crop.

Keywords: nanotechnology; C-dots; ARRA Sweeties; starch; irrigated viticulture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Croqui do delineamento experimental.....	20
Figura 2 - Representação das fases fenológicas da videira de acordo com as aplicações	20
Figura 3 - Medição de doses do produto a base de nanopartículas de carbono a), preparação da calda b), aplicação foliar com pulverizador mecânico.	21
Figura 4 - Área foliar aos 48 DAP e aos 93 DAP sob diferentes doses de nanopartículas de carbono.	24
Figura 5 - Teores médios de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> , total (<i>a+b</i>) e relação clorofila <i>a/b</i> de ARRA sweeties™ sob diferentes doses de nanopartículas de carbono.....	26
Figura 6 - Teor de amido em ramos de videiras ARRA Sweeties™ sob diferentes doses de Carbgreen®.	27
Figura 7 - Extravasamento de eletrólitos ($\mu\text{S}/\text{cm}$) em folhas de videiras ARRA sweeties™ submetidas a diferentes doses do produto (Carbgreen®), aos 48 e 93 dias após a poda.....	28
Figura 8 - Produtividade estimada de uvas da variedade ARRA sweeties™ em plantas tratadas com nanopartículas de carbono, expressa em toneladas por hectare.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - variáveis biométricas de massa fresca de cacho (g), comprimento de cacho (cm), comprimento de ombro (cm), número de bagas por cacho, comprimento (mm) e diâmetro (mm) de bagas.29

Tabela 2 - variáveis de sólidos solúveis totais (°Brix), acidez (g de ácido tartárico/100 mL) e ratio (SST/ATT).31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Viticultura no Vale do São Francisco	14
3.2 ARRA sweeties™	15
3.3 Amido em videiras	16
3.4 Nanotecnologia na agricultura	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1 Área foliar; clorofila a, b, total e relação clorofila a/b; amido e extravasamento de eletrólitos:	23
5.2 Parâmetros biométricos de cachos e bagas, qualidade físicoquímica dos frutos e produtividade:	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
7 REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

A viticultura destaca-se como uma das mais importantes cadeias produtivas da agricultura irrigada no Nordeste brasileiro. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), a produção nacional de uvas ultrapassou 1,7 milhão de toneladas em 2023, representando um crescimento de 10,5% em relação ao ano anterior. Quanto às exportações, o Brasil registrou um recorde histórico em 2023, exportando aproximadamente 73,2 mil toneladas de uvas, gerando uma receita de US\$ 178,3 milhões. Os principais destinos foram Holanda, Estados Unidos, Reino Unido e Espanha, com a maioria das uvas originárias de Pernambuco e Bahia (LIMA, 2024).

O Vale do São Francisco, abrangendo áreas desses dois estados, consolidou-se como o principal polo exportador de uvas de mesa do Brasil, sendo responsável por 95% das exportações nacionais dessa fruta. Essa região destaca-se pela capacidade de realizar até três colheitas anuais, graças às condições climáticas favoráveis, à alta incidência solar, à baixa umidade relativa do ar e ao uso eficiente da irrigação (Lima-Coimbra et al., 2015; Sebrae, 2023).

Dentre as cultivares apirênicas que impulsionam esse cenário, destaca-se a ARRA 15[®] (*ARRA Sweeties*[™]), variedade branca desenvolvida por programas internacionais de melhoramento genético. Introduzida na região no final da década de 2010, sua adoção ampliou-se a partir de 2013, impulsionada pela boa adaptação às condições locais. A cultivar apresenta atributos comerciais relevantes, como bagas crocantes, sabor adocicado, coloração verde brilhante e excelente conservação pós-colheita. Além disso, mostra boa resistência à rachadura de bagas e baixa incidência de desgrane, características que favorecem a qualidade dos frutos diante das variações climáticas e das exigências do mercado exportador (GRAPA, 2022; KARNIEL; GIUMARRA, 2011).

Nesse contexto de inovação tecnológica e busca por maior eficiência produtiva, a nanotecnologia tem se destacado como uma ferramenta promissora na agricultura. Dentre os nanomateriais emergentes, destacam-se as nanopartículas de carbono fluorescentes, conhecidas como carbon dots (C-dots), devido às suas propriedades físico-químicas favoráveis, como alta solubilidade em água, biocompatibilidade, estabilidade química e capacidade de emissão de fluorescência.

Essas partículas vêm sendo estudadas por seu potencial como bioestimulantes ou nanofertilizantes, capazes de promover benefícios fisiológicos nas plantas, como

incremento da taxa fotossintética, estímulo ao crescimento vegetativo, aumento da produção de biomassa e ativação de mecanismos de defesa contra estresses bióticos e abióticos.

Na viticultura, o uso de C-dots representa uma estratégia inovadora para otimizar o desempenho fisiológico e agrônômico das videiras, especialmente em cultivares de elevado valor comercial como a ARRA 15[®], contribuindo para o aumento da produtividade e da qualidade dos frutos, além de favorecer a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes concentrações de nanocompósito de carbono fluorescente como bioestimulante na fisiologia, produtividade e qualidade de frutos de videiras ARRA sweeties[™].

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes concentrações de nanocompósito de carbono fluorescente como bioestimulante na fisiologia, produtividade e qualidade de frutos de videiras ARRA sweeties™.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito de doses de nanopartículas de carbono fluorescente sobre o acúmulo de amido, a área foliar específica e os teores de clorofila a, b e total em videiras ARRA 15®.
- Analisar o extravasamento de eletrólitos como indicador de estresse fisiológico nas plantas tratadas.
- Verificar alterações em características agronômicas dos cachos, como peso médio, número de bagas, comprimento e ombro do cacho.
- Avaliar o impacto dos tratamentos nas dimensões das bagas, considerando diâmetro e comprimento.
- Determinar os efeitos das nanopartículas nos parâmetros de qualidade dos frutos, como teor de sólidos solúveis (°Brix) e acidez titulável.
- Estimar a influência das doses aplicadas na produtividade final das videiras.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Viticultura no Vale do São Francisco

A viticultura no Submédio do Vale do São Francisco, abrangendo principalmente os municípios de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), consolidou-se como um dos principais pólos de produção e exportação de uva de mesa do Brasil. Essa região semiárida destaca-se por condições edafoclimáticas favoráveis, como alta incidência solar, baixa umidade relativa do ar e disponibilidade de água para irrigação, que permitem até três colheitas anuais, conferindo-lhe uma vantagem competitiva significativa no mercado internacional (Oliveira, 2013).

Historicamente, a introdução da videira no Nordeste brasileiro remonta ao século XVI, com registros nos atuais estados da Bahia e Pernambuco, atendendo inicialmente a demandas coloniais (LEÃO, 2010). No entanto, foi somente a partir da década de 1960, com a implementação de projetos de irrigação conduzidos pela Sudene, Suvalé e CODEVASF, que a viticultura ganhou impulso na região, favorecida pela introdução de tecnologias agrícolas avançadas. Esses fatores promoveram a consolidação da atividade como uma importante fonte de desenvolvimento econômico e social, gerando empregos e incentivando a fixação no campo (CAVALCANTI FILHO, 2016; BRASIL, 2023).

Atualmente, o Vale do São Francisco é responsável por aproximadamente 95% das exportações brasileiras de uva de mesa, com destaque para as variedades sem sementes, que atendem às exigências dos mercados consumidores internacionais. Em 2022, a região exportou cerca de US\$108 milhões em uvas, principalmente para países da União Europeia e Estados Unidos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), a produção nacional de uvas ultrapassou 1,7 milhão de toneladas em 2023, representando um crescimento de 10,5% em relação ao ano anterior. Quanto às exportações, o Brasil registrou um recorde histórico em 2023, exportando aproximadamente 73,2 mil toneladas de uvas, gerando uma receita de US\$ 178,3 milhões (LIMA, 2024).

Além da importância econômica, a viticultura no Vale do São Francisco desempenha um papel social relevante, sendo uma das atividades agrícolas que mais geram empregos na região. Estima-se que sejam gerados até cinco empregos diretos por hectare cultivado, abrangendo desde a produção até a comercialização das uvas (SOUTO JR. et al., 2021).

O sucesso da viticultura na região está associado à adoção de práticas agrícolas sustentáveis e ao uso eficiente dos recursos hídricos, principalmente por meio da irrigação por gotejamento. Essas práticas não apenas aumentam a produtividade, mas também contribuem para a conservação ambiental e a sustentabilidade da atividade a longo prazo.

Em suma, a viticultura no Vale do São Francisco representa um exemplo de como a combinação de condições naturais favoráveis, investimentos em infraestrutura e adoção de tecnologias pode transformar uma região semiárida em um polo agrícola de destaque, com impacto positivo na economia e na sociedade local.

3.2 ARRA sweeties™

O avanço da viticultura de mesa tem sido impulsionado, entre outros fatores, pela introdução de cultivares oriundas de programas internacionais de melhoramento genético, que priorizam frutos apirênicos com alta qualidade sensorial, aparência atrativa e bom desempenho pós-colheita. Dentre essas cultivares, destaca-se a ARRA 15®, também conhecida como *ARRA Sweeties™*, uma variedade licenciada pela Grapa Varieties Ltd., amplamente adotada em regiões de clima quente devido à sua excelente adaptabilidade agronômica.

Segundo TopFruit (2023), a ARRA 15® apresenta vigor moderado a alto, elevada fertilidade, boa tolerância ao rachamento e ao desgrane de bagas, além de produzir cachos soltos, com bagas alongadas, crocantes e de coloração verde-clara. Essas características a tornam especialmente adequada para regiões produtoras voltadas ao mercado de exportação, como o Vale do São Francisco. Estudos realizados no Brasil indicam que a cultivar responde bem a práticas de manejo como raleio, uso de reguladores de crescimento e irrigação tecnificada, sendo capaz de expressar alto potencial produtivo quando conduzida adequadamente (CRUZ, 2018; CARDOSO, 2019).

Do ponto de vista fisiológico, a ARRA 15® exige condições nutricionais e climáticas que favoreçam o acúmulo de sólidos solúveis e a uniformidade das bagas, fatores essenciais para a aceitação comercial. Pesquisas conduzidas por Silva (2022) apontam que a qualidade dos frutos está diretamente relacionada à nutrição equilibrada, especialmente nos teores de cálcio, potássio e magnésio, nutrientes que influenciam diretamente a textura e a integridade da casca das bagas.

Além disso, sua boa resposta a condições adversas, como chuvas durante o período de maturação, e sua conservação pós-colheita estendida tornam a ARRA 15[®] uma cultivar estratégica para produtores que desejam obter frutos de alta qualidade com menor risco de perdas (AUSTRALIAN TABLE GRAPE ASSOCIATION, 2023). A cultivar também se destaca pela uniformidade na maturação e pela facilidade de comercialização em mercados exigentes.

Em síntese, a ARRA 15[®] representa uma combinação de atributos agronômicos, fisiológicos e comerciais que justificam seu destaque entre as principais cultivares de uva de mesa sem sementes utilizadas no Brasil, sobretudo em regiões irrigadas do Semiárido.

3.3 Amido em videiras

O amido é uma das principais formas de reserva energética das videiras, sendo acumulado principalmente nos ramos, raízes e troncos durante os períodos de menor atividade vegetativa. Em regiões tropicais como o Vale do São Francisco, onde a videira não entra em dormência fisiológica pronunciada, essas reservas tornam-se essenciais para garantir o reinício do ciclo produtivo após a poda, especialmente em cultivos com múltiplas safras anuais (LEÃO et al., 2005).

Durante o ciclo da videira, há uma alternância entre fases de acúmulo e mobilização de carboidratos, com o amido sendo hidrolisado em açúcares solúveis para suprir a demanda energética da brotação, florescimento e frutificação (LIMA et al., 2020). A temperatura, a intensidade luminosa e o manejo da planta influenciam diretamente essa dinâmica. Condições de elevada insolação e fotossíntese ativa favorecem o acúmulo de amido nos tecidos permanentes da planta (LEÃO et al., 2005).

Além disso, o teor de amido nos ramos está diretamente relacionado ao vigor das brotações e à fertilidade das gemas. Ramos com maiores teores de reservas tendem a apresentar maior número de brotações e melhor desenvolvimento inicial, refletindo positivamente na produtividade da videira (LIMA et al., 2020). Contudo, a distribuição do amido ao longo do ramo pode variar conforme a cultivar e a posição das gemas, sem que haja necessariamente uma correlação direta com a posição das gemas férteis (LIMA et al., 2020; RADAVID, 2020).

Em folhas e outros tecidos verdes, o amido também atua como uma forma temporária de armazenamento dos produtos da fotossíntese, sendo mobilizado ao

final do dia para outras partes da planta (LEÃO et al., 2005; SILVA et al., 2020). Dessa forma, o monitoramento e a compreensão do comportamento das reservas amiláceas são fundamentais para o manejo fisiológico e nutricional da videira em sistemas tropicais e irrigados.

3.4 Nanotecnologia na agricultura

A nanotecnologia tem se consolidado como uma ferramenta estratégica para o avanço da agricultura sustentável, especialmente no enfrentamento de desafios como o aumento da demanda alimentar, escassez de recursos e os efeitos das mudanças climáticas. Entre os nanomateriais de destaque estão os pontos de carbono fluorescentes (Carbon Dots – C-dots), partículas de dimensões inferiores a 10 nm, com propriedades de fotoluminescência, alta solubilidade em água, baixa toxicidade e elevada biocompatibilidade (LI et al., 2012; YARUR et al., 2019).

Esses materiais vêm sendo aplicados na agricultura por sua capacidade de aumentar a eficiência da fotossíntese, estimular o crescimento vegetal, facilitar a absorção de nutrientes e proteger as plantas contra estresses abióticos e bióticos (WANG et al., 2018; LI et al., 2019). Do ponto de vista fisiológico, os C-dots atuam como antenas artificiais, absorvendo luz ultravioleta (UV) e convertendo-a em luz azul-violeta ou vermelha, que é aproveitada pelos cloroplastos para aumentar a taxa fotossintética, promovendo a síntese de ATP e NADPH nos fotossistemas I e II (CHANDRA et al., 2014; SU et al., 2018).

Além da melhora direta na taxa de fotossíntese, os C-dots também apresentam propriedades antioxidantes, auxiliando na neutralização de espécies reativas de oxigênio (ROS), reduzindo o estresse oxidativo e favorecendo a estabilidade das membranas celulares (LI et al., 2018; CHOUDHURY et al., 2017).

Na cultura da videira, pesquisas recentes utilizando o produto Carbgreen®, à base de nanopartículas de carbono funcionalizadas com SiO₂, K e Mg, demonstraram efeitos positivos na cultivar ARRA 15®, como aumento da fotossíntese, aceleração do crescimento vegetativo, maior acúmulo de açúcares e melhora da qualidade dos frutos. O mecanismo de ação está associado à conversão de radiação UV em radiação visível, à atuação como doador de elétrons nos fotossistemas e à ativação de genes relacionados ao desenvolvimento fisiológico da planta.

Portanto, a incorporação de C-dots na viticultura irrigada representa uma abordagem promissora para elevar a eficiência metabólica das plantas, com impactos

positivos na produtividade, qualidade dos frutos e resiliência frente a estresses ambientais. Sua aplicação, no entanto, deve considerar fatores como dose, compatibilidade com a cultura e métodos de aplicação, a fim de garantir segurança e eficácia agronômica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

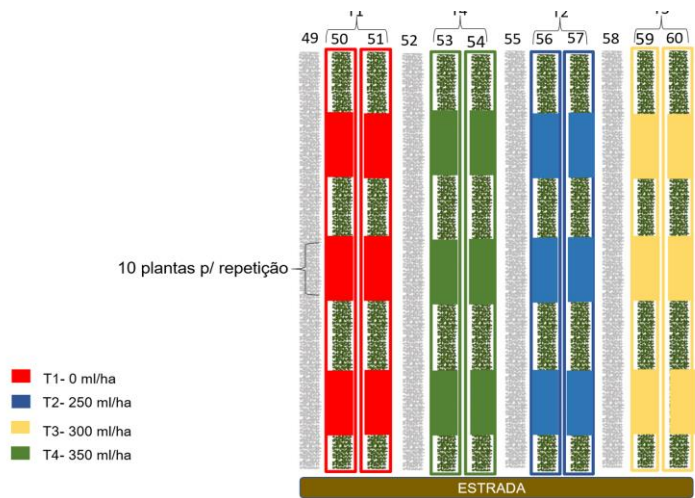
O experimento foi realizado de junho a outubro de 2024, na Fazenda JMM. Localizado nas coordenadas, (-9.294956, -40.543918 W) em um parreiral comercial da variedade ARRA 15[®], enxertada sobre o porta-enxerto Paulsen 1103. As videiras foram conduzidas em sistema de latada, sob irrigação por gotejamento, com espaçamento de 4,0 x 2,5 metros entre plantas. A área experimental está situada no Núcleo 6 do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho, no município de Petrolina-PE.

A principal característica dessa região é o clima semiárido quente com temperatura média anual em torno de 26,6 °C e precipitação média anual de aproximadamente 443 mm. As chuvas são escassas e mal distribuídas ao longo do ano, concentrando-se nos primeiros meses, com mínimos históricos observados entre agosto e setembro.

O experimento foi composto por quatro tratamentos, correspondentes a três concentrações do produto à base de nanopartículas de carbono fluorescente (produto comercial Carbgreen[®]) e uma testemunha. Cada tratamento ocupou duas fileiras com aproximadamente 76 plantas e foi intercalado por uma fileira de bordaduras. As unidades experimentais foram organizadas com seis repetições, compostas por parcelas de dez plantas cada, totalizando 240 plantas avaliadas, foram utilizadas dez plantas como bordadura no início de cada fileira e cinco plantas entre as repetições.

Os tratamentos avaliados foram: T1 – testemunha absoluta (sem aplicação de nanopartículas); T2 – 250 mL ha⁻¹ de Carbgreen[®]; T3 – 300 mL ha⁻¹; e T4 – 350 mL ha⁻¹ respectivamente (figura 1).

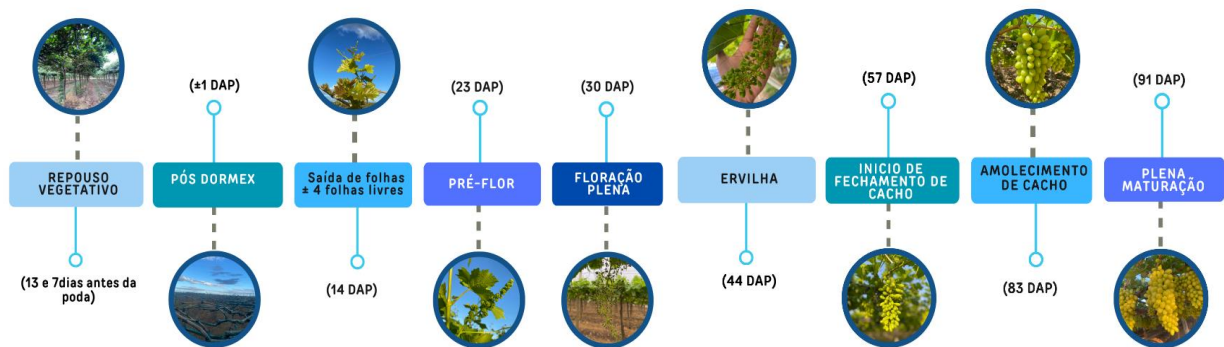
Figura 1 - Croqui experimental



Fonte – O autor (2024)

As pulverizações ocorreram em fases diferentes, totalizando dez aplicações via foliar, realizadas nas seguintes fases fenológicas: repouso vegetativo (13 e 7 dias antes da poda); emissão de folhas com aproximadamente quatro folhas livres (14 dias após a poda – DAP); pré-floração até início da florada (± 23 DAP); floração plena até o final da florada (± 30 DAP); estágio de ervilha (44 DAP); início do fechamento do cacho (57 DAP); amolecimento de cacho (83 DAP) e plena maturação (91 DAP), conforme figura 2.

Figura 2 - Representação das fases fenológicas da videira de acordo com as aplicações



Fonte – Elson Mendes (2024)

A dose do produto foi realizada com proveta e diluída em 100 litros de água por pulverização (figura 3 A). As aplicações foram efetuadas com trator pulverizador de 600 litros, com direcionamento para folhas e cachos (figura 4 B e 5 C). Os tratamentos foram identificados por fitas coloridas para que as plantas tratadas fossem distinguidas das demais. Os tratos culturais de rotina da fazenda, como adubação, irrigação, aplicação de reguladores vegetais, controle fitossanitário e podas, foram mantidos uniformes para todos os tratamentos.

Figura 3 - Medição de doses do produto a base de nanopartículas de carbono a), preparação da calda b), aplicação foliar com pulverizador mecânico.



Fonte – o autor (2024)

Medições e coletas de amostras de folhas e frutos foram realizadas para análise das variáveis estudadas. Nas avaliações pós-colheita, quatro cachos representativos foram selecionados por repetição, totalizando vinte e quatro cachos por tratamento.

As variáveis analisadas incluíram:

a) Área foliar (AF) (cm^2): foram coletadas 5 folhas por repetição, totalizando 30 folhas por tratamento, aos 48 e 93 dias após a poda (DAP). Foram selecionadas folhas maduras e totalmente expandidas, localizadas no terço médio dos ramos produtivos, em pleno desenvolvimento fotossintético. A estimativa de AF foi determinada por processamento de imagens por meio de ferramentas digitais, conforme metodologia descrita por Alvarenga et al. (2015). Para isso, foi utilizado o software ImageJ (open source). As folhas foram digitalizadas com alta resolução junto com uma régua milimétrica tomada como referencial para configuração do software (pixel cm^{-1});

b) Teores de clorofila *a*, *b* e total (*a+b*): mensurados com um clorofilômetro ClorofiLOG®, modelo CFL 1030, que forneceu valores expressos em unidades do Índice de Clorofila Falker (ICF);

c) Teor de amido nos ramos: As avaliações de amido foram realizadas no laboratório Rupestris pesquisa e consultoria, com amostras de sarmentos da cultivar. Logo após a coleta, os sarmentos foram secos em estufa ventilada a 65°C até massa constante, moídos em moinho de facas tipo Willey, para retirada da alíquota de 1 g da amostra e adicionou em balão com 60 mL de água destilada e 5 ml de ácido clorídrico, deixando os balões no refluxo por 2 horas, após a retirada realizou-se a neutralização com carbonato de sódio, e filtragem, completando volume em 100 mL, dessa solução foi retirada uma alíquota de 0,5 mL e adicionada em tubo de ensaio juntamente com 1 mL de DNS e 1mL de água destilada, deixando em banho maria após a fervura por 5 minutos. Logo após o resfriamento da amostra adicionou-se 7,5 ml de água destilada e acondiciono-se as amostras em cubetas para realização das leituras no espectrofotômetro em 540 nm.

d) Extravasamento de eletrólitos: Para determinação da condutividade elétrica das biomenbranas, foi realizado o corte de 10 discos das folhas com diâmetro de 0,8 mm², com auxílio de vazador, logo após os discos foram submergidos em 25 mL de água destilada e deixados sobre descanso por 24 horas. Após esse período foi realizado a medição da condutividade elétrica da solução com auxílio de um condutivímetro portátil, sendo os resultados expressos em $\mu\text{s}/\text{cm}^2$.

g) Comprimento e ombro de cacho: Para medir do tamanho do cacho foi considerado a primeira e a última baga do cacho, medido com régua graduada de 30 cm;

h) Número de bagas por cacho: foi determinado pela contagem do número de bagas em cada cacho, com a avaliação de 24 cachos por tratamento;

i) Calibre de bagas: determinado por meio da medição do diâmetro e comprimento utilizando um paquímetro digital.

j) Sólidos solúveis totais (SST): determinados por refratômetro, com resultados expressos em °Brix. Foram analisadas três bagas de cada cacho, retiradas das partes basal, mediana e apical, para obter a média de cada fruto;

k) Acidez titulável (AT) foi determinada pelo método de titulometria utilizando uma solução de hidróxido de sódio a 0,1 N e fenofitaleína a 1%, sendo os resultados

expressos em percentagem (%) do ácido tartárico que é o ácido predominante para a cultivar.

l) Ratio: foi obtido através da razão entre os valores de sólidos solúveis totais e de acidez titulável.

m) Produtividade: estimada com base na densidade de plantas por hectare, massa média dos cachos e número médio de cachos por planta, expressa em toneladas por hectare.

Com exceção da análise de amido, todas as demais análises foram realizadas nas instalações do Instituto Federal do Sertão Pernambucano - Campus Petrolina Zona Rural. As variáveis analisadas foram submetidas a análise de variância pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) pelo programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (Ferreira, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

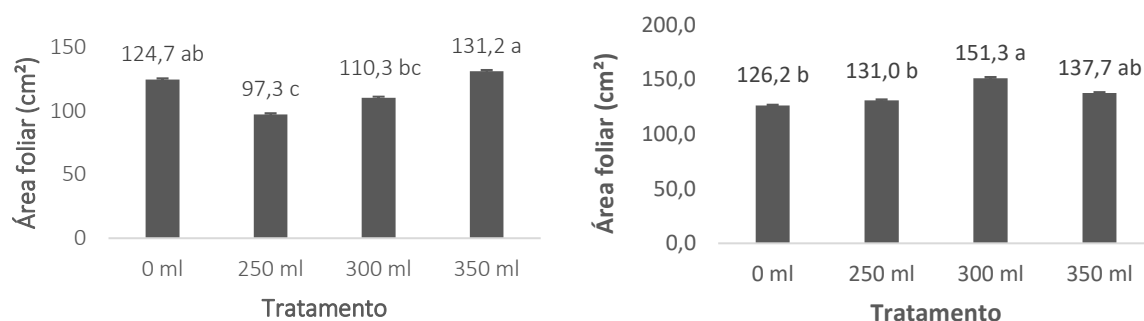
5.1 Área foliar; clorofila a, b, total e relação clorofila a/b; amido e extravasamento de eletrólitos:

A área foliar das videiras tratadas com Carbgreen® revelou que, aos 48 dias após a poda, a dose de 350 ml proporcionou a maior área foliar (131,2 cm²), indicando um estímulo inicial ao crescimento vegetativo. No entanto, aos 93 dias após a poda, a dose de 300 ml destacou-se com a maior área foliar registrada (151,3 cm²), sendo estatisticamente superior ao controle e à dose de 250 ml, figura 4.

Segundo Nunes et al. (2023), essas nanopartículas promovem maior eficiência fotossintética e absorção de nutrientes, atuando como transportadoras de metabólitos e reguladoras da atividade celular.

Além disso, estudos de Hussain et al. (2019) e Dasgupta-Schubert et al. (2021) destacam que, embora as nanopartículas estimulem o crescimento vegetal, doses excessivas podem causar efeitos negativos, como estresse oxidativo, redução da divisão celular e alterações na estrutura foliar.

Figura 4 - Área foliar aos 48 DAP e aos 93 DAP sob diferentes doses de nanopartículas de carbono.



Fonte – O autor (2025)

A clorofila *a* é o principal pigmento envolvido na conversão de energia luminosa em energia química, atuando diretamente nos centros de reação dos fotossistemas I e II. Os resultados mostram que as doses intermediárias de 250 mL ha⁻¹ e 300 mL ha⁻¹ de Carbgreen® proporcionaram incremento significativo na concentração de clorofila *a*, sugerindo maior eficiência fotossintética nessas condições conforme mostra a figura 5. Isso pode indicar que essas doses favoreceram o desenvolvimento dos cloroplastos e a ativação de genes relacionados à síntese de pigmentos fotossintéticos.

Resultados semelhantes foram observados por Chen et al. (2024), que relataram aumento nos teores de clorofila *a* em *Ficus tikoua* após a aplicação de nanopartículas de carbono nas doses de 20, 40 e 60 mg L⁻¹, sendo que a dose intermediária apresentou os efeitos mais favoráveis à fotossíntese. De forma semelhante, Rahayu et al. (2024) constataram que a aplicação de 5% de CNPs, incorporados a 15 g de solo seco e misturados ao substrato composto por solo e esterco bovino (1:1), em vasos de 15 x 20 cm contendo estacas de *Orthosiphon aristatus*, também resultou em incremento significativo de clorofila *a*, reforçando que o efeito positivo está associado à dose aplicada.

A dose de 350 mL ha⁻¹, embora ainda superior ao controle, não manteve o mesmo efeito positivo, o que pode sinalizar um limite fisiológico ou o início de uma resposta de estresse. Tal comportamento também foi relatado por Dasgupta-Schubert et al. (2021), que observaram que doses mais elevadas de nanopartículas de carbono,

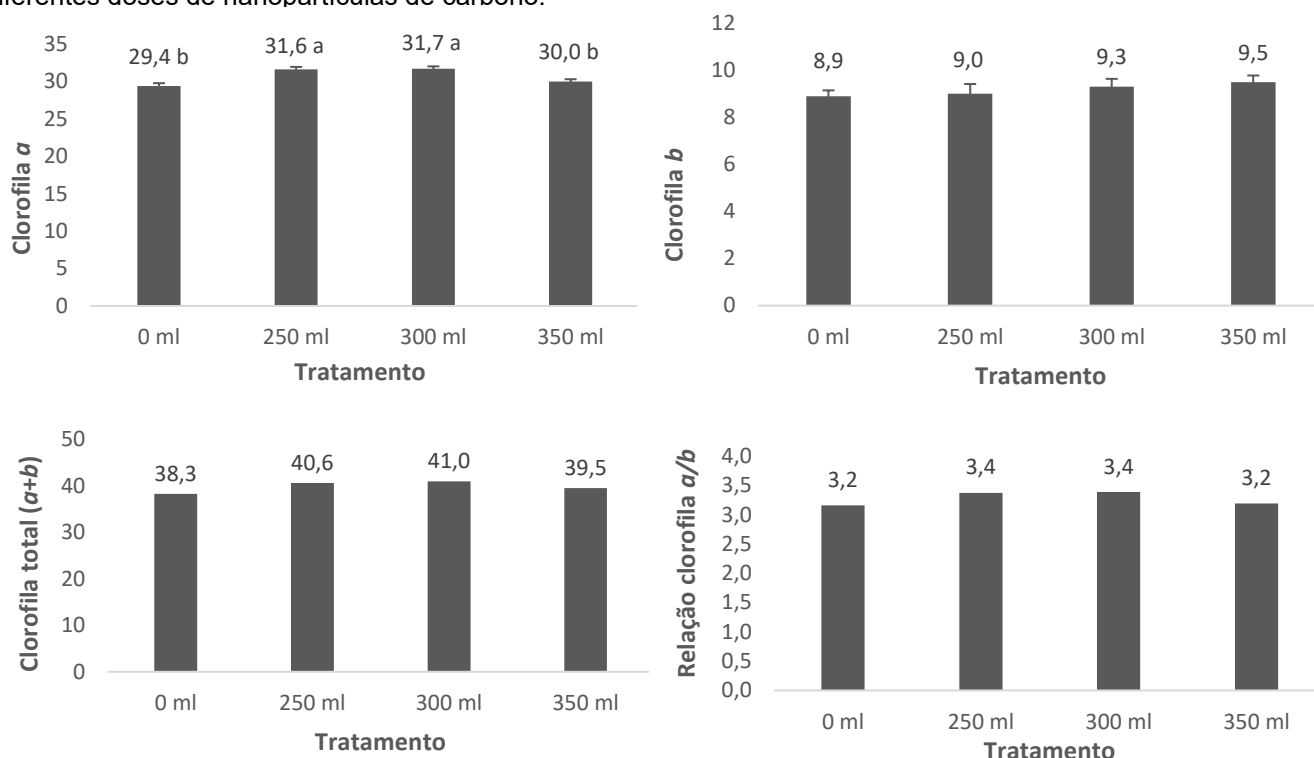
apesar de inicialmente promissoras, podem desencadear estresse oxidativo e reduzir o desempenho fotossintético.

A clorofila *b* atua como pigmento acessório, ampliando o espectro de luz absorvido e transferindo energia para a clorofila *a*. A estabilidade dos valores entre os tratamentos indica que o Carbgreen® não influenciou significativamente a síntese ou o acúmulo desse pigmento, o que pode estar associado à menor sensibilidade da clorofila *b* a variações nutricionais e estímulos exógenos, como sugerido por Taiz et al. (2017).

A clorofila total expressa a capacidade geral de absorção de luz pela folha. O leve aumento nas doses de 250 mL ha⁻¹ e 300 mL ha⁻¹ reforça o padrão observado na clorofila *a*, embora o acréscimo na clorofila *b* não tenha sido suficiente para gerar um incremento estatisticamente expressivo no total. De forma semelhante, Rahayu et al. (2024) observaram que o aumento na clorofila total foi proporcional ao aumento da clorofila *a*, enquanto a *b* se manteve mais estável, padrão compatível com os dados obtidos neste experimento.

Essa relação entre clorofila *a* e *b* é usada para indicar o estado fisiológico das folhas e sua adaptação à luz. A estabilidade dos valores demonstra que, mesmo com alterações na concentração absoluta de clorofilas, a proporção funcional entre os dois pigmentos foi mantida, sinalizando um ajuste metabólico eficiente das plantas.

Figura 5 - Teores médios de clorofila *a*, *b*, total (*a+b*) e relação clorofila *a/b* de ARRA sweeties™ sob diferentes doses de nanopartículas de carbono.



Fonte – o autor (2025)

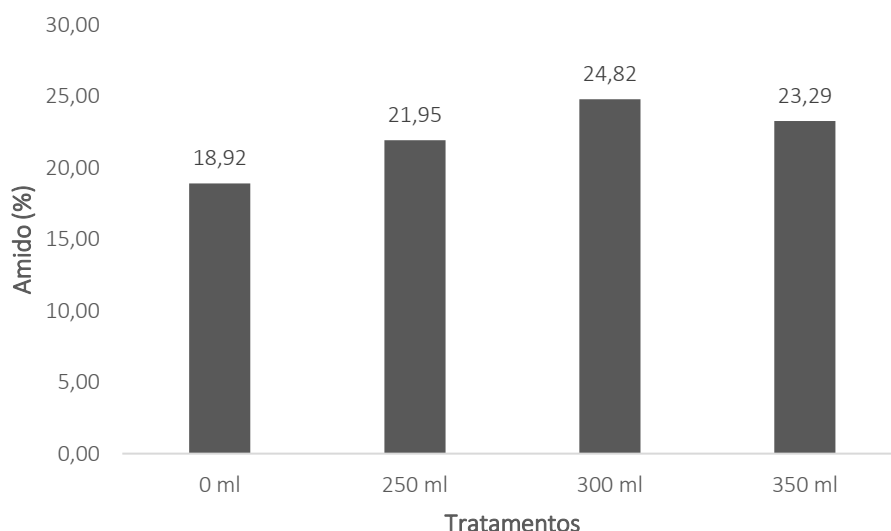
A figura 6 apresenta os teores de amido nos ramos de videiras ARRA 15® submetidas a diferentes doses do produto Carbgreen®, avaliados no momento da poda. A análise foi realizada a partir de amostras enviadas ao laboratório, sem a aplicação de teste estatístico, uma vez que as repetições dentro dos tratamentos não foram discriminadas.

Observou-se um aumento progressivo no acúmulo de amido até a dose de 300 mL ha⁻¹, que apresentou o maior valor registrado (24,82%). Esse resultado sugere que a aplicação moderada do produto favoreceu a síntese e o acúmulo de carboidratos de reserva, refletindo em uma maior atividade fotossintética e translocação de assimilados.

Segundo Zuffo et al. (2020), o amido é uma reserva essencial para o desenvolvimento da videira, especialmente durante a brotação e o florescimento. As nanopartículas de carbono, por sua vez, têm potencial para atuar como bioestimulantes, otimizando processos metabólicos e fisiológicos nas plantas (RICO et al., 2011; HUSSAIN et al., 2019).

A discreta redução no teor de amido observada na dose de 350 mL ha⁻¹ (23,29%) pode indicar um ponto de saturação fisiológica ou início de efeito inibitório, sugerindo que doses superiores à ideal podem não trazer benefícios adicionais.

Figura 6 - Teor de amido em ramos de videiras ARRA Sweeties™ sob diferentes doses de Carbgreen®.



Fonte- O autor (2025)

O extravasamento de eletrólitos é amplamente utilizado como indicador de estresse oxidativo e de danos à integridade das membranas celulares em plantas. Valores mais elevados sugerem maior permeabilidade da membrana plasmática, geralmente associados a estresse abiótico ou oxidativo, enquanto valores mais baixos indicam membranas estáveis e funcionais.

Na avaliação realizada aos 48 dias após a poda (DAP), observou-se que, embora as diferenças entre os tratamentos tenham sido mais sutis, a dose de 300 mL ha⁻¹ apresentou o menor valor de extravasamento (10,7 µS/cm), seguida por 250 mL ha⁻¹ (11,5 µS/cm) e 350 mL ha⁻¹ (12,3 µS/cm), com o controle (0 mL ha⁻¹) apresentando o maior valor (14,7 µS/cm), figura 7.

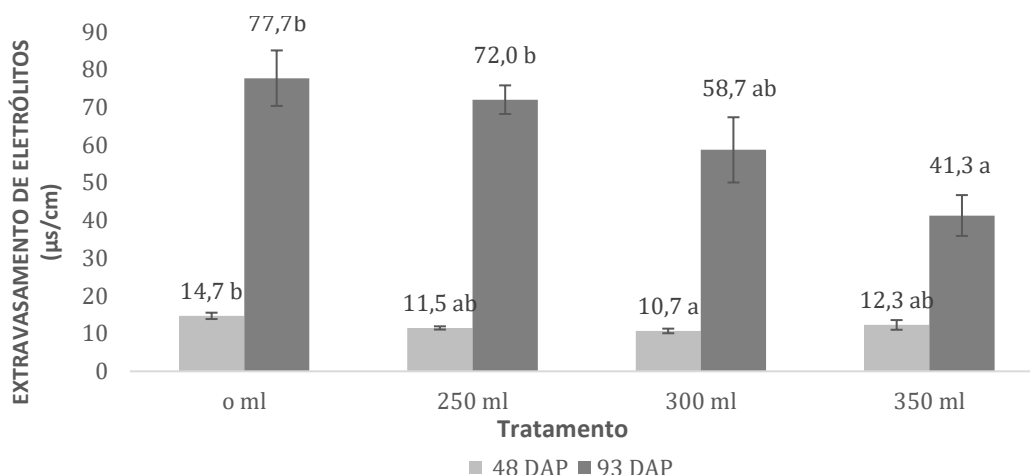
Esses resultados indicam que o produto já exercia efeito positivo nas plantas ainda em estágio vegetativo, com tendência à menor desorganização das membranas plasmáticas nas videiras tratadas com as doses intermediárias.

Aos 93 DAP, quando as plantas estavam em estágio mais avançado de desenvolvimento, observou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos,

sendo a dose de 350 mL ha⁻¹ a que apresentou o menor valor de extravasamento (41,3 µS/cm), indicando maior estabilidade das membranas e melhor eficiência fisiológica nessa fase fenológica. Esse comportamento contrasta com os elevados valores encontrados no controle (0 ml: 77,7 µS/cm) e na dose de 250 mL ha⁻¹ (72,0 µS/cm), que revelaram maior nível de desorganização celular.

A redução do extravasamento ao longo do tempo nos tratamentos com Carbgreen® evidencia o potencial da formulação à base de nanopartículas de carbono em mitigar estresses fisiológicos e manter a integridade celular, possivelmente por sua ação antioxidante e efeito estabilizador sobre as membranas.

Figura 7 - Extravasamento de eletrólitos (µS/cm) em folhas de videiras ARRA sweeties™ submetidas a diferentes doses do produto (Carbgreen®), aos 48 e 93 dias após a poda.



Fonte – o autor (2025)

5.2 Parâmetros biométricos de cachos e bagas, qualidade físicoquímica dos frutos e produtividade:

Os resultados obtidos na tabela 1, demonstram que a aplicação de nanopartículas de carbono fluorescente promoveu efeitos positivos sobre características agrônômicas dos cachos da videira ARRA sweeties™.

As doses de 250, 300 e 350 mL ha⁻¹ proporcionaram incremento significativo na massa fresca dos cachos em comparação ao controle, sendo a dose de 300 mL ha⁻¹ a que apresentou o maior valor médio (468,08 g), indicando maior acúmulo de matéria fresca possivelmente associado ao aumento no número de bagas.

Valores seguidos de letras minúsculas e diferentes letras na coluna, em cada parâmetro, indicam que as doses diferem estatisticamente pelo teste de tukey ($p < 0,05$);

*ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Fonte - O autor (2025)

Na tabela 2, a dose de 300 mL ha⁻¹ apresentou os resultados mais expressivos em termos de qualidade, refletindo efeitos benéficos na composição dos frutos.

No que se refere aos sólidos solúveis totais (SST), a aplicação de 300 mL ha⁻¹ proporcionou o maior valor médio ($19,1 \pm 0,26$ °Brix), significativamente superior ao controle e às demais doses. Este incremento está associado a um maior acúmulo de açúcares nos frutos, fator essencial para o sabor e aceitação do consumidor. Valores acima de 17 °Brix são considerados adequados para uvas de mesa voltadas à exportação (SILVA et al., 2023), sendo que teores próximos ou superiores a 19 °Brix indicam frutos com maior potencial de mercado. Tal resposta pode estar associada ao aumento da taxa fotossintética e ao favorecimento da assimilação e translocação de fotoassimilados promovido pelas NPCs, como relatado por Tang et al. (2022), que observaram aumento da produção de açúcares em plantas tratadas com nanopartículas de carbono devido à ativação de rotas metabólicas secundárias relacionadas ao crescimento e amadurecimento.

Em relação à acidez titulável, os menores valores foram obtidos nas doses de 250 e 300 mL ha⁻¹ (0,79 e 0,77 g de ácido tartárico/100 mL, respectivamente), ambos estatisticamente inferiores ao controle (0,85 g/100 mL). A redução da acidez é frequentemente associada ao avanço da maturação fisiológica dos frutos e à intensificação do metabolismo respiratório, que pode acelerar a degradação de ácidos orgânicos (ZHANG et al., 2023). Segundo Zhao et al. (2021), as NPCs também podem alterar a atividade de enzimas oxidativas e reduzir o estresse oxidativo, favorecendo condições internas para a diminuição da acidez.

O índice de relação brix e acidez (SST/ATT), indicador da relação entre doçura e acidez, foi significativamente elevado com a dose de 300 mL ha⁻¹, atingindo 25,2. Esse valor supera amplamente os padrões mínimos desejáveis para uvas de mesa, que giram em torno de 20 (OLIVEIRA et al., 2023). Um ratio elevado é indicativo de maior equilíbrio sensorial, o que representa frutos com melhor sabor e maior potencial de aceitação no mercado. Este resultado sugere que as nanopartículas atuaram de

forma sinérgica sobre o metabolismo do carbono e do ácido tartárico, promovendo um balanço ideal entre açúcares e acidez nos frutos.

Embora a dose de 350 mL ha⁻¹ tenha mantido SSTs equivalentes ao controle e um índice de ratio superior ao controle (22,2), os dados mostram que a aplicação de 300 mL ha⁻¹ foi a mais eficiente em otimizar simultaneamente os três parâmetros avaliados: doçura, acidez e equilíbrio sensorial. Esse comportamento evidencia que doses mais elevadas nem sempre correspondem a incrementos lineares de qualidade, sugerindo a existência de um ponto de máxima eficiência fisiológica das NPCs sobre o metabolismo da videira.

Tabela 2 - variáveis de sólidos solúveis totais (°Brix), acidez (g de ácido tartárico/100 mL) e ratio (SST/ATT).

Tratamento	Baga		
	SST (°Brix)	Acidez (g de ácido tartárico/100 mL)	Ratio (SST/ATT)
Controle	18,1 ± 0,21 b	0,85 ± 0,03 c	21,2 ± 0,27 b
250 ml/ ha	17,5 ± 0,18 b	0,79 ± 0,04 a	22,4 ± 0,29 b
300 ml/ ha	19,1 ± 0,26 a	0,77 ± 0,05 a	25,2 ± 0,36 a
350 ml/ha	18,1 ± 0,24 b	0,81 ± 0,03 b	22,2 ± 0,25 b
cv (%)	10,4	4,77	9,63

Média ± erro padrão

Valores seguidos de letras minúsculas e diferentes letras na coluna, em cada parâmetro, indicam que as doses diferem estatisticamente pelo teste de tukey (p<0,05).

Fonte - O autor (2025).

A aplicação do Carbgreen® teve efeito significativo sobre a produtividade da cultivar ARRA 15®, conforme ilustrado na figura 8. A testemunha (0 mL ha⁻¹) apresentou rendimento médio de 38,8 t ha⁻¹, significativamente inferior aos tratamentos com nanopartículas. As doses de 250, 300 e 350 mL ha⁻¹ proporcionaram produtividades de 46,3; 46,6 e 45,1 t ha⁻¹, respectivamente, sem diferença estatística entre si, indicando que todas as doses testadas foram eficientes para promover aumento na produção em comparação ao controle.

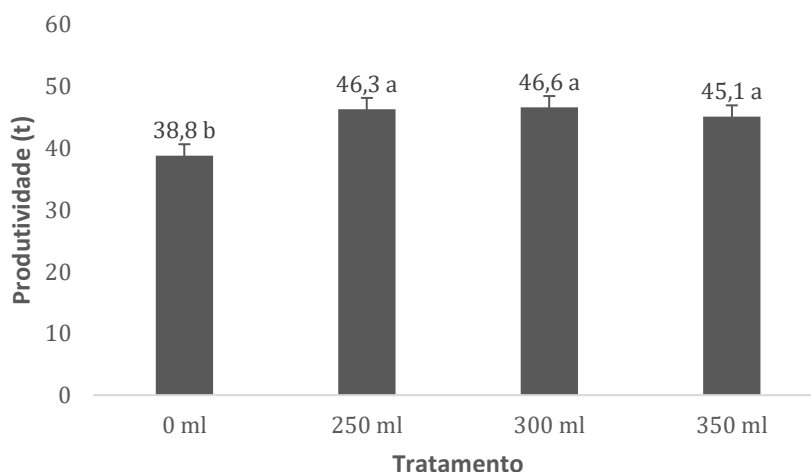
Esse acréscimo de aproximadamente 20% na produtividade pode estar relacionado à ação bioestimulante das nanopartículas de carbono e sua capacidade de interagir com rotas fisiológicas fundamentais, como a fotossíntese, a assimilação de nutrientes e o metabolismo antioxidante. De acordo com Oliveira et al. (2024), as

nanopartículas de carbono, ao serem absorvidas pelas folhas, promovem o aumento da taxa fotossintética líquida, o que contribui para maior produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, maior alocação de biomassa nos órgãos reprodutivos.

Além disso, esses nanomateriais têm sido apontados como agentes potencializadores da atividade de enzimas relacionadas ao crescimento vegetal, o que pode explicar o aumento no número de bagas por cacho e a massa fresca observada em outros parâmetros do experimento. De acordo com Barros (2023), a aplicação de nanopartículas de carbono em videiras cultivadas no semiárido nordestino favoreceu o desenvolvimento reprodutivo da planta, inclusive em condições de elevada radiação e estresse hídrico.

O fato de não haver aumento adicional significativo da produtividade com a dose de 350 mL ha⁻¹ sugere a existência de um patamar fisiológico de resposta, ou seja, uma saturação da ação estimulante das nanopartículas. Essa estabilização da resposta produtiva em doses mais altas foi também observada por Rodrigues et al. (2021) em estudos com nanomateriais aplicados em hortaliças, reforçando a necessidade de identificar doses ótimas para maximizar a eficiência do insumo sem comprometer o metabolismo vegetal.

Figura 8 - produtividade estimada de uvas da variedade ARRA sweeties™ em plantas tratadas com nanopartículas de carbono, expressa em toneladas por hectare.



Fonte – o autor (2025)

6 CONCLUSÃO

A aplicação foliar de Carbgreen® aumentou a taxa de pegamento de cachos, elevou os sólidos solúveis totais e promoveu um balanço adequado entre °Brix e acidez. Esses efeitos, aliados ao incremento significativo na produtividade, confirmam a eficácia da dose de 300 mL ha⁻¹ na otimização do rendimento e da qualidade da uva ARRA Sweeties®. Portanto, o uso foliar de nanopartículas de carbono fluorescente constitui uma alternativa promissora para o manejo fisiológico da videira em condições semiáridas.

7 REFERÊNCIAS

AGRO INSIGHT. **Panorama da produção de uvas de mesa no Submédio São Francisco**. 2022. Disponível em: <https://agroinsight.com.br/panorama-da-producao-de-uvas-de-mesa-no-submedio-sao-francisco/>. Acesso em: 11 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS (ABRAFRUTAS). **Viticultura: 95% de toda a uva de mesa exportada pelo Brasil sai do Vale do São Francisco**. 2023. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/07/viticultura-95-de-toda-a-uva-de-mesa-exportada-pelo-brasil-sai-do-vale-do-sao-francisco/>. Acesso em: 11 maio 2025.

AUSTRALIAN TABLE GRAPE ASSOCIATION (ATGA). **ARRA Sweeties™**. Mildura, VIC: ATGA, 2023. Disponível em: <https://australiangrapes.com.au/varieties/arra-sweeties/>. Acesso em: 11 maio 2025.

BARROS, N. Q. **Aplicação de nanopartículas de carbono em culturas frutíferas**. 2023. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2023. Disponível em: https://portais.univasf.edu.br/ppgea/pesquisa/publicacoes-1/arquivos/DISSERTAO_NICOLLYQUIRINOBARROS_PDF.pdf. Acesso em: 3 jun. 2025.

BRASIL. AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL: EXPANSÃO NO NORDESTE A PARTIR DE 1960. In: Agricultura no Brasil, Wikipedia, 2023. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Agricultura_no_Brasil. Acesso em: 10 jun. 2025.

CARDOSO, A. C. **Fenologia e requerimento térmico de videiras ‘BRS Vitória’ e ARRA 15 no Vale do Submédio do São Francisco**. 2019. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Fruticultura Irrigada) – Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Petrolina. Disponível em: <https://releia.ifsertao-pe.edu.br/jspui/bitstream/123456789/784/1/TCC-Cardoso-Ariane-Costa.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

CAVALCANTI FILHO, Sérgio Marques. **A TRANSFORMAÇÃO DO VALE DO SÃO FRANCISCO NOS ANOS 1960**. Recife: Sudene/Suvale, 2016.

CHANDRA, S. et al. **High throughput electron transfer from carbon dots to chloroplast: a rationale of enhanced photosynthesis**. *Nanoscale*, v. 6, n. 7, p. 3647–3655, 2014.

CHEN, C. et al. **Effects of carbon nanoparticles on the physiological and biochemical properties of *Ficus tikoua***. *Toxics*, v. 12, n. 5, p. 401, 2024. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11249010/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Petrolina (Brasil)**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/pernambuco/petrolina-31938/>. Acesso em: 21 maio 2025.

CRUZ, M. M. de M. F. **Fisiologia, produtividade e qualidade de uva de mesa submetida a estratégias hídricas em condições semiáridas**. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstreams/0dc2b472-e6fd-453b-ad9d-99741f35ba51/download>. Acesso em: 11 maio 2025.

DAS, K. et al. **Reactive oxygen species in plant biology**. Springer, 2014.

DASGUPTA-SCHUBERT, N. et al. **Carbon nano-onions increase biomass and fruit yield in tomato by affecting the expression of growth-related genes**. *Nanomaterials*, v. 11, n. 11, p. 2992, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/2992>. Acesso em: 2 jun. 2025.

EMBRAPA. **A vitivinicultura do Vale do Submédio São Francisco: características e desafios**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/661917/1/Dora.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

FRACETO, L. F. et al. **Nanotecnologia na agricultura: oportunidades e desafios**. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 41, n. Supl., p. 89–96, 2018. Disponível em:

https://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871018X2018000500089. Acesso em: 11 maio 2025.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. **Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants**. Plant Physiology and Biochemistry, v. 48, p. 909–930, 2010.

GIRALDO, J. P. et al. **Nanotechnology approaches for chloroplast biotechnology**. Frontiers in Plant Science, v. 5, p. 1–10, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00307>. Acesso em: 2 jun. 2025.

GRAPA. **CARACTERÍSTICAS DA CULTIVAR ARRA 15®: BAGAS CROCANTES, COLORAÇÃO VERDE BRILHANTE E RESISTÊNCIA PÓS-COLHEITA**. Embrapa, 2022.

HUSSAIN, A. et al. **Carbon-based nanomaterials as plant growth stimulants: Influence on photosynthesis, nutrient uptake and gene expression**. Nanomaterials, v. 9, n. 5, p. 750, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/9/5/750>. Acesso em: 2 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: março de 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2023/estProdAgri_202303.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2023/estProdAgri_202303.pdf). Acesso em: 11 maio 2025.

KARNIEL, F.; GIUMARRA, C. **AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À RACHADURA E TOLERÂNCIA AO DESGRANE NA CULTIVAR ARRA 15®**. Califórnia: ARD LLC, 2011.

JORNAL DO SERTÃO. **Exportações de frutas em 2023 ultrapassam US\$ 1,2 bilhão, com mangas e uvas do Vale do São Francisco respondendo por 40% do total**. 2024. Disponível em: <https://jornaldosertaope.com.br/2024/01/23/exportacoes->

de-frutas-em-2023-ultrapassam-12-bilhao-de-dolares-com-mangas-e-uvas-do-vale-do-sao-francisco-respondendo-por-40-do-total/. Acesso em: 11 maio 2025.

LEÃO, P. C. de S. et al. **Produção de uvas sem sementes no Semiárido brasileiro.** In: AGUILA, J. S. del; AGUILA, L. S. H. del (Org.). *Vitivinicultura: função exata em cada processo*. Ponta Grossa: Atena, 2020. Cap. 7, p. 70–81. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1129891>. Acesso em: 11 maio 2025.

LEÃO, P. C. de S.; SILVA, E. E. G. **Variação intra-anual dos teores foliares de carboidratos e atividade de invertases em videiras cultivadas no Trópico Semi-Árido.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 70). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/156975>. Acesso em: 20 maio 2025.

LEÃO, P. C. S. **BREVE HISTÓRICO DA VITIVINICULTURA NO NORDESTE BRASILEIRO.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 7, p. 81–85, 2010.

LI, H. et al. **Carbon nanodots: synthesis, properties and applications.** *Journal of Materials Chemistry C*, v. 22, p. 24230–24230, 2012.

LIMA, M. A. C. de et al. **Fertilidade de gemas e reservas de amido em ramos de videiras apirênicas submetidas ao desponte.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 12., 2020, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1174474/1/T0691-660.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

LIMA, João Ricardo F. **COMPORTAMENTO DAS EXPORTAÇÕES DE UVA DO BRASIL: DEZEMBRO DE 2023.** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1152676>. Acesso em: 01 jun. 2025.

LIMA-COIMBRA, N.; SILVA, E. M.; BANDEIRA, A. da S. **A CULTURA DA UVA E DO VINHO NO VALE DO SÃO FRANCISCO**. Salvador: Revista de Desenvolvimento Econômico, v. XVII, especial, p. 461–491, dez. 2015.

NUNES, M. M. L. et al. **Bioestimulante nanotecnológico melhora desenvolvimento de hortaliças**. Embrapa Hortaliças, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/55218218/bioestimulante-nanotecnologico-melhora-desenvolvimento-de-hortalicas>. Acesso em: 2 jun. 2025.

OLIVEIRA, J. P. et al. **Efeitos de nanopartículas de carbono no crescimento inicial de mudas**. *Revista Realize*, v. 13, n. 4, p. 1–10, 2022. Disponível em: <https://revistas.icesp.br/index.php/Real/article/view/6003>. Acesso em: 2 jun. 2025.

OLIVEIRA, L. K. B. **Nanopartículas de carbono como bioestimulantes em culturas agrícolas**. 2024. 132 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/77097/1/2024_tese_lkboliveira.pdf. Acesso em: 3 jun. 2025.

OLIVEIRA, V. S. **Influência de estratégias de irrigação na absorção de metais pela videira cv. Syrah e composição físico-química dos vinhos do Vale do Submédio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro/BA, 2013.

RADAVID, G. C. et al. **Fertilidade e análise de reservas em gemas das videiras ‘Greco di Tufo’, ‘Coda di Volpe’ e ‘Viognier’ cultivadas em São Joaquim – SC**. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 111–116, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/94>. Acesso em: 20 maio 2025.

RAHAYU, N. A. et al. **The application of carbon nanoparticles improves physiological characteristics and growth of *Orthosiphon aristatus* cuttings**. *Discover Nano*, v. 1, n. 25, 2024. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-00834-5>. Acesso em: 2 jun. 2025.

RODRIGUES, M. O. **Nanotecnologia brasileira: mais produtividade da agricultura**. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/assuntos/noticias/nanotecnologia-brasileira-mais-produtividade-da-agricultura>. Acesso em: 3 jun. 2025.

SEBRAE. **UVAS E MANGAS DO VALE DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**. Brasília: Polo Sebrae Agro, 2023. Disponível em: <https://polosebraeagro.sebrae.com.br/indicacoes-geograficas/ig-vale-do-submedio-sao-francisco/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

SILVA, D. V. **Manchas de bagas na cultivar ARRA 15® em Petrolina-PE: estudo de caso**. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Agropecuária) – Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Petrolina. Disponível em: <https://releia.ifsertao-pe.edu.br/jspui/bitstream/123456789/859/1/TCC-MANCHAS-BAGAS-ARRA15.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

SILVA, E. E. de et al. **Teores de carboidratos em folhas de videira cv. Syrah em diferentes posições do ramo e épocas de coleta no Vale do São Francisco**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 42, n. 4, e-169, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/BnVFScTKNdJtbMST9WHGZfK>. Acesso em: 20 maio 2025.

SILVA, F. V. et al. **Manejo de irrigação e fertirrigação em videira no Vale do São Francisco**. Embrapa Semiárido, 2021.

SOUTO JR., A.; MOTA SILVA, B.; ALMEIDA, C. **A IMPORTÂNCIA SOCIAL DA VITICULTURA NO VALE DO SÃO FRANCISCO: GERAÇÃO DE EMPREGOS POR HECTARE**. S.d. Available data pointing that the viticulture generates up to 5 direct jobs per hectare cultivated in the region.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TANG, J. et al. **Carbon-based fluorescent nanoparticles enhance fruit quality by modulating sugar accumulation and antioxidant metabolism**. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 180, p. 14–22, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.02.012>. Acesso em: 2 jun. 2025.

TOPFRUIT. **ARRA 15® - ARRA Sweeties™ Variety Sheet**. 2023. Disponível em: <https://www.topfruit.co.za/fruit-statistics-pdfs/ARRA-15-ARRA-SWEETIES-later.pdf>. Acesso em: 11 maio 2025.

YARUR, F. et al. **Ratiometric detection of heavy metal ions using fluorescent carbon dots**. *Environmental Science: Nano*, v. 6, p. 1121–1130, 2019.

ZHANG, L. et al. **Effects of carbon quantum dots on fruit ripening and oxidative metabolism in tomato**. *Food Chemistry*, v. 405, 134842, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134842>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ZHANG, Y. et al. **Enhanced photosynthetic efficiency by nitrogen-doped carbon dots in plants**. *Horticulture Research*, v. 11, n. 3, uhae016, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/hr/uhae016>. Acesso em: 2 jun. 2025.

ZHAO, Y. et al. **Nanocarbon materials as enhancers of plant performance: From molecular mechanisms to agronomic potential**. *Environmental Research*, v. 206, 112598, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112598>. Acesso em: 2 jun. 2025.