



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE APLICAÇÃO E CONCENTRAÇÕES
DE ARBOLINA NA PRODUTIVIDADE, FISIOLOGIA E QUALIDADE
DE FRUTOS DE MORANGUEIRO**

NICOLE-MARIE DOS SANTOS BUTRUILLE

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM AGRONOMIA**

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE APLICAÇÃO E CONCENTRAÇÕES
DE ARBOLINA NA PRODUTIVIDADE, FISIOLOGIA E QUALIDADE
DE FRUTOS DE MORANGUEIRO**

NICOLE-MARIE DOS SANTOS BUTRUILLE

ORIENTADOR: PROF. DR. JADER GALBA BUSATO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
EM AGRONOMIA**

BRASÍLIA/DF
JUNHO/2021



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE APLICAÇÃO E CONCENTRAÇÕES
DE ARBOLINA NA PRODUTIVIDADE, FISIOLOGIA E QUALIDADE
DE FRUTOS DE MORANGUEIRO**

NICOLE-MARIE DOS SANTOS BUTRUILLE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

PROF. DR. JADER GALBA BUSATO
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV-UnB)

PROF. DR. CÍCERO CELIO DE FIGUEIREDO
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV-UnB)

PROF. DR. LEONARDO BARROS DOBBS
(Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM)

BRASÍLIA, 04 DE JUNHO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Dos Santos Butruille, Nicole Marie
DB987i Influência do método de aplicação e concentrações de
Arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos
de morangueiro / Nicole Marie Dos Santos Butruille;
orientador Jader Galba Busato. -- Brasília, 2021.
76 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Agronomia) --
Universidade de Brasília, 2021.

1. Agronomia. 2. Bioestimulantes. 3. Nanopartículas. 4.
Morangueiro. I. Galba Busato, Jader, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BUTRUILLE, N. S. **Influência do método de aplicação e concentrações de Arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos de morangueiro.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2021, 76 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: NICOLE-MARIE DOS SANTOS BUTRUILLE

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE APLICAÇÃO E CONCENTRAÇÕES DE ARBOLINA NA PRODUTIVIDADE, FISILOGIA E QUALIDADE DE FRUTOS DE MORANGUEIRO.

GRAU: MESTRE ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Nicole-Marie Dos Santos Butruille

CPF: 052.014.871-14

Endereço: SMPW, quadra 04, conjunto 06, lote 04, casa "H".

Tel.: (61) 99665-0702

Email: nicbut1606@gmail.com

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, Anita e Jean Marie, e à minha irmã, Denise, que me formaram como pessoa e sempre estão comigo, nos momentos bons e ruins.

Aos meus irmãos mais velhos, Jean Philippe e David, pelo apoio dado na minha jornada na agronomia e por sempre terem sido uma inspiração e referência na profissão que escolhi.

À UnB e à FAV pela grande oportunidade dada, e à CAPES pela bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Jader, pelos ensinamentos, apoio e paciência durante todo esse período.

À Professora Alessandra pelo acolhimento e orientação em diversos momentos.

Aos Professores Ernandes Alencar e Thomas Williams por me receberem em seus laboratórios e por toda a atenção que me deram nas análises.

Ao pessoal da Embrapa Hortaliças por sempre me receberem de portas abertas e ajudarem em momentos importantes.

Aos amigos do Laboratório de Química do solo, Gabriel, Júlio, Gabriela, Jefferson, Marcela, Sâmia e Felícia por toda a ajuda e por alegrarem essa jornada.

Aos amigos Daniel Salas, Andréia e Eduarda pelo companheirismo e ajuda no experimento.

Aos amigos da pós-graduação Jhon Kenedy, Jóisman e Ana Cláudia pelo esforço conjunto em um trabalho importante e pelas várias conversas interessantes.

A todos os meus amigos queridos, que estão sempre comigo, mesmo à distância e em momentos difíceis.

Gratidão!

RESUMO

A agricultura do século 21 enfrenta o desafio de atender à crescente demanda por alimentos com eficiência no uso de recursos e impactos ambientais reduzidos. Nesse sentido, o uso de nanomateriais como bioestimulantes vegetais tem mostrado resultados promissores. Entre eles a Arbolina, produto à base de nanopartículas de carbono do tipo “Carbon Dots”, desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Brasília em parceria com a Embrapa Hortaliças, apresenta um grande potencial de uso na agricultura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adição de soluções com diferentes concentrações de Arbolina e formas de aplicação sobre a produtividade, fisiologia e qualidade dos frutos de morangueiro híbrido (*Fragaria x ananassa* Duch) cv. “Portola”. Para isto, um experimento fatorial 2x6 com duas formas de aplicação (via pulverização foliar e via substrato) e seis concentrações de Arbolina (0, 20, 40, 80, 160 e 320 mg L⁻¹) foi instalado em casa-de-vegetação. Foram medidos parâmetros relacionados às trocas gasosas e à fotossíntese, pigmentos fotossintéticos e açúcares solúveis das folhas dos morangueiros; assim como dados biométricos, qualidade físico-química e composição nutricional dos morangos. Considerando a média de todas as concentrações, a produtividade do tratamento com a aplicação de Arbolina via substrato foi 21,9% maior do que da aplicação via pulverização foliar. A produtividade (frutos planta⁻¹) aumentou 41% na aplicação de Arbolina, via substrato, na concentração ótima modelada de 155,6 mg L⁻¹, em relação ao controle. A maior parte dos parâmetros de qualidade e composição dos morangos não foi alterada com adição da Arbolina, com exceção do teor de lipídios, que foi até 62% menor nas três maiores concentrações utilizadas. Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos com relação aos parâmetros fisiológicos analisados. Com as evidências experimentais obtidas foi permitido se chegar à conclusão de que a aplicação via substrato de Arbolina em morangueiro é capaz de aumentar a produtividade, com pouca alteração na qualidade dos morangos.

Palavras-chave: Carbon Dots, bioestimulante vegetal, nanopartícula, biometria, fotossíntese e nutrição.

ABSTRACT

21st century agriculture faces the challenge of meeting the growing demand for food with resource efficiency and reduced environmental impacts. In this sense, the use of nanomaterials as plant biostimulants has shown promising results. Among them, Arbolina, a product based on carbon nanoparticles of the “Carbon Dots” type, developed by researchers at the University of Brasília in partnership with Embrapa Hortaliças, has great potential for use in agriculture. This study aimed to evaluate the effects of adding solutions with different Arbolina concentrations and application forms on yield, fruit quality and physiology of hybrid strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) cv. "Portola". For this, a 2x6 factorial experiment with two forms of application (substrate and foliar spray) and six concentrations of Arbolina (0, 20, 40, 80, 160 and 320 mg L⁻¹) was installed in a house. vegetation. Parameters related to gas exchange and photosynthesis, photosynthetic pigments and soluble sugars from strawberry leaves were measured, as well as biometric data, physicochemical quality and nutritional composition of strawberries. Considering the mean of all concentrations, the productivity of the substrate application of Arbolina treatment was 21.9% higher than that of the application of foliar spray. The productivity (fruits/plant) increased 41% in the substrate application of Arbolina, at the optimal modeled concentration of 155.6 mg L⁻¹, in relation to the control. Most of the strawberry quality and composition parameters were not significantly changed with the addition of Arbolina, except for the lipid content, which was up to 62% lower in the three highest concentrations used. No significant differences were found between treatments regarding the physiological parameters analyzed. With the experimental evidence obtained, it was possible to reach the conclusion that the application via substrate of Arbolina in strawberry can increase productivity, with little change in the quality of strawberries.

Key words: Carbon Dots, plant biostimulant, nanoparticle, biometrics, photosynthesis and nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição dos vasos com as plantas de morangueiro em casa de vegetação localizada na Estação Experimental de Biologia, Brasília, DF.....	30
Figura 2. Produtividade (A) e número de frutos por planta (B) de morango em função da aplicação de diferentes concentrações de Arbolina.	39
Figura 3. Massa (A), comprimento (B) e largura (C) de morango em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	40
Figura 4. Sólidos solúveis totais (SST) (A), acidez total (AT) (B), relação SST/AT (C) e pH (D) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	42
Figura 5. Luminosidade (L^* , A); saturação de cor (C^* , B), e tonalidade de cor (h^* , C, D) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	44
Figura 6. Teores de Umidade (A), Carboidratos (B), Proteínas (C), Lipídios (D) e Cinzas (E) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	45
Figura 7. Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (B), taxa de transpiração (C), eficiência de uso da água (D) e condutância estomática (E) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	47
Figura 8. Clorofila a (A), clorofila b (B) e Carotenoides (C) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	48
Figura 9. Açúcares solúveis totais de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar.....	49

LISTA DE TABELAS E ANEXOS

Tabela 1. Características físicas e químicas da Arbolina.....	29
Anexo 1. Composições das soluções nutritivas concentradas recomendadas para o cultivo hidropônico de morango	66
Anexo 2. Preparo das soluções nutritivas iniciais para o cultivo hidropônico de morango	66
Anexo 3. Análises de Variância da produtividade, parâmetros biométricos da produção de morangueiro em função de métodos de aplicação e concentrações de Arbolina	67
Anexo 4. Produtividade e número de frutos por planta de morango em função da aplicação de diferentes concentrações de Arbolina aplicada via substrato e via pulverização foliar.....	69
Anexo 5. Produtividade de morangueiro em função da aplicação de diferentes concentrações de Arbolina aplicada via substrato e via pulverização foliar	70
Anexo 6. Coeficientes de Correlação simples de Pearson entre os componentes da produção e fisiologia em relação à produtividade de morangueiro produzido sob cultivo protegido, em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato e via pulverização foliar	70
Anexo 7. Análises de Variância de parâmetros qualidade química de morangos produzidos em função de métodos de aplicação e concentrações de Arbolina	71
Anexo 8. Análises de Variância de parâmetros de coloração de morangos produzidos em função de métodos de aplicação e concentrações de Arbolina	72
Anexo 9. Análises de Variância de composição química de morangos produzidos em função de métodos de aplicação e concentrações de Arbolina	73
Anexo 10. Análises de Variância de parâmetros de fisiologia de morangueiro em função de métodos de aplicação e concentrações de Arbolina	74
Anexo 11. Análises de Variância de pigmentos e açúcares solúveis totais de morangueiro em função de métodos de aplicação e concentrações de Arbolina	76

LISTA DE SIGLAS ABREVIACOES

A - assimilação luida de CO₂

AOAC - *Association of Official Analytical Chemistry*

AST - açúcares solúveis totais

AT - acidez total titulável

C* - saturação de cor

CDs - Carbon Dots

Ci - concentração interna de CO₂

CNTs - nanotubos de carbono

DAT - dias após o transplântio

DMF - N,N – Dimetilformamida

E - transpiração

gs - condutância estomática

h* - tonalidade da cor

IRGA - analisador portátil de fotossíntese por radiação infravermelha

L* - luminosidade da cor

SST - sólidos solúveis totais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	PROBLEMÁTICA E RELEVÂNCIA.....	12
1.2	HIPÓTESES.....	14
1.3	OBJETIVO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DO MORANGUEIRO	15
2.2	BIOESTIMULANTES VEGETAIS - DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA	16
2.3	NANOPARTÍCULAS E NANOMATERIAIS EM PLANTAS.....	18
2.4	CARBON DOTS.....	20
2.4.1	Efeitos da aplicação de CDs em plantas.....	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	MATERIAL VEGETAL E TRANSPLANTIO	28
3.2	OBTENÇÃO DA ARBOLINA.....	28
3.3	LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	29
3.4	APLICAÇÕES DE ARBOLINA	30
3.5	FERTIRRIGAÇÃO E TRATOS CULTURAIS.....	31
3.6	PRODUTIVIDADE E AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS DOS FRUTOS.....	31
3.7	TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA.....	32
3.8	COLOROFLA E CAROTENOIDES	32
3.9	AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS NAS FOLHAS	33
3.10	QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DOS MORANGOS.....	34
3.10.1	Obtenção das amostras.....	34
3.10.2	pH	34
3.10.3	Acidez Total Titulável (ATT).....	34

3.10.4	Sólidos Solúveis Totais (SST).....	34
3.10.5	Avaliação da coloração dos frutos	35
3.11	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA POLPA DOS FRUTOS	35
3.11.1	Umidade	35
3.11.2	Teor de proteína bruta	35
3.11.3	Teor de lipídios	36
3.11.4	Teor de cinzas	37
3.11.5	Teor de carboidratos.....	37
3.12	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FRUTOS.....	38
4.2	PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, PIGMENTOS E AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS NAS FOLHAS	46
5	CONCLUSÃO.....	50
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
7	ANEXOS.....	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA E RELEVÂNCIA

Até o ano de 2050, a demanda por alimentos deverá aumentar em até 50% em função do crescimento populacional e do aumento de consumo (FAO, 2017). Com isso, para atender essa demanda em crescimento, projeta-se um maior consumo de água potável e energia, degradação ambiental e mudanças climáticas (RODRIGUES, S. *et al.*, 2017). Desse modo, em muitas partes do mundo, manejos alternativos nos cultivos agrícolas tem sido desenvolvidos com o objetivo de aumentar substancialmente a produção de alimentos, mas com impactos ambientais reduzidos, uma abordagem conhecida como “intensificação sustentável” (DAVIS *et al.*, 2016). Sob essa perspectiva, algumas soluções envolvem a redução do desperdício de alimentos, a moderação das dietas e o aumento da eficiência no uso de recursos (FOLEY *et al.*, 2011).

Em busca desse objetivo, nas últimas três décadas, diversas inovações tecnológicas foram propostas. Entre elas, o uso de bioestimulantes do crescimento vegetal apresenta-se como alternativa promissora (ROUPHAEL; COLLA, 2020). Bioestimulantes vegetais são substâncias ou microrganismos aplicadas às plantas com o objetivo de aumentar a eficiência nutricional, a qualidade das culturas e/ou a tolerância à estresses bióticos e abióticos, independentemente do seu conteúdo de nutrientes (DU JARDIN, 2015). Substâncias húmicas, extratos botânicos e de algas, hidrolisados de proteínas e outros compostos nitrogenados, quitosana, alguns compostos inorgânicos, além de microrganismos benéficos compõem, atualmente, as principais categorias de bioestimulantes (DU JARDIN, 2015).

Recentemente, contudo, uma nova categoria de bioestimulantes foi proposta: a das nanopartículas e nanomateriais (JUÁREZ-MALDONADO *et al.*, 2019). Estes são comumente definidos como materiais com pelo menos uma dimensão menor que 100 nm, que possuem

propriedades que diferem de partículas maiores de mesma composição química (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDS, 2017). Uma série de trabalhos tem demonstrado que esses materiais de dimensões reduzidas são capazes de estimular o crescimento de plantas, aumentar a tolerância a estresses bióticos e abióticos e, ainda, a qualidade do produto vegetal quando aplicados em pequenas quantidades, via solução nutritiva ou pulverização foliar (CHOUDHARY *et al.*, 2017; MASWADA *et al.*, 2020; ZAHEDI; KARIMI; TEIXEIRA DA SILVA, 2020; ZHAO, L. *et al.*, 2020).

Dentre esses materiais, os Carbon dots (CDs), partículas de carbono de diâmetros de até 10 nm, tem se destacado devido à sua baixa toxicidade, fotoluminescência, alta solubilidade em água, biodegradabilidade, além de serem produzidos a partir de matérias-primas abundantes e de baixo custo (LI, Y. *et al.*, 2020a; ZHENG, X. *et al.*, 2015). Devido à essas propriedades, os CDs apresentam grande potencial para uso agrícola, com resultados que incluem a maior tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, maior capacidade de absorção de nutrientes, maior taxa de fotossíntese, entre outros, os quais podem estimular o crescimento e produtividade das lavouras (LI, Hao *et al.*, 2018, 2019; LI, Y. *et al.*, 2020b; ZHENG, Y. *et al.*, 2017a).

Nos últimos anos, pesquisadores da Universidade de Brasília em parceria com a Embrapa Hortaliças desenvolveram um produto a base de nanopartículas de CDs que tem demonstrado resultados promissores. A Arbolina é obtida a partir de matéria-prima renovável e resultados preliminares demonstraram que ela produz efeitos estimulantes em diferentes plantas de interesse agrícola, tais como milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), soja (*Glycine max*) e eucalipto (*Eucalyptus spp.*). Contudo, resultados que englobem todo o ciclo da cultura, as formas de aplicação mais eficientes e as concentrações mais adequadas precisam ser mais bem exploradas. Além disso, até o momento da confecção do presente trabalho, não foi

possível identificar estudos já publicados com a aplicação estimulantes à base de CDs na cultura do morangueiro, que cresce em importância econômica e social no Brasil e no mundo.

1.2 HIPÓTESES

- Há diferença na resposta das plantas de morangueiro (produtividade, biometria e qualidade dos frutos, parâmetros relacionados às trocas gasosas e à fotossíntese do morangueiro) em função da forma de aplicação (via substrato e via pulverização foliar) e concentrações (0, 20, 40, 80, 160, 320 mg L⁻¹) de Arbolina.

1.3 OBJETIVO

- Avaliar os efeitos da adição de soluções com diferentes concentrações de Arbolina, aplicada via pulverização foliar ou via substrato, sobre a produtividade, a qualidade dos frutos, os parâmetros relacionados às trocas gasosas e à fotossíntese do morangueiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DO MORANGUEIRO

O morangueiro cultivado (*Fragaria x ananassa* Duch) é um híbrido entre duas espécies americanas que foram levadas à Europa no século XVIII, *F. virginiana* e *F. chiloensis* (BRINGHURST, 2019). É uma planta da família *Rosaceae*, assim como a macieira (*Malus domestica*), o pessegueiro (*Prunus persica*) e as framboesas (*Rubus idaeus*) (LISTON; CRONN; ASHMAN, 2014). O que conhecemos como morango é, na verdade, um pseudofruto, que corresponde ao receptáculo carnosos da planta, sendo que os frutos verdadeiros são as pequenas pontuações que existem em volta deste, chamados de aquênios (VERGAUWEN; DE SMET, 2019). Podem ser consumidos frescos ou processados, como sucos, geleias e doces e possuem altos teores de vitamina C, folato e compostos fenólicos (GIAMPIERI *et al.*, 2012).

A produção mundial de morango cresceu cerca de 40% na última década, alcançando 8,9 milhões de toneladas em 2019 (FAO, 2019). A China desponta como principal produtor, com 3,2 milhões de toneladas/ano, o que corresponde a 36% da produção mundial (FAO, 2019). Outros grandes produtores são os Estados Unidos, com 1 milhão de toneladas/ano, México, com 861,3 mil toneladas/ano e Turquia, com 486,7 mil toneladas/ano (FAO, 2019).

No Brasil, a produção anual quase duplicou entre 2006 a 2017, passando de 72.245 para 139.508 toneladas, que são produzidos em 12.955 estabelecimentos (IBGE, 2017, 2006). Os principais estados produtores são Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Paraná, Espírito Santo, Santa Catarina, Distrito Federal e São Paulo (IBGE, 2017).

O cultivo do morangueiro no Brasil se dá, principalmente, com o uso de *mulching*, em campos abertos ou sob túnel baixo. Contudo, o sistema “sem solo” ou hidropônico aumenta a cada ano (FAGHERAZZI *et al.*, 2017). Nesse caso, o morangueiro é plantado em recipientes com ou sem substrato, dispostos sobre bancadas de um ou mais níveis, acoplados a um sistema

de fertirrigação, dentro de um ambiente protegido (BORTOLOZZO *et al.*, 2007). Esse tipo de sistema apresenta melhor utilização do espaço da propriedade, menor pressão de doenças, melhor ergonomia de trabalho, maior período de colheita, além de maior eficiência de uso da água e de fertilizantes, o que contribui para a sustentabilidade do processo (BORTOLOZZO *et al.*, 2007; DEPARDIEU *et al.*, 2016).

O Distrito Federal (DF) ocupa a sexta posição entre os produtores nacionais de morango. São mais de 300 propriedades rurais que desenvolvem a atividade, principalmente familiares, que geram mais de 1.500 empregos diretos por ano, chegando a um valor bruto de produção de R\$ 81,7 milhões anuais (EMATER-DF, 2020b; IBGE, 2017). O principal polo produtor no DF é a região de Brazlândia, que concentra 97% das áreas destinadas à produção do morangueiro (EMATER-DF, 2020a). Brazlândia está localizada à altitude de 1200 m e apresenta carência de chuvas no período de maior produção (julho a setembro) e alta amplitude térmica diária, o que influencia positivamente no cultivo e na qualidade do fruto (FAGHERAZZI *et al.*, 2017).

Trata-se, portanto, de uma cadeia olerícola importante para o DF e em crescimento no mundo todo, capaz de gerar emprego e renda, além de incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias de produção em busca de uma alta produtividade aliada a um manejo mais sustentável.

2.2 BIOESTIMULANTES VEGETAIS - DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA

O termo “bioestimulantes vegetais” recebeu diferentes definições ao longo dos anos. Kauffman *et al.* (2007) definiram bioestimulantes como materiais que não são fertilizantes, mas que promovem o crescimento de plantas, quando aplicados em pequenas quantidades. Em 2012 e 2015, Du Jardin propôs definições de bioestimulantes com base numa extensa revisão de artigos e *status* regulatório dos Estados Unidos e da União Europeia (UE) (DU JARDIN, 2015, 2012). A mais recente definição apresentada pelo autor foi: “Um bioestimulante vegetal é

qualquer substância ou microrganismo aplicado às plantas com o objetivo de melhorar a eficiência nutricional, a tolerância à estresses abióticos e/ou características de qualidade da cultura, independentemente do seu teor de nutrientes” (DU JARDIN, 2015). O autor ainda propôs algumas categorias de bioestimulantes, tais como: i) ácidos húmicos e fúlvicos; ii) hidrolisados de proteínas e outros compostos nitrogenados; iii) extratos de algas e botânicos; iv) quitosana e outros biopolímeros; v) compostos inorgânicos; vi) fungos benéficos e vii) bactérias benéficas (DU JARDIN, 2015).

Recentemente, a UE, sob a regulação 2019/1009, definiu que “Um bioestimulante de planta deve ser um produto fertilizante cuja função é estimular processos de nutrição de plantas independentemente do conteúdo de nutrientes no produto, com o único objetivo de melhorar uma ou mais das seguintes características da planta ou da rizosfera da planta: i) eficiência do uso de nutrientes, ii) tolerância ao estresse abiótico, iii) características de qualidade ou iv) disponibilidade de nutrientes confinados no solo ou rizosfera” (EUROPEAN UNION, 2019).

No Brasil, a legislação não contempla o termo “bioestimulante” e produtos com essa natureza, como as substâncias húmicas, aminoácidos e extrato de algas, são regulamentados pela legislação de fertilizantes (Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004), enquadrando-se como “Biofertilizantes” (BRASIL, 2006). No referido Decreto, biofertilizante é definido como: “Produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante” (BRASIL, 2006). A Instrução Normativa (IN) nº 61, de 8 de julho de 2020, ainda subdivide esse tipo de produto nos seguintes grupos: i) biofertilizante de aminoácidos; ii) biofertilizante de substâncias húmicas; iii) biofertilizante de extratos de algas ou algas processadas; iv) biofertilizante de extratos vegetais; v) biofertilizante composto e vi) outros biofertilizantes que venham a ser aprovados pela pesquisa brasileira oficial ou credenciada (BRASIL, 2020). Observa-se que,

diferentemente da definição de bioestimulantes de Du Jardin (2015), fungos e bactérias benéficos são excluídos dessa classe de produtos, sendo contemplados pela classe dos inoculantes (BRASIL, 2006).

O mercado mundial de bioestimulantes foi avaliado em 2,5 bilhões de dólares em 2019, e estima-se que atinja 5,35 bilhões até 2027, apresentando uma taxa de crescimento anual de 10,65% no período desta projeção (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2020). Além disso, é grande o interesse científico pelo tema e uma rápida pesquisa pelo termo “plant biostimulants” no Google Acadêmico, englobando os últimos 10 anos, retorna aproximadamente 15.400 resultados, entre artigos científicos e livros e, ainda, mais artigos pesquisando-se termos relacionados (*e.g.*, seaweed extracts, humic substances, PGPR, AMF e chitosan) (GOOGLE ACADÊMICO, 2021).

2.3 NANOPARTÍCULAS E NANOMATERIAIS EM PLANTAS

Com o avanço da nanotecnologia na agricultura, uma nova classe de bioestimulantes vem sendo proposta, a dos nanomateriais e nanopartículas (JUÁREZ-MALDONADO *et al.*, 2019). Nanomateriais são comumente definidos como materiais com pelo menos uma dimensão na nanoescala entre 1 e 100 nm, os quais possuem características físico-químicas que os diferem de objetos maiores de mesma composição química (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDS, 2017). Nanomateriais que possuem todas as suas dimensões na nanoescala e que os comprimentos do eixo maior e menor não diferem significativamente se enquadram como nanopartículas (INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDS, 2017). Categorias importantes desses materiais são os nanomateriais de carbono [*e.g.*, fulerenos, nanotubos de carbono (CNTs), grafeno e CDs], nanopartículas de metais, semi-metais e não-metais (*e.g.*, ouro, prata, cobre, silício, óxidos de zinco e de ferro) e ainda os de natureza orgânica e polimérica, como a quitosana (KHAN; SAEED; KHAN, 2019; MUKHERJEE *et al.*,

2016). As dimensões reduzidas desses materiais resultam em propriedades elétricas, mecânicas e ópticas únicas, as quais podem ser utilizadas para o desenvolvimento de materiais voltados para a captação de energia, eletrônica, mecânica, farmácia, medicina e agricultura (DUHAN *et al.*, 2017; KHAN; SAEED; KHAN, 2019).

Na agricultura, a nanotecnologia apresenta-se como potencial ferramenta para o desenvolvimento de produtos destinados à proteção das plantas, contra estresses abióticos, engenharia genética e nutrição das plantas (CHHIPA, 2017; LV *et al.*, 2020; SHARMA; DEWANJEE; KOLE, 2016; ZAHEDI; KARIMI; TEIXEIRA DA SILVA, 2020; ZHAO, L. *et al.*, 2020).

A aplicação de nanopartículas via solo, tratamento de sementes ou pulverização foliar tem mostrado efeitos positivos sobre o crescimento de plantas (ZHAO, L. *et al.*, 2020). Por exemplo, a aplicação de diferentes concentrações de nanopartículas de ferro, óxido de zinco, cobre e cobalto via tratamento de sementes aumentou a germinação das sementes e o crescimento das plantas de soja (HOE *et al.*, 2018). Nanopartículas de prata são capazes de melhorar a germinação das sementes, a emergência das plântulas e a produtividade de melancia (*Citrullus lanatus*) (até 35,6% comparado ao controle) quando aplicadas via condicionamento osmótico das sementes (ACHARYA *et al.*, 2020). Nanopartículas de óxido de zinco aplicadas no solo aumentaram a tolerância à seca e a aquisição de nitrogênio e potássio em sorgo (*Sorghum bicolor*), o que resultou em maior produtividade (22–183%) e qualidade dos grãos quando as plantas foram cultivadas em condições de estresse hídrico (DIMKPA *et al.*, 2019). Já nanopartículas de silício, aplicadas de forma conjunta no solo e nas folhas, aumentaram o número de flores, o seu diâmetro e massas fresca e seca em calêndula (*Tagetes erecta* L.), assim como o período de florescimento (ATTIA; ELHAWAT, 2021).

A aplicação de nanomateriais de carbono também tem demonstrado efeitos benéficos no desenvolvimento de cultivos agrícolas. Lahiani *et al.* (2013), por exemplo, observaram que

CNTs aplicados às sementes aumentaram a germinação e crescimento de soja, milho e cevada (*Hordeum vulgare*) e relacionaram esses efeitos à expressão de genes de canais de água localizados em sementes (aquaporinas). CNTs aplicados via sementes também estimularam a germinação e crescimento de arroz (*Oryza sativa*), assim como aumentos em parâmetros fisiológicos como a condutância estomática, a concentração de clorofila e a eficiência fotossintética, resultando em uma maior produtividade (até 25%) (JOSHI *et al.*, 2020). Já outro tipo de nanomaterial de carbono, o fulerol [C₆₀(OH)₂₀], aplicado em sementes de melão-de-são caetano (*Momordica charantia*), aumentou em 54% a biomassa das plantas, resultando em um aumento de 128% na produtividade e de até 91% em compostos medicinais (KOLE *et al.*, 2013). O fulerol, quando aplicado via foliar, aumentou a tolerância ao estresse hídrico em beterraba (*Beta vulgaris*) e em colza (*Brassica napus*) (BORIŠEV *et al.*, 2016; XIONG *et al.*, 2018).

É importante observar, contudo, que os efeitos bioestimulantes de nanomateriais e nanopartículas dependem da concentração aplicada e que maiores concentrações podem acarretar toxidez tanto nas plantas quanto na microbiota do solo (KANWAR *et al.*, 2019; RAFFI; HUSEN, 2019; VERMA *et al.*, 2019).

2.4 CARBON DOTS

Os CDs, também chamados de Dots de Carbono, Quantum Dots de Carbono, Nanodots de Carbono ou Quantum Dots de grafeno, são outra classe de nanomateriais que também tem despertado grande interesse para o desenvolvimento de produtos (HONG *et al.*, 2015). Foram descobertos em 2004, quando Xiaoyou Xu *et al.* (2004), ao fazerem uma eletroforese em gel de CNTs, isolaram um tipo de impureza que chamaram de “carbono fluorescente”, que posteriormente passou a ser sintetizado individualmente como CDs. Os CDs são partículas de geralmente até 10 nm de diâmetro, compostas basicamente por carbono, oxigênio e nitrogênio,

sendo que a percentagem desses átomos é variável de acordo com o tipo de síntese e dos reagentes utilizados (LI, Haitao *et al.*, 2012). São materiais luminescentes que ainda podem funcionar como doadores ou aceptores de elétrons (WANG, X. *et al.*, 2009). Os CDs podem ser obtidos empregando-se diversas fontes de carbono, tais como glicose, glicerol, ácido cítrico, grafite, além de outros nanomateriais como o fulereno, o grafeno e os CNTs (LIU, C. *et al.*, 2011; LU *et al.*, 2011; SCHNEIDER *et al.*, 2017; XU, Xiaoyou *et al.*, 2004; YANG, Z. *et al.*, 2011; ZHAO, Q. *et al.*, 2008). Podem também ser sintetizados, ainda, a partir de esterco de ruminantes, sucos de laranja, restos de comida, mel, bagaço de malte, pólen e cabelo (D'ANGELIS DO E. S. BARBOSA *et al.*, 2015; LIU, S. *et al.*, 2014; PARK *et al.*, 2014; RODRIGUES, C. *et al.*, 2015; SAHU *et al.*, 2012; WU *et al.*, 2013; ZHENG, Y. *et al.*, 2017a).

A síntese de CDs pode ser feita por diferentes métodos, que são divididos em químicos ou físicos. Entre os métodos químicos estão a síntese eletroquímica, a oxidação química, a síntese por micro-ondas e a síntese hidrotermal (HOU *et al.*, 2015; LI, Haitao *et al.*, 2012; LIU, C. *et al.*, 2011; QIAO *et al.*, 2010; YANG, Z. *et al.*, 2011). Como exemplo de métodos físicos estão a ablação por laser e o tratamento de plasma (CALABRO; YANG; KIM, 2018; WANG, J.; WANG; CHEN, 2012).

As diferentes fontes de carbono e métodos de síntese influenciam nas propriedades dos CDs, podendo gerar tamanhos, proporção de elementos químicos constituintes e graus de oxidação da sua superfície diferentes nos materiais obtidos (LI, Haitao *et al.*, 2012). Fluorescência, alta estabilidade química, biocompatibilidade, elevada capacidade de doação ou recepção de elétrons, baixa toxicidade e alta solubilidade em água são propriedades comuns aos CDs (HONG *et al.*, 2015; LI, Haitao *et al.*, 2012; WANG, X. *et al.*, 2009). Devido a elas, os CDs podem ser aplicados em muitas áreas, como no desenvolvimento de sensores, no carregamento de fármacos e em dispositivos fotovoltaicos (COSTAS-MORA *et al.*, 2014; D'ANGELIS DO E. S. BARBOSA *et al.*, 2015; HUANG *et al.*, 2014; WANG, Q. *et al.*, 2013).

Tais propriedades também estimulam a sua aplicação na agricultura, juntamente com o seu potencial efeito no crescimento e produtividade de culturas agrícolas (LI, Y. *et al.*, 2020a).

2.4.1 Efeitos da aplicação de CDs em plantas

Os CDs só começaram a receber atenção como possíveis estimulantes do crescimento de plantas a partir do ano 2015, com o estudo pioneiro de Tripathi e Sarkar (2015) em plântulas de trigo (*Triticum* spp.). Desde então, vários estudos buscaram evidenciar como essas nanopartículas são absorvidas e transportadas pelas plantas e, também, como poderiam afetar o seu crescimento, nutrição e fisiologia.

2.4.1.1 Formas de Absorção e Transporte

A fluorescência de CDs facilita o seu rastreamento em células vivas vegetais e técnicas como espectroscopia Raman, microscopia eletrônica de transmissão e emissão de fluorescência tem revelado a absorção de CDs pelas plantas (LI, Y. *et al.*, 2020a). Tripathi e Sarkar (2015) demonstraram por meio de imagens de microscopia de fluorescência que CDs foram absorvidos por raízes de plântulas de trigo e que chegaram aos vasos condutores horas após a aplicação. Além disso, observaram o seu acúmulo na epiderme e na região vascular da raiz, por espectroscopia Raman (TRIPATHI; SARKAR, 2015). W. Li *et al.* (2016) e M. Zhang *et al.* (2018a) também observaram comportamento semelhante em estudos com feijão mungu (*Vigna radiata*), empregando microscopia confocal e eletrônica. Esses autores demonstraram que os CDs são absorvidos pelas raízes e transportados até as folhas pelos vasos condutores por via apoplástica, se acumulando nos vasos e espaços intercelulares.

Y. Zheng *et al.* (2017a) utilizaram avaliações macroscópicas e microscópicas sob excitação com luz UV para demonstrar a forte emissão de fluorescência azul em plantas de

alface (*Lactuca sativa*) tratadas com solução de 1 mg mL⁻¹ de CDs, em meio hidropônico. Esta fluorescência foi exibida nas nervuras foliares, no caule e principalmente nas raízes, assim como na superfície das células, indicando entrada dos CDs pela parede celular (ZHENG, Y. *et al.*, 2017a). Estes resultados indicam que os CDs podem ser transportados da solução nutritiva para os vasos condutores tanto por vias apoplástica quanto simplástica, junto com a água, por corrente transpiratória (ZHENG, Y. *et al.*, 2017a). Já Hao Li *et al.* (2018) e H.Wang *et al.* (2018) utilizaram células de cebola (*Allium cepa*) para relatar que CDs (~5nm) entraram nas células e se acumulam no núcleo, indicando que CDs poderiam gerar modificações cromossômicas ou regulações gênicas nas plantas (LI, Hao *et al.*, 2018).

Poucos estudos tratam da absorção via foliar de CDs. Recentemente, Hu *et al.* (2020) investigaram como o tamanho e o potencial ζ (indicador da carga superficial) de nanopartículas hidrofílicas (CDs, CeO₂ e SiO₂) influenciam a eficiência de absorção foliar e o transporte em algodão (*Gossypium hirsutum*) (dicotiledônea) e milho (monocotiledônea). Descobriram que nanopartículas com tamanhos menores que 20 nm e 11 nm, respectivamente para algodão e milho, e carga positiva, exibiram as maiores eficiências de absorção foliar em células-guarda, espaço extracelular e cloroplastos (HU *et al.*, 2020). Além disso, observaram que formulações de CDs com surfactantes (Silwet L-77) foram cruciais para melhorar a adesão e rápida absorção (<10 min) das nanopartículas pelos estômatos (HU *et al.*, 2020). Xiaokai Xu *et al.* (2020) empregaram álcool polivinílico adesivo (PVA) para encapsular CDs fluorescentes, como forma de prolongar a sua retenção foliar, e observaram que a fluorescência se concentrava, sobretudo, nas células-guarda, indicando a entrada dos CDs pelos estômatos (XU, Xiaokai *et al.*, 2020). Além disso, a fluorescência se manteve mesmo após a lavagem das folhas com água, evidenciando a liberação controlada dos CDs pelas cápsulas de PVA.

Com base no exposto, é possível verificar que os CDs podem ser absorvidos tanto pelas raízes quanto pelas folhas das plantas. Contudo, características como tamanho e cargas

superficiais dos CDs, assim como a formulação da solução e a concentração aplicada, podem influenciar fortemente nas respostas vegetais.

2.4.1.2 Efeitos sobre o crescimento, nutrição e fisiologia

A superfície dos CDs contém grupos hidrofílicos ($-OH$ e $-COOH$) que se ligam a moléculas de água ou íons, permitindo que esses entrem na planta junto com os CDs (LI, Y. *et al.*, 2020a). Além disso, a alta densidade de cargas superficiais, comuns às nanopartículas, permite a interação com grupos específicos na superfície celular, podendo alterar o potencial elétrico transmembrana e modificar a atividade de proteínas integrais de membrana (JUÁREZ-MALDONADO *et al.*, 2019).

Os primeiros efeitos desses processos podem ser vistos na germinação de plantas. Sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum*), arroz, feijão mungu e *Arabidopsis thaliana* conseguiram absorver até 143% mais água após serem tratadas com soluções contendo CDs, acelerando a germinação (LI, Hao *et al.*, 2018, 2019; ZHANG M. *et al.*, 2018a). Similarmente, Kou *et al.* (2021) observaram que CDs aumentaram o conteúdo de água, aceleraram a germinação e promoveram a alongação do hipocótilo e da radícula em tomateiro. Esses eventos foram relacionados à expressão diferenciada de genes que codificam proteínas de aquaporina, que permitem transportar água, gases, nutrientes e outras pequenas moléculas, além de regular a abertura dos estômatos, a resposta a estresses e até o crescimento reprodutivo (KOU *et al.*, 2021; MAUREL *et al.*, 2015).

Outra decorrência desses processos são mudanças na absorção de nutrientes. Y. Zheng *et al.* (2017b), por exemplo, observaram que a adição de CDs ($3,5 \text{ mg L}^{-1}$) via hidropônica em couve-da-Malásia (*Brassica chinensis* var. *parachinensis*) aumentou a absorção de potássio (42%), inibiu o acúmulo de nitratos (-24,96%) e aumentou os açúcares solúveis das folhas (126%), resultando em aumentos da massa fresca de raízes (66%) e da parte aérea (69%).

Yang *et al.* (2019), por sua vez, constataram que CDs aplicados via solução nutritiva (50 mg L^{-1}) aumentaram a taxa de transporte de ferro em melão (*Cucumis melo*) (134%), em solução contendo $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro. Já Hao Li *et al.* (2019) mostraram que CDs conseguem adsorver vários íons metálicos em solução e que a sua aplicação (560 mg L^{-1}) em *Arabidopsis thaliana* aumentou o conteúdo desses íons na planta.

A aplicação de CDs também provoca respostas fisiológicas relacionadas à regulação osmótica das plantas (TAN *et al.*, 2021; ZHENG, Y. *et al.*, 2017a). Y. Zheng *et al.* (2017a) relataram aumentos na condutância estomática (100%) e a taxa transpiratória (40%) de alface em tratamentos com CDs (10 a 30 mg L^{-1}) via hidroponia. A massa seca das raízes aumentou em até 51% e a massa seca da parte aérea em até 48% nessa mesma faixa de concentrações (ZHENG, Y. *et al.*, 2017a). Já Tan *et al.* (2021) observaram aumentos de 56% e 18% nas condutâncias estomáticas de arroz e milho, respectivamente, e na taxa de assimilação líquida de carbono (56% e 16%, respectivamente) com a aplicação foliar de CDs (150 mg L^{-1}), obtendo um aumento de 20,9% na altura de milho e 4,8% na altura de arroz.

O fato de os CDs serem bons doadores e receptores de elétrons também gera respostas na fotossíntese das plantas. Chandra *et al.* (2014) propuseram a atividade desses compostos como intermediários no processo de transferência de elétrons da fotossíntese. Constataram que CDs fluorescentes funcionalizados com amina podem se conjugar fortemente sobre a superfície do cloroplasto e transferir elétrons para este, afetando a transferência de elétrons nas reações luminosas da fotossíntese (CHANDRA *et al.*, 2014). Plântulas de feijão tratadas com CDs apresentaram aumento de 10,4% na atividade do fotossistema I e uma taxa de transferência de elétrons 8,8% maior neste mesmo fotossistema, sem efeito no fotossistema II (WANG, H. *et al.*, 2018). Já aumentos de até 25% nas taxas de transporte de elétrons do fotossistema II de folhas de alface tratadas com CDs aplicados via solução nutritiva foram observados por W. Li *et al.* (2018).

Diversos estudos com a aplicação de CDs às plantas também relatam o aumento da atividade da enzima Ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO) (LI, Y. *et al.*, 2020a). A RuBisCO atua na primeira fase do ciclo de Calvin, catalisando a reação da ribulose-1,5-bifosfato com o dióxido de carbono, sendo essencial na fixação de carbono pela planta na forma de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 2017). Hao Li *et al.* (2018), por exemplo, observaram que a aplicação de CDs (560 mg L⁻¹) em cultivo hidropônico de arroz aumentou a atividade da enzima RuBisCO em 42% e a geração de carboidratos nas folhas em 60%. Em outros estudos com feijão mungu, *Arabidopsis thaliana* e a microalga *Chlorella vulgaris*, a atividade da RuBisCO e o acúmulo de carboidratos também aumentaram como resultado da aplicação de CDs (LI, Hao *et al.*, 2018, 2019; WANG, H. *et al.*, 2018; ZHANG M. *et al.*, 2018b).

Outra forma que CDs podem estimular a fotossíntese é baseada na propriedade dessas nanopartículas emitirem de fluorescência em diferentes comprimentos de onda, sob excitação em luz UV e, assim, podem funcionar como conversores de luz UV em luz azul ou vermelha, que podem ser utilizadas pelas plantas (LI, D. *et al.*, 2020; SAI *et al.*, 2018; WANG, X. *et al.*, 2009). Sai *et al.* (2018) injetaram CDs com emissão de luz azul, sob a irradiação de 6W de luz UV, em folhas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) e observaram aumento de 18% na taxa fotossintética. Já D. Li *et al.* (2020) observaram aumento de 28% na taxa de transferência de elétrons em folhas de alface tratadas com CDs emissivos na região de luz vermelho-distante, o que resultou em aumentos de 51,14% na massa fresca e 24,60% na massa seca das folhas. Recentemente, Y. Li *et al.* (2021) relataram que a aplicação via foliar de CDs (300 mg L⁻¹) com emissão de luz azul em arroz aumentou a taxa de transporte de elétrons (29,81%), a eficiência do fotossistema II (29,88%), o conteúdo de clorofila (64,53%) e a atividade da RubisCO (23,39%), resultando em maior altura (18,99%) e massa seca da parte aérea (64,31%) e de raízes (61,79%) (LI, Y. *et al.*, 2021).

Contudo, nem sempre os efeitos observados com a aplicação de CDs em plantas são positivos. Chen *et al.* (2016), por exemplo, observaram que a adição semanal de 1000 e 2000 mg L⁻¹ de CDs, via solução nutritiva, reduziram a massa seca de raízes de milho em 57 e 68%, respectivamente. A massa fresca da parte aérea foi reduzida em 38 e 72%, tendo os autores também reportado aumento no conteúdo de H₂O₂, peroxidação lipídica e atividade de enzimas antioxidantes na dose de 2000 mg L⁻¹. Recentemente, Yan *et al.* (2021) demonstraram que a adição de 40 mg L⁻¹ de CDs no meio nutritivo inibiu o crescimento da zona meristemática da raiz primária em *Arabidopsis thaliana*, evento que foi relacionado à redução da transcrição de genes associados à biossíntese de auxina, reparo de DNA e regulação do ciclo celular.

2.4.1.3 Efeitos na produtividade e qualidade das culturas

Os diversos efeitos de CDs na fisiologia e no crescimento de plantas podem resultar em aumentos na produtividade e qualidade de cultivos agrícolas (LI, Y. *et al.*, 2020a). Y. Zheng *et al.* (2017a) obtiveram aumento de até 60,31% em massa fresca de alface hidropônica com aplicação de CDs na solução nutritiva (30 mg L⁻¹). Além disso, os CDs reduziram o conteúdo de nitrato nas folhas em até 33%, sem afetar outros parâmetros de qualidade, tais como os teores de ácido ascórbico, açúcares solúveis e proteínas solúveis (ZHENG, Y. *et al.*, 2017a). Aumentos na produtividade de arroz (14,8%) e no conteúdo de carboidratos dos grãos (~100%) foram observados com aplicação de 560 mg L⁻¹ de CDs na solução nutritiva (LI, Hao *et al.*, 2018). Hao Li *et al.* (2019), aplicando a mesma dose de CDs na solução nutritiva, relataram aumentos similares (~20%) na produtividade de soja, tomateiro, berinjela (*Solanum melongena*), melancia, rabanete (*Raphanus sativus*), aipo (*Apium graveolens*) e repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Recentemente, Kou *et al.* (2021) relataram aumentos na produtividade de alface e tomateiro com a aplicação de CDs em diferentes concentrações (66 e 132 mg L⁻¹). Além disso, foram relatados aumentos nos teores de vitamina C e açúcares solúveis

das duas plantas e no teor de proteínas solúveis de tomate, para essas mesmas concentrações (KOU *et al.*, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAL VEGETAL E TRANSPLANTIO

Mudas de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) cultivar “Portola” foram importadas congeladas da Espanha, tendo sido adquiridas de um revendedor da região administrativa de Brazlândia, no DF, no mês de maio de 2020. As mudas foram acondicionadas por um dia em refrigerador a 5 °C e, posteriormente, permaneceram por 6 h à temperatura ambiente. Após, foram podadas em tamanho padrão (aproximadamente 5 cm de raízes) e imediatamente plantadas em bandejas plásticas contendo 50 células quadradas, as quais foram preenchidas com substrato Vivatto® (136 ml célula⁻¹). As mudas foram então aclimatadas por 14 dias em casa-de-vegetação, sendo posteriormente selecionadas por uniformidade de tamanho e transplantadas (uma muda por vaso) para vasos plásticos com capacidade para 3 L preenchidos com substrato Amafibra® tipo 98, à base de fibra de coco com as seguintes características: condutividade elétrica de 0,9 mS cm⁻¹; capacidade de retenção de água de 400 mL L⁻¹ de substrato e densidade de 150 kg m⁻³.

3.2 OBTENÇÃO DA ARBOLINA

Os CDs usados nesse experimento, de nome comercial Arbolina, foram produzidos pela empresa Krilltech S.A., São Paulo, SP, Brasil. O produto é um sólido preto quebradiço e solúvel em água. Com base na IN nº 25, de 23 de julho de 2009, a classificação na qual se enquadra a Arbolina é a de fertilizante organomineral classe A (BRASIL, 2009). As características físicas e químicas do produto estão sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas da Arbolina

Composição elementar	C: 61%	H: 6,3%	N: 21,3%	O: 11,4%
Teor de Carbono Orgânico Total	67%			
Formato	Esferoidal			
Tamanho	3,1 nm			
Composição da superfície	C: 67,4%	N:11,6%	O: 21%	
Grupos superficiais predominantes	C=O	C=N	C=C	O-H
Região de emissão máxima de luz	440 a 530 nm			

O produto também foi submetido a análise toxicológica. Em ensaio de viabilidade celular, usando células de pele humana (HCAT), o tratamento com 1 g L⁻¹ de Arbolina não diferiu do controle (RODRIGUES, C. *et al.*, não publicado). Em outro experimento com *zebrafish* (*Dano rerio*), peixe comumente utilizado para avaliar os efeitos nocivos de contaminantes em corpos hídricos, a viabilidade dos ovos do animal tratados com Arbolina (1,4 g L⁻¹) não diferiu do controle (RODRIGUES, C. *et al.*, não publicado). Em experimento com camundongos da linhagem balb/c, o tratamento com administração intraperitoneal de 10 mg kg⁻¹ de Arbolina não diferiu do controle quanto à marcadores bioquímicos da saúde do fígado e dos rins dos animais (RODRIGUES, C. *et al.*, não publicado).

3.3 LOCALIZAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi iniciado em junho de 2020, sendo conduzido em ambiente protegido (Figura 1), na Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília, localizado à altitude de 1.004 metros e coordenadas geográficas de 15°44'11" de latitude Sul e de 47°52'50" longitude a Oeste, onde permaneceu até novembro de 2020, totalizando 160 dias após o transplântio (DAT).

O experimento seguiu um esquema fatorial 2x6, com duas formas de aplicação: pulverização foliar e aplicação via substrato, e seis concentrações de Arbolina (0, 20, 40, 80, 160 e 320 mg L⁻¹), 6 repetições e delineamento em blocos casualizados, totalizando 72 parcelas. Cada parcela correspondeu a um vaso com uma única planta de morangueiro.



Figura 1. Distribuição dos vasos com as plantas de morangueiro em casa-de-vegetação, localizada na Estação Experimental de Biologia, Brasília, DF.

3.4 APLICAÇÕES DE ARBOLINA

As soluções contendo Arbolina foram aplicadas nas plantas de morangueiro a cada 14 dias, sendo a primeira aplicação realizada aos 16 dias após o transplântio (DAT) e a última aos 156 DAT, totalizando 10 aplicações. O preparo das soluções foi feito no mesmo dia da aplicação com a pesagem da formulação em pó de Arbolina em balança de precisão e dissolução fracionada em água para a obtenção das concentrações de aplicação. Nos tratamentos que avaliaram a adição da Arbolina via substrato, foram aplicados 200 mL de solução por planta, abaixo das folhas e na projeção da copa. Já nos tratamentos com aplicação via pulverização

foliar, foram pulverizados aproximadamente 50 mL de solução por planta, por aplicação, com pulverizador manual com capacidade de 400 mL.

3.5 FERTIRRIGAÇÃO E TRATOS CULTURAIS

As plantas foram fertirrigadas com solução nutritiva específica para a cultura do morango, mantendo-se o controle do pH (entre 5,6 e 6,5) e condutividade elétrica (1,2 mS na fase vegetativa e 1,5 mS na fase reprodutiva, de acordo com Furlani e Júnior (2004) (Anexo 1 Anexo 2). A fertirrigação foi manual, com aplicação de 250 mL por planta uma vez ao dia, com exceção nos dias das aplicações de Arbolina, em que não houve fertirrigação. Pulverizações com soluções contendo ácido bórico ($0,5 \text{ g L}^{-1}$) e nitrato de cálcio ($1,3 \text{ g L}^{-1}$) foram feitas quando detectados sintomas de deficiência visuais, no terço final do experimento. Podas de estolões foram feitas semanalmente, assim como a retirada de folhas senescentes. Uma caixa de abelhas jataí foi colocada na casa-de-vegetação para polinização do morangueiro.

3.6 PRODUTIVIDADE E AVALIAÇÕES BIOMÉTRICAS DOS FRUTOS

As colheitas de morangos maduros foram feitas uma ou duas vezes por semana, conforme a necessidade, com início aos 53 DAT e final aos 154 DAT, totalizando 101 dias contabilizados de produção. Foram considerados como maduros os morangos com no mínimo 75% de cor vermelha brilhante na superfície do fruto (CANTILLANO; DA SILVA, 2010). A produtividade final, correspondente à soma de todas as colheitas por planta, foi expressa em g planta^{-1} . Os morangos de cada parcela foram contados e pesados separadamente em balança de precisão (BEL Engineering, S2202). As medidas de comprimento (eixo longitudinal) e largura (eixo transversal) foram feitas com paquímetro digital (Stainless Hardened, Aço inox 150 mm / 6"), em amostra aleatória de 3 morangos por parcela, por colheita.

3.7 TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA

Aos 158 DAT, as plantas foram avaliadas quanto à assimilação líquida de CO₂ (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (C_i, $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), empregando-se um analisador portátil de fotossíntese por radiação infravermelha [IRGA (LI-COR, LI-6400XT)]. A eficiência de uso da água (EUA) foi quantificada pela relação (A/E). As medições foram feitas em folhas adultas e sadias localizadas no terço mediano das plantas, no período da manhã. Cada medida foi obtida 3 vezes para cada folha, com intervalos de 1 segundo entre as marcações. A concentração de CO₂ injetada artificialmente na câmara de assimilação do IRGA foi fixada em $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$; a densidade de fluxo de ar em $300 \mu\text{mol s}^{-1}$ e intensidade luminosa total em $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

3.8 CLOROFILA E CAROTENOIDES

A medida da clorofila foi realizada pelo método proposto por Moran e Porath (1980), empregando-se o extrator N,N – Dimetilformamida (DMF). Discos de 6 mm das folhas foram coletados aos 160 DAT, colocados em tubos de 2 mL de cor âmbar contendo 1,5 mL de DMF gelado (3 discos por tubo) com posterior repouso por 48 h, a 4 °C, até a extração completa dos pigmentos. A determinação foi feita em espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Scientific, Evolution 200 series) com resolução de 1 nm, nos comprimentos de onda de 663,8 nm e 646,8 nm para clorofilas a (equação (1)) e b (equação (2)). As medidas para carotenoides (Cx) foram realizadas no mesmo extrato, em 480 nm, conforme a equação 3 (WELLBURN, 1994).

$$\text{Chl}_a = 11,65A_{663,8} - 2,69A_{646,8} \quad (1)$$

$$\text{Chl}_b = 20,81A_{646,8} - 4,53A_{663,8} \quad (2)$$

$$C_x = \frac{1000A_{480} - 0.89Chl_a - 52,02Chl_b}{245} \quad (3)$$

Em que:

Chl_a = Clorofila a

Chl_b = Clorofila b

C_x = caroteinoides

$A_{663,8}$ = absorbância a 663,8 nm;

$A_{646,8}$ = absorbância a 646,8 nm;

A_{480} = absorbância a 480 nm.

Todos os componentes de clorofila e carotenoides foram expressos em $\mu\text{g mL}^{-1}$.

3.9 AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS NAS FOLHAS

Amostras de folhas saudáveis e completamente expandidas foram coletadas aos 160 DAT e imediatamente acondicionadas em nitrogênio líquido. Posteriormente, foram liofilizadas e moídas para a determinação de açúcares solúveis totais nas folhas (AST), de acordo com Dubois *et al.* (1956). Para isto, realizou-se extração dos açúcares em etanol a 80%, com posterior incubação em banho-maria (80 °C), por 20 minutos. O material foi então centrifugado (10.000 rpm, 10 minutos) e o sobrenadante foi coletado para análise. Esse processo foi repetido quatro vezes, até completar aproximadamente 2 mL de solução extraída. A quantificação foi feita por meio do desenvolvimento de coloração a partir de fenol (5%) e ácido sulfúrico concentrado, com leitura da absorbância de 490 nm em espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Scientific, Evolution 200 series).

3.10 QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DOS MORANGOS

3.10.1 Obtenção das amostras

As amostras para análise da qualidade físico-química dos morangos e de composição foram obtidas entre os 113 e 149 DAT. Os frutos foram acondicionados em sacos plásticos Zip Lock e mantidos congelados a -18 °C, até o momento das análises.

3.10.2 pH

Para a determinação do pH, efetuou-se a mistura de aproximadamente 5 g de amostra triturada em liquidificador (polpa) para 50 mL de água destilada. A leitura do pH foi realizada utilizando-se pHmetro (Tecnal, Tec-5-MP) previamente calibrado (IAL, 2008).

3.10.3 Acidez Total Titulável (ATT)

A ATT foi determinada por titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L⁻¹ e indicador fenolftaleína. Foram utilizadas aproximadamente 5 g de polpa para 50 mL de água destilada. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico (IAL, 2008).

3.10.4 Sólidos Solúveis Totais (SST)

O teor de SST da polpa foi determinado com refratômetro digital portátil (Atago, PAL-1). Duas gotas de cada amostra homogeneizada foram dispostas sobre o equipamento e os resultados foram expressos em °Brix (AOAC, 2011). Com os dados de SST e ATT, obteve-se a relação SST/ATT.

3.10.5 Avaliação da coloração dos frutos

A coloração de morangos foi avaliada usando o colorímetro (Konica Minolta Sensing Americas, Inc., CR-400). Foram obtidas diretamente as coordenadas de luminosidade (L^*), em que $L^*=0$ é preto e $L=100$ é branco; saturação de cor (C^*), em que valores menores indicam coloração pálida e valores maiores coloração intensa; e a tonalidade de cor (h^*), que é um ângulo, em que 0° corresponde a cor vermelha, 90° amarelo, 180° verde e 270° , azul (MCGUIRE, 2019).

3.11 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA POLPA DOS FRUTOS

3.11.1 Umidade

A umidade foi determinada por método gravimétrico em estufa, em dois estágios. Para isto, aproximadamente 20 g de polpa de cada amostra foram pesadas em cadinhos de porcelana e, em seguida, levados à estufa a 40°C e posteriormente à 105°C , até peso constante (IAL, 2008). O teor de umidade foi calculado utilizando-se a equação (4).

$$\text{Umidade (g } 100\text{g}^{-1}) = \frac{100 \times mp}{M} \quad (4)$$

Em que:

mp = massa perdida (g);

M = massa da amostra (g).

3.11.2 Teor de proteína bruta

O teor de proteína bruta foi determinado utilizando-se o método de Kjeldahl, de acordo com procedimento 991.22 da *Association of Official Analytical Chemistry* (AOAC, 2011).

Amostras da polpa dos frutos passaram por processo de digestão com ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, a 450 °C com posterior neutralização com hidróxido de sódio 12,5 mol L⁻¹ e destilação em destilador Kjeldahl. Posteriormente, o destilado foi titulado com ácido clorídrico (HCl) 0,1 mol L⁻¹. O teor de proteína, expresso em base úmida, foi obtido conforme a equação (5).

$$Proteínas (g\ 100g^{-1}) = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times f_{HCl} \times 14 \times 100 \times FP}{1000 \times M} \quad (5)$$

Em que:

V_{HCl} = volume de HCl gasto na titulação;

N_{HCl} = normalidade do HCl gasto na titulação;

f_{HCl} = fator de correção do HCl;

M = massa da amostra (g);

FP = Fator de proteína (6,25)

3.11.3 Teor de lipídios

A quantificação de lipídios foi realizada empregando-se extrator de gordura (Ankom, XT10), utilizando-se éter de petróleo como solvente, durante o período de 1 h (AOCS, 2004). O teor de lipídios, expresso em base úmida, foi obtido conforme a equação (6).

$$Lipídios (g\ 100g^{-1}) = \frac{100 \times m_L}{M} \quad (6)$$

Em que:

m_L = massa de lipídios (g);

M = massa da amostra (g).

3.11.4 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi obtido após calcinação da amostra em mufla (600 °C) (EDG Equipamentos, EDGCON 3P), conforme o método 945.45 da AOAC (2002). O teor de cinzas foi calculado utilizando-se a equação (7) e os resultados foram expressos em base úmida.

$$\text{Cinzas (g } 100\text{g}^{-1}) = \frac{100 \times m_c}{M} \quad (7)$$

Em que:

m_c = massa de cinzas (g);

M = massa da amostra (g)

3.11.5 Teor de carboidratos

O teor de carboidratos, em base úmida, foi obtido por diferença entre o total (100g 100g⁻¹) e a soma dos teores de umidade, de proteínas, de lipídeos e de cinzas, de acordo com o método 986.25 da AOAC (2002).

3.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para os dados de produtividade, os resultados foram ajustadas curvas de regressão. Já os demais dados foram submetidos a teste de agrupamento de médias de Scott Knott a 5% de probabilidade, em que barras marcadas com letras diferentes apresentaram diferença significativa. O desvio padrão é mostrado como a barra de erro nos gráficos. Realizou-se análise de correlação de Pearson a 5% de probabilidade entre as variáveis fisiológicas, bioquímicas e a produtividade. Utilizou-se o software SPEED Stat v. 2.4 para a análise estatística dos dados e o Prism – Graphpad v. 9 para a construção das figuras (DE CARVALHO; MENDES, 2018; GRAPHPAD SOFTWARE, 2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FRUTOS

A produtividade de morangueiro apresentou diferença entre os fatores forma de aplicação e concentrações de Arbolina, contudo não houve interação entre eles ao nível de 5% de significância (Anexo 3). A média das concentrações da aplicação via substrato foi 21,9% maior que a média da aplicação via pulverização foliar (Anexo 4). A produtividade em função das concentrações apresentou comportamento quadrático altamente significativo, considerando a média das formas de aplicação (Figura 2A). A concentração de 168 mg L⁻¹ resultou na maior produtividade (234,7 g planta⁻¹), calculadas através do modelo quadrático obtido, o que representa um aumento de 16,4% em relação ao controle (Figura 2A).

A interação entre as formas de aplicação e as concentrações do produto no parâmetro produtividade apresentou o valor de $p = 0,06$ (Anexo 3). Ao analisar o comportamento das concentrações dentro de cada forma de aplicação, foi observado um ajuste quadrático altamente significativo para as concentrações aplicadas diretamente no substrato e um incremento de 41% na produtividade com a aplicação da concentração 156 mg L⁻¹ (Anexo 5A). Já na aplicação via pulverização foliar, não houve diferença na produtividade com a adição da Arbolina (Anexo 5B). Em face do comportamento distinto entre as formas de aplicação, considerou-se relevante a apresentação desse resultado, uma vez que o valor de p foi próximo do valor considerado limite para confirmar a significância da interação ($p < 0,05$).

O número de frutos por planta apresentou diferença entre as concentrações de Arbolina, enquanto na forma de aplicação e na interação entre os fatores não houve diferença (Anexo 3). Para este parâmetro, foi observado um comportamento quadrático com o aumento das concentrações de Arbolina, considerando a média das formas de aplicação (Figura 2B).

Estimados pelo modelo quadrático, a concentração de 161 mg L⁻¹ resultou no maior número de frutos por planta (20,4), um aumento de 13,8% em relação ao controle (Figura 2B).

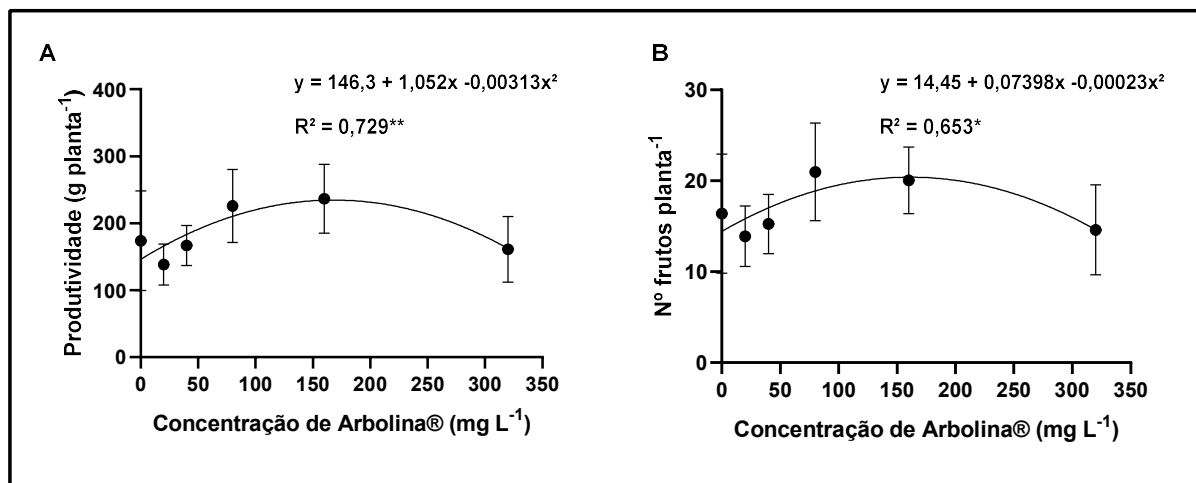


Figura 2. Produtividade (A) e número de frutos por planta (B) de morango em função da aplicação de diferentes concentrações de Arbolina.

A massa, o comprimento e a largura dos morangos não foram alterados, independente da concentração e forma de aplicação (Figura 3). Conforme a análise de correlação de Pearson, o incremento em produtividade foi mais associado ao aumento no número de frutos do que às características biométricas avaliadas (Anexo 6).

Esses resultados corroboram os encontrados por Mcgehee *et al.* (2017), que avaliaram a aplicação de CNTs, via hidroponia, em tomateiro. Os autores observaram aumento de 65% no número de frutos com a aplicação de 50 mg L⁻¹ de CNTs, em relação ao controle. Efeitos semelhantes foram encontrados por Guo *et al.* (2021), que reportaram maior número de frutos de tomate (~66%), com a aplicação de 100 mg L⁻¹ de óxido de grafeno. Já Hao Li *et al.* (2019) observaram aumentos em produtividade próximos a 20% em frutos de tomate e berinjela com a aplicação de CDs na solução nutritiva (560 mg L⁻¹).

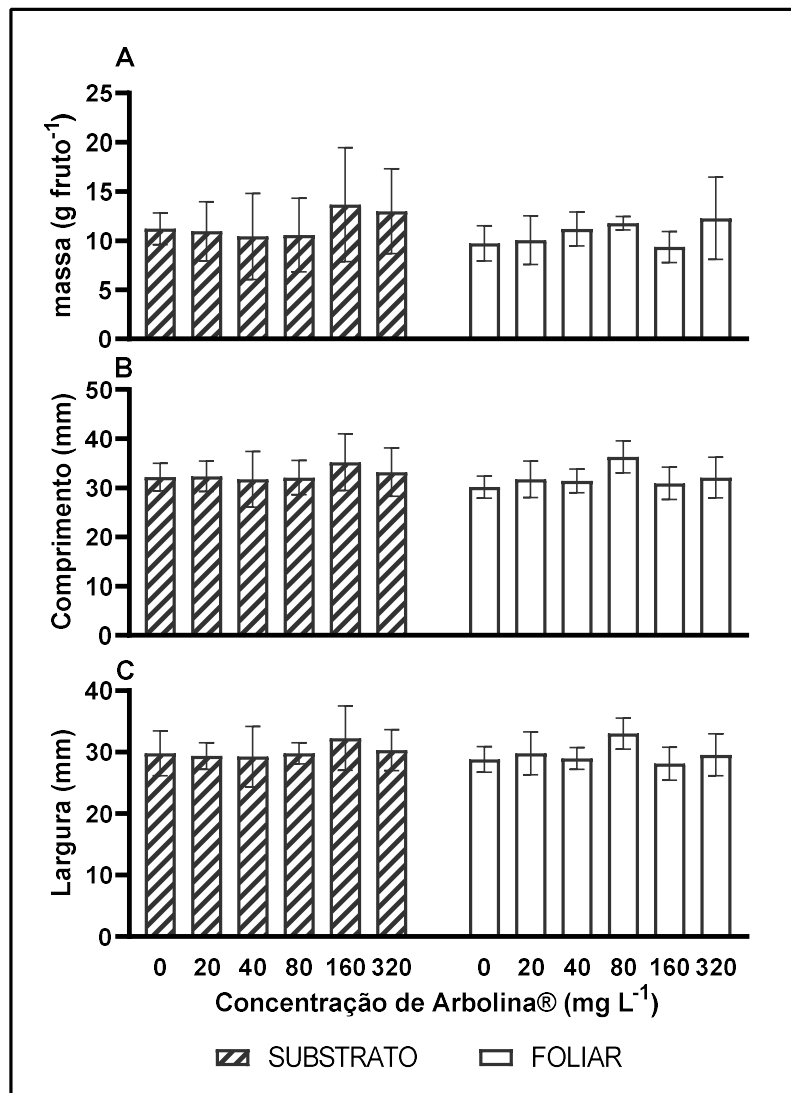


Figura 3. Massa (A), comprimento (B) e largura (C) de morango em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o desvio padrão das médias.

O aumento em produtividade e número de frutos obtidos com a aplicação de CDs no substrato pode estar relacionado a diferentes mecanismos de nanomateriais de carbono nas plantas. CNTs e CDs são capazes de ativar genes que codificam proteínas do canal de água (aquaporinas), aumentando a absorção de água e nutrientes pelas raízes (KOU *et al.*, 2021; LAHIANI *et al.*, 2013; VILLAGARCIA *et al.*, 2012). Adicionalmente, CDs com grupos superficiais hidrofílicos (*e.g.*, $-\text{COOH}$ e $-\text{OH}$) adsorvem água e nutrientes, facilitando a sua

entrada via apoplástica nas raízes (LI, Hao *et al.*, 2019). Outro possível mecanismo baseia-se nos produtos da degradação dos CDs dentro das plantas (LI, Hao *et al.*, 2018, 2019). Quando CDs são expostos à enzima *horseradish* peroxidase e ao peróxido de hidrogênio, que são amplamente distribuídos nas plantas, são degradados para formar CO₂ e compostos análogos a hormônios (LI, Hao *et al.*, 2019, 2018). O CO₂ é convertido em carboidratos pelo ciclo de Calvin, na fotossíntese, enquanto os produtos análogos a hormônios promovem o crescimento de plantas (LI, Hao *et al.*, 2019, 2018). Além disso, CDs estão relacionados ao aumento da atividade da enzima RubisCO em diversas plantas, a qual atua na fixação de carbono pela planta na forma de carboidratos (LI, Hao *et al.*, 2018, 2019; LI, Y. *et al.*, 2021; ZHANG M. *et al.*, 2018a).

A ausência de efeitos nas plantas tratadas por aplicação via pulverização foliar pode estar relacionada a uma baixa eficiência de absorção do produto pelas folhas de morangueiro. Folhas de morangueiro são mais cerosas que a maioria dos outros cultivos agrícolas e, portanto, de mais difícil molhamento (FOUNTAIN; HARRIS; CROSS, 2010). No presente trabalho, não foi usado nenhum tipo de adjuvante na solução de aplicação da Arbolina. Entretanto, em trabalhos recentes, tem sido empregados agentes surfactantes com os objetivos de aumentar a dispersão das nanopartículas na solução e o molhamento das folhas, permitindo maior eficiência de absorção (HU *et al.*, 2020; TAN *et al.*, 2021; XU, Xiaokai *et al.*, 2020). Hu *et al.* (2020) relataram que formulações de CDs sem surfactantes apresentaram baixa molhabilidade da superfície foliar de algodão e milho e, que nessas formulações, os CDs não foram translocados para dentro das folhas. Já as formulações contendo surfactantes permitiram a entrada de CDs nas folhas de ambas as espécies. Assim, propõe-se o uso desse tipo de produto na formulação da solução de CDs para a aplicação foliar em estudos futuros.

Atributos físico-químicos e nutricionais são determinantes na qualidade dos frutos (DE RESENDE *et al.*, 2008), mas ainda são pouco investigados em estudos envolvendo a

aplicação de CDs (KOU *et al.*, 2021). Os valores de SST, AT, relação SST/AT e pH na polpa de morangos tratados com as diferentes concentrações e método de aplicação de Arbolina são apresentados na Figura 4. Não houve diferença entre os métodos de aplicação e concentrações de Arbolina para AT, SST e relação SST/AT (Figura 4). Os valores médios de AT, SST e relação SST/AT foram 0,88 g 100 g⁻¹ de ácido cítrico, 6,37 °Brix e 7,25. Estes valores são semelhantes aos encontrados por Antunes (2013) em morangos da mesma cultivar (Portola). Para o pH, por sua vez, os valores observados nas concentrações 20, 80 e 160 mg L⁻¹ foram maiores do que os observados em 0, 40 e 320 mg L⁻¹ (Figura 4D). A diferença entre o maior e o menor valor de pH, contudo, foi menor que 4%, ficando todos os valores entre 3,3 e 3,4, dentro do padrão comercial para a polpa de morango (MAPA, 2018).

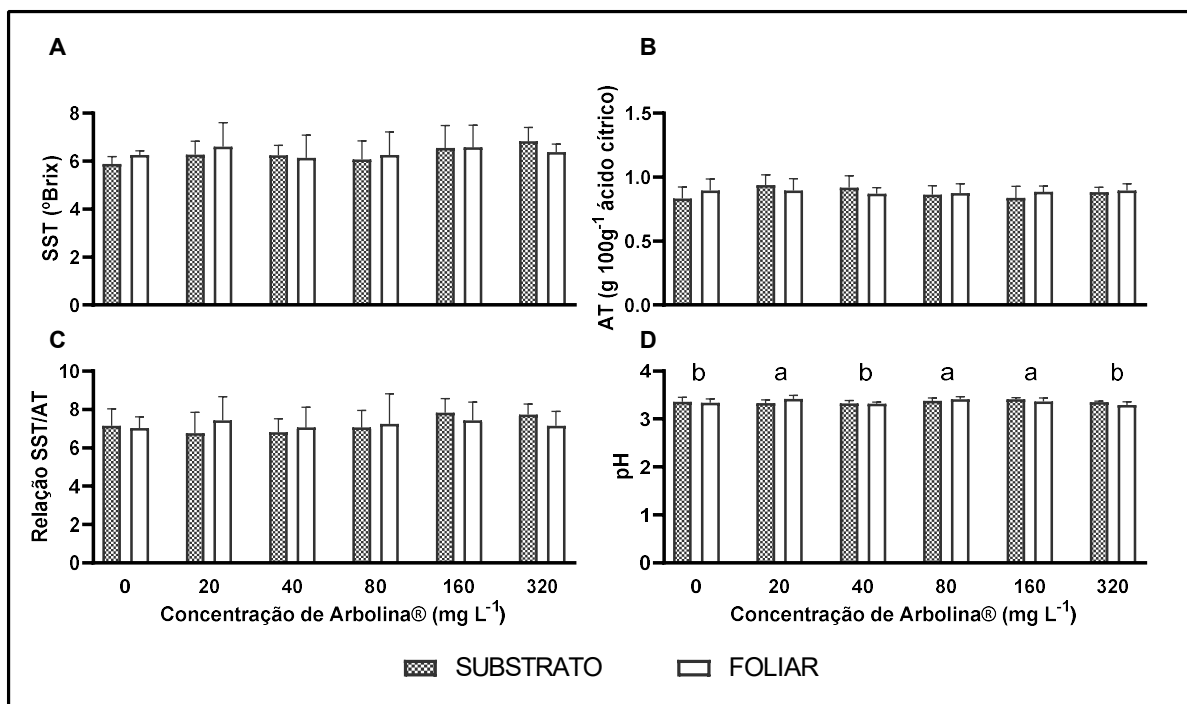


Figura 4. Sólidos solúveis totais (SST) (A), acidez total (AT) (B), relação SST/AT (C) e pH (D) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o Desvio Padrão das médias. Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre tratamentos determinada por teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Os parâmetros de cor e a composição nutricional são apresentados nas Figura 5 e Figura 6, respectivamente. Em relação a cor, pequenas diferenças foram observadas em L^* , em que a concentração de 20 mg L⁻¹ apresentou maior valor, indicando morangos mais claros que as outras concentrações, na aplicação via substrato (Figura 5A). Na aplicação via pulverização foliar, as concentrações 0, 20 e 160 mg L⁻¹ apresentaram valores ligeiramente mais altos que as concentrações 40, 80 e 320 mg L⁻¹. Quanto aos valores de C^* , a concentração de 20 mg L⁻¹ apresentou os menores valores entre as concentrações de Arbolina, seguida das concentrações 80 e 160 mg L⁻¹, indicando uma menor intensidade de pigmentos nessas concentrações (Figura 5B). Já para h^* , a aplicação via pulverização foliar apresentou tonalidade mais avermelhada (menor valor de h^*) do que a aplicação via substrato (Figura 5C). A solução contendo 20 mg L⁻¹ de Arbolina resultou nos menores valores de h^* (Figura 5D). A cor vermelha dos morangos, além de um importante atributo sensorial, está relacionada ao conteúdo de antocianinas, que são pigmentos naturais que possuem ação antioxidante (CORDENUNSI *et al.*, 2002; GIAMPIERI *et al.*, 2013). Considerando que a aplicação via substrato apresentou, em média, maiores valores de produtividade, o maior valor de h^* nesse tratamento (tonalidade mais amarelada) pode ser resultado de um efeito de diluição na concentração de antocianinas. A ausência de uma tendência de comportamento dos dados de cor entre as diferentes concentrações de Arbolina, contudo, pode indicar que esses parâmetros foram mais influenciados por pequenas diferenças no estágio de maturação dos morangos do que pela aplicação do produto.

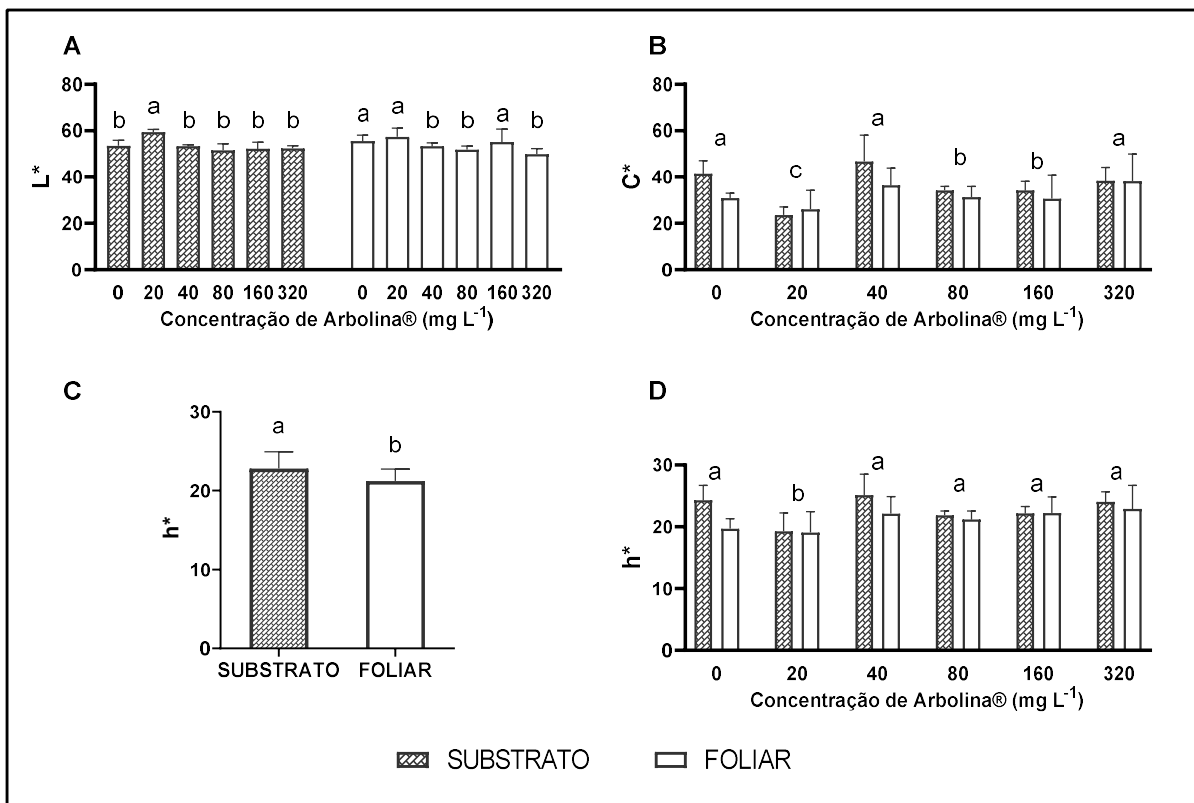


Figura 5. Luminosidade (L*, A); saturação de cor (C*, B), e tonalidade de cor (h*, C, D) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o Desvio Padrão das médias. Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre tratamentos determinada por teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Entre os parâmetros de composição nutricional, não houve mudanças nos teores de umidade, proteínas, carboidratos e cinzas (Figura 6) para nenhum dos fatores. Y. ZHENG *et al.* (2017a) também observaram que CDs não alteraram parâmetros de qualidade nutricional, como proteínas e açúcares solúveis, em alface. Já Kou *et al.* (2021) encontraram resultados diferentes para tomate, havendo incrementos nos valores de proteínas e açúcares solúveis com diferentes concentrações de CDs, comparadas ao controle sem CDs.

Já para os teores de lipídios, houve diferença entre as concentrações, mas não entre as formas de aplicação. Os morangos que receberam as maiores concentrações de Arbolina (80, 160 e 320 mg L⁻¹) apresentaram valores até 62% menores que o controle (Figura 6).

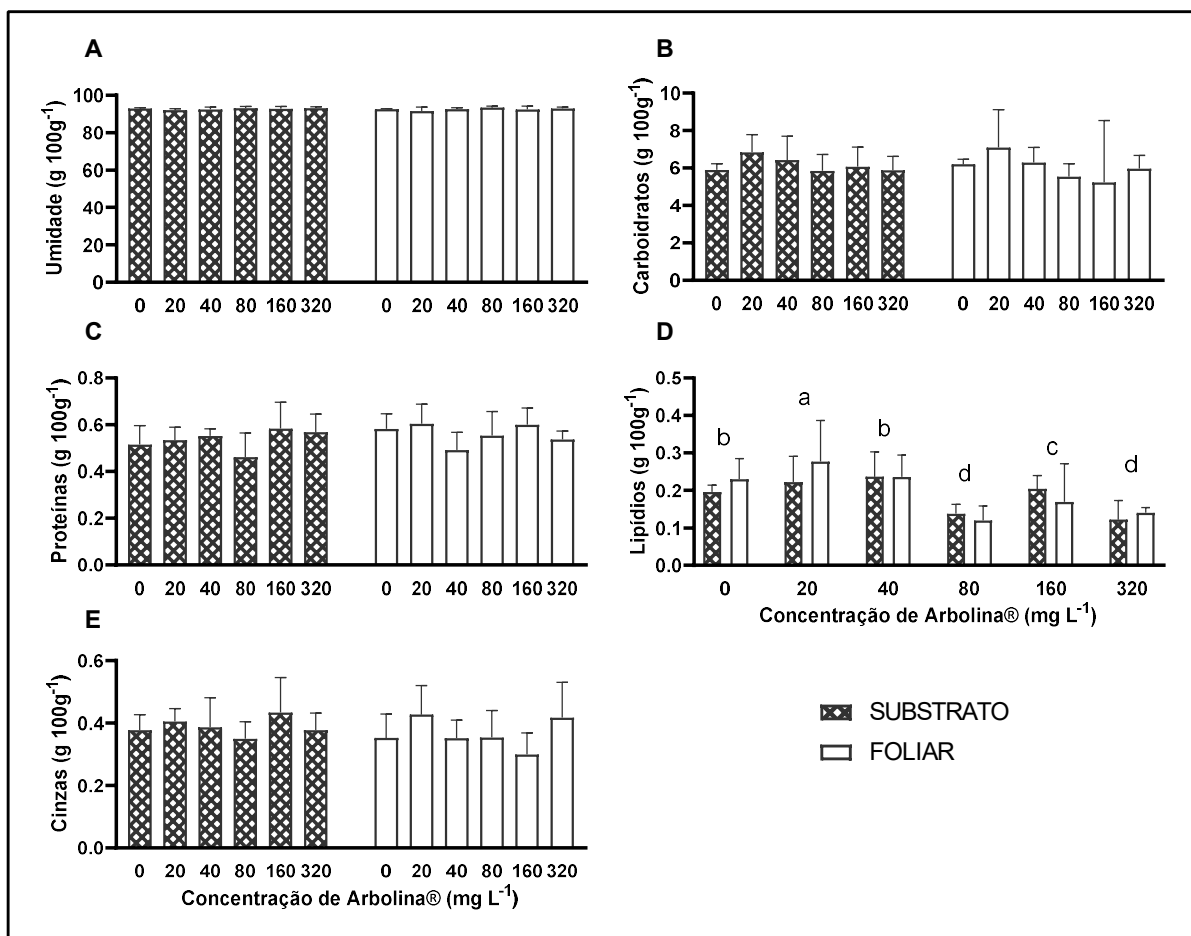


Figura 6. Teores de Umidade (A), Carboidratos (B), Proteínas (C), Lipídios (D) e Cinzas (E) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o Desvio Padrão das médias. Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre tratamentos determinada por teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Lipídios são os principais constituintes das membranas celulares das plantas e alterações quantitativas ou qualitativas na sua composição estão relacionadas à integridade das membranas (RESZCZYŃSKA; HANAKA, 2020). Os lipídios das membranas são suscetíveis a processos de oxidação, podendo resultar em acúmulo de peróxidos lipídicos, que induzem a distúrbios funcionais e mudanças patológicas (KEUTGEN; PAWELZIK, 2008). CDs são capazes de interagir com as membranas celulares e, em concentrações altas, podem causar estresse oxidativo (*i.e.*, maior conteúdo de H₂O₂ e peroxidação lipídica) (CHEN *et al.*, 2016). Além disso, a estabilidade das membranas é essencial na manutenção da firmeza e,

consequentemente, da vida de prateleira dos frutos (PICCHIONI *et al.*, 1998). Assim, a expressiva alteração no teor de lipídios dos morangos, nos tratamentos de maior concentração de Arbolina, pode ser um sinal de danos às membranas dos frutos, o que também merece ser investigado em estudos futuros. Caso isso se confirme, uma possível solução seria aplicar a Arbolina apenas na fase de pré-frutificação, evitando o contato direto com os frutos.

4.2 PARÂMETROS FISIOLÓGICOS, PIGMENTOS E AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS NAS FOLHAS

Não houve diferença para nenhum parâmetro fisiológico avaliado, nos fatores forma de aplicação e concentrações de Arbolina (Anexo 10; Figura 7). Soppelsa *et al.* (2019), em experimento com dez bioestimulantes diferentes em morangueiro, observaram que apenas um deles provocou mudanças na taxa fotossintética após 24 h, e nenhum após 48 h. Dong *et al.* (2020), por sua vez, observaram que o tomateiro foi mais responsivo, em relação ao crescimento e fisiologia, à aplicação de bioestimulantes do que o morangueiro. Isso pode sugerir uma estabilidade do aparato fotossintético de morangueiro, mesmo com a aplicação de diferentes bioestimulantes. Esses resultados diferem dos encontrados para outras culturas como milho, arroz e alface, em que a aplicação de CDs foi capaz de estimular a transpiração, a condutância estomática e/ou fotossíntese das plantas (TAN *et al.*, 2021; ZHENG, Y. *et al.*, 2017b).

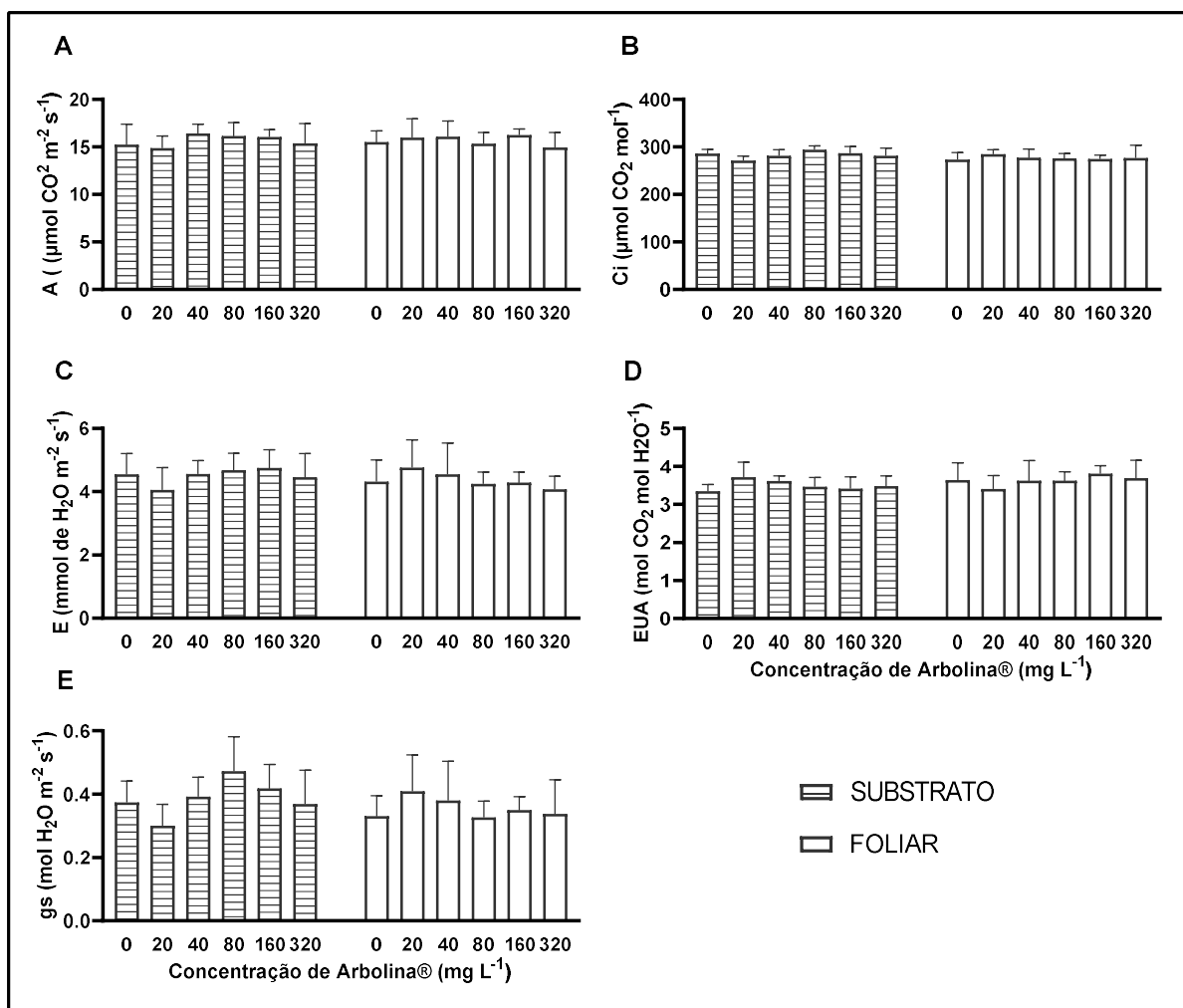


Figura 7. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), concentração interna de CO₂ (B), taxa de transpiração (C), eficiência de uso da água (D) e condutância estomática (E) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o desvio padrão das médias.

Em relação aos pigmentos fotossintéticos, também não houve diferença no teor de clorofilas a e b entre as concentrações (Figura 8A) e os métodos estudados (Figura 8A e 9B). Soppelsa *et al.* (2019) também observaram que valores de clorofila (por meio da leitura SPAD) de morangueiro não foram afetados pela aplicação de diferentes bioestimulantes durante a maior parte do ciclo de crescimento, enquanto Y. Zheng *et al.* (2017a) relataram que não houve diferença nesses parâmetros com a aplicação de CDs via hidroponia em alface. O teor de carotenoides, por sua vez, foi, em média, 13,5% maior na aplicação via foliar do que na aplicação via substrato. Não houve diferença, contudo, entre as concentrações, em ambas as

formas de aplicação (Figura 8C). Uma importante função dos carotenoides é proteger o aparato fotossintético de danos quando as plantas são expostas a uma grande quantidade de luz (SANDMANN, 2019). A ausência de diferença entre as concentrações nesse parâmetro é um indicativo de que a Arbolina não gerou estresse por excesso de quantidade de luz, na faixa de concentrações avaliada.

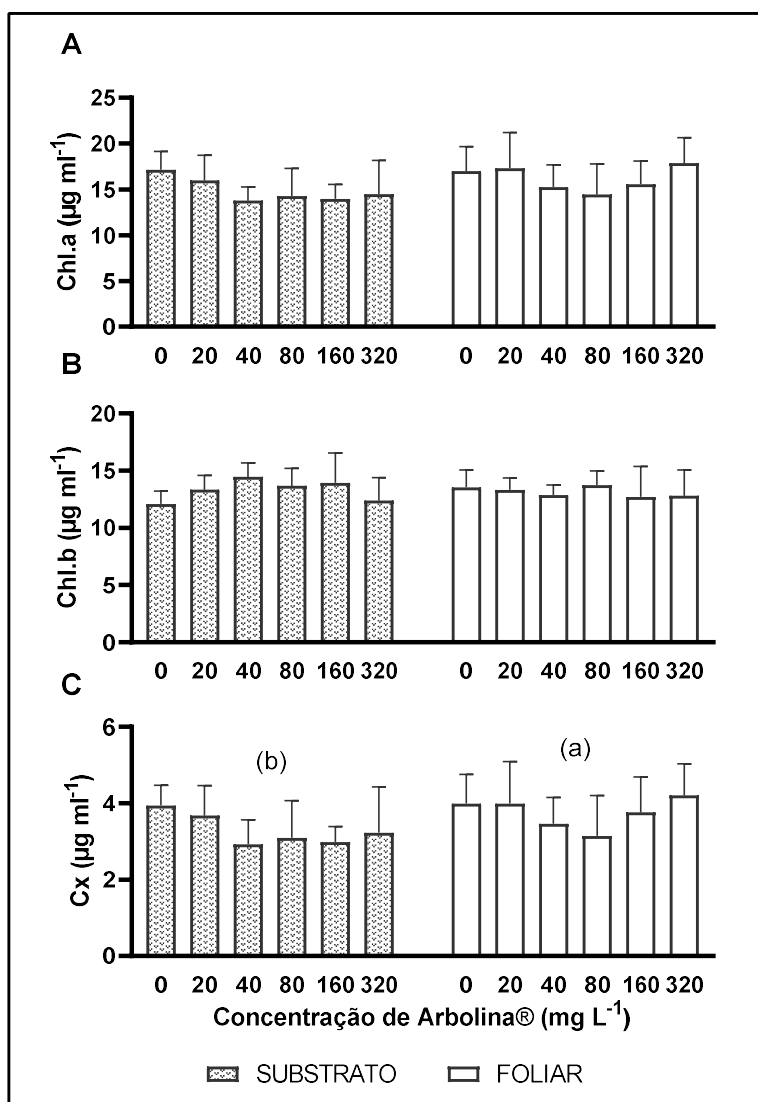


Figura 8. Clorofila a (A), clorofila b (B) e Carotenoides (C) de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o Desvio Padrão das médias. Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre tratamentos determinada por teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Os valores de AST não diferiram para a forma de aplicação, mas foram menores na concentração de 40 mg L⁻¹ quando comparada às outras concentrações (Figura 9). A redução no teor de açúcares nas folhas pode ser resultado de uma reduzida taxa de fotossíntese, aumento da utilização para o crescimento e/ou alocação para as raízes (HAJIBOLAND *et al.*, 2018). Como a taxa de fotossíntese nessa concentração não diferiu das outras concentrações, a redução no AST pode estar relacionada a uma alocação de carbono para partes em crescimento ou raízes. Estes resultados diferem dos encontrados para CDs em outras plantas, como arroz, *Arabidopsis thaliana* e feijão, em que aplicação de CDs resultou em maiores valores de carboidratos nas folhas, decorrentes de estímulos na fixação de carbono da fotossíntese (LI, Hao *et al.*, 2018, 2019; ZHANG M. *et al.*, 2018b). É importante observar, contudo, que nesses trabalhos, as medidas foram feitas em estágio vegetativo. Logo, sugere-se que sejam feitas análises de carboidratos em diferentes fases do ciclo da cultura em pesquisas futuras.

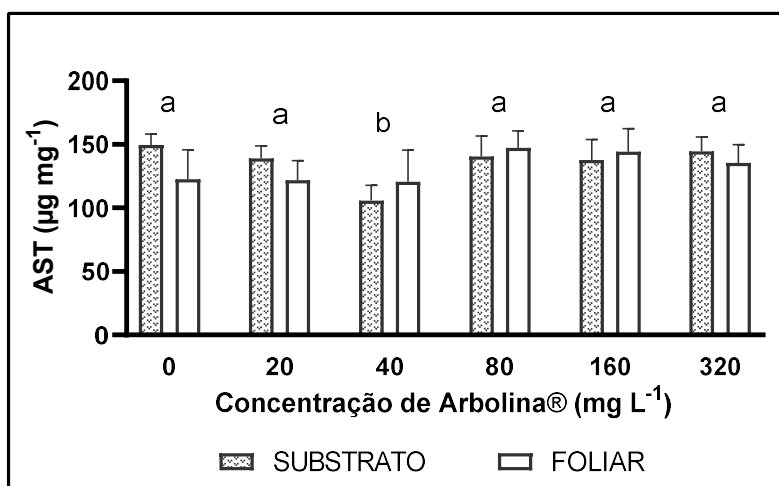


Figura 9. Açúcares solúveis totais de morangos em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR). Barras representam o Desvio Padrão das médias. Letras diferentes indicam diferença estatística significativa entre tratamentos determinada por Teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÃO

Considerando a média de todas as concentrações, a produtividade do tratamento com a aplicação de Arbolina via substrato foi 21,9% maior do que da aplicação via pulverização foliar. Independente da concentração, a aplicação via foliar não alterou a produtividade. Já para a aplicação via substrato, a maior produtividade foi observada na concentração estimada de 155,6 mg L⁻¹, com aumento de 41% em relação ao controle. Não foram observadas diferenças nos parâmetros de trocas gasosas e fotossíntese avaliados, assim como no teor de clorofilas A e B. O teor de carotenoides, por sua vez, foi 13,5% maior na aplicação via foliar do que na aplicação via substrato, mas não diferiu entre as concentrações aplicadas. Os valores de AST das folhas não diferiram para o fator forma de aplicação, mas foram menores na concentração de 40 mg L⁻¹ em relação às outras concentrações. A maior parte dos parâmetros de qualidade e composição dos morangos não foi alterada, com exceção do teor de lipídios, que foi até 62% menor nas três maiores concentrações. Assim, este estudo indica que a Arbolina é capaz de aumentar a produtividade de morangueiro com pouca alteração na qualidade geral do produto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, P.; JAYAPRAKASHA, G. K.; CROSBY, K. M.; JIFON, J. L.; PATIL, B. S. Nanoparticle-Mediated Seed Priming Improves Germination, Growth, Yield, and Quality of Watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. **Scientific Reports**, vol. 10, no. 1, p. 1–16, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61696-7>.

ANTUNES, M. C. **Qualidade de frutos de seis cultivares de morangueiro**. 2013. 40 f. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Available at: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/30511/R - D - MARINA COSTACURTA ANTUNES.pdf?sequence=2>. Accessed on: 19 May 2021.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International**. 2nd ed. Arlington, Virginia, USA: [s. n.], 2011. vol. 16, .

AOCS. **Rapid Determination of Oil / Fat Utilizing High Temperature Solvent Extraction**. [S. l.: s. n.], 2004.

ATTIA, E. A.; ELHAWAT, N. Combined foliar and soil application of silica nanoparticles enhances the growth, flowering period and flower characteristics of marigold (*Tagetes erecta* L.). **Scientia Horticulturae**, vol. 282, p. 110015, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110015>.

BORIŠEV, M.; BORIŠEV, I.; ŽUPUNSKI, M.; ARSENOV, D.; PAJEVIĆ, S.; ČURČIĆ, Ž.; VASIN, J.; DJORDJEVIC, A. Drought impact is alleviated in sugar beets (*Beta vulgaris* L.) by foliar application of fullereneol nanoparticles. **PLoS ONE**, vol. 11, no. 11, p. e0166248, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166248>.

BORTOLOZZO, A. R.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M.; MELO, G. W. B. de; KOVALESKI, A.; BERNARDI, J.; HOFFMANN, A.; BOTTON, M.; FREIRE, J. de M.; BRAGHINI, L. C.; VARGAS, L.; CALEGARIO, F. F.; FERLA, N. J.; PINENT, S. M. J. **Produção de morangos no sistema semihidropônico**. **Jornal da fruta**. [S. l.]: Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007., 2007. Available at: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/541435>. Accessed on: 11 Oct. 2019.

BRASIL. Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004. 2006. Available at: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2004/decreto-4954-14-janeiro-2004-497758-normaatuizada-pe.html>. Accessed on: 20 Apr. 2021.

BRASIL. IN 25 de 23-7-2009 fertilizantes organicos.pdf — Português (Brasil). 2009. Available at: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view>. Accessed on: 21 Jun. 2021.

BRASIL. Instrução Normativa 61, de 8 de julho de 2020. 2020. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária**. Available at: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>. Accessed on: 20 Apr. 2021.

BRINGHURST, R. S. Cytogenetics and Evolution in American *Fragaria*. **HortScience**, vol. 25, no. 8, p. 879–881, 2019. <https://doi.org/10.21273/hortsci.25.8.879>.

CALABRO, R. L.; YANG, D. S.; KIM, D. Y. Liquid-phase laser ablation synthesis of graphene quantum dots from carbon nano-onions: Comparison with chemical oxidation. **Journal of Colloid and Interface Science**, vol. 527, p. 132–140, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.04.113>.

CANTILLANO, R. F. F.; DA SILVA, M. M. **Documento 318 - Manuseio Pós-colheita de Morangos**. [S. l.: s. n.], 2010. Available at: www.cpact.embrapa.br. Accessed on: 18 May 2021.

CHANDRA, S.; PRADHAN, S.; MITRA, S.; PATRA, P.; BHATTACHARYA, A.; PRAMANIK, P.; GOSWAMI, A. High throughput electron transfer from carbon dots to chloroplast: A rationale of enhanced photosynthesis. **Nanoscale**, vol. 6, no. 7, p. 3647–3655, 2014. <https://doi.org/10.1039/c3nr06079a>.

CHEN, J.; DOU, R.; YANG, Z.; WANG, X.; MAO, C.; GAO, X.; WANG, L. The effect and fate of water-soluble carbon nanodots in maize (*Zea mays* L.). **Nanotoxicology**, vol. 10, no. 6, p. 818–828, 2016. <https://doi.org/10.3109/17435390.2015.1133864>.

CHHIPA, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. **Environmental Chemistry Letters**, vol. 15, no. 1, p. 15–22, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0600-4>.

CHOUDHARY, R. C.; KUMARASWAMY, R. V.; KUMARI, S.; SHARMA, S. S.; PAL, A.; RALIYA, R.; BISWAS, P.; SAHARAN, V. Cu-chitosan nanoparticle boost defense responses and plant growth in maize (*Zea mays* L.). **Scientific Reports**, vol. 7, no. 1, p. 1–11, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08571-0>.

CORDENUNSI, B. R.; OLIVEIRA DO NASCIMENTO, J. R.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 50, no. 9, p. 2581–2586, 2002. <https://doi.org/10.1021/jf011421i>.

COSTAS-MORA, I.; ROMERO, V.; LAVILLA, I.; BENDICHO, C. In situ building of a nanoprobe based on fluorescent carbon dots for methylmercury detection. **Analytical Chemistry**, vol. 86, no. 9, p. 4536–4543, 2014. <https://doi.org/10.1021/ac500517h>.

D'ANGELIS DO E. S. BARBOSA, C.; CORRÊA, J. R.; MEDEIROS, G. A.; BARRETO, G.;

MAGALHÃES, K. G.; DE OLIVEIRA, A. L.; SPENCER, J.; RODRIGUES, M. O.; NETO, B. A. D. Carbon Dots (C-dots) from Cow Manure with Impressive Subcellular Selectivity Tuned by Simple Chemical Modification. **Chemistry - A European Journal**, vol. 21, no. 13, p. 5055–5060, 2015. <https://doi.org/10.1002/chem.201406330>.

DAVIS, K. F.; GEPHART, J. A.; EMERY, K. A.; LEACH, A. M.; GALLOWAY, J. N.; D'ODORICO, P. Meeting future food demand with current agricultural resources. **Global Environmental Change**, vol. 39, p. 125–132, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.004>.

DE CARVALHO, A. M. X.; MENDES, F. Q. Spreadsheet Program para Estatística Experimental e Descritiva. 2018. Available at: <https://speedstatsoftware.wordpress.com/>. Accessed on: 18 May 2021.

DE RESENDE, J. T. V.; CAMARGO, L. K. P.; ARGANDOÑA, E. J. S.; MARCHESE, A.; CAMARGO, C. K. Sensory analysis and chemical characterization of strawberry fruits. **Horticultura Brasileira**, vol. 26, no. 3, p. 371–374, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000300015>.

DEPARDIEU, C.; PRÉMONT, V.; BOILY, C.; CARON, J. Sawdust and bark-based substrates for soilless strawberry production: Irrigation and electrical conductivity management. **PLoS ONE**, vol. 11, no. 4, p. e0154104, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154104>.

DIMKPA, C. O.; SINGH, U.; BINDRABAN, P. S.; ELMER, W. H.; GARDEA-TORRESDEY, J. L.; WHITE, J. C. Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification. **Science of the Total Environment**, vol. 688, p. 926–934, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.392>.

DONG, C.; WANG, G.; DU, M.; NIU, C.; ZHANG, P.; ZHANG, X.; MA, D.; MA, F.; BAO, Z. Biostimulants promote plant vigor of tomato and strawberry after transplanting. **Scientia Horticulturae**, vol. 267, p. 109355, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109355>.

DU JARDIN, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, vol. 196, p. 3–14, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.

DU JARDIN, P. The science of biostimulants - a bibliographic analysis. Contract 30-CE0455515/00-96, ad hoc Study on bio-stimulants products. , p. 37, 2012. Available at: https://www.ec.europa.eu/.../final_report_bio_2012_en.pdf. Accessed on: 20 Apr. 2021.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, 1956. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.

DUHAN, J. S.; KUMAR, R.; KUMAR, N.; KAUR, P.; NEHRA, K.; DUHAN, S. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, vol. 15, p. 11–23, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>.

EMATER-DF. Festa do Morango 2020 será digital – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. 2020a. Available at: <http://www.emater.df.gov.br/festa-do-morango-2020-sera-digital/>. Accessed on: 11 Oct. 2019.

EMATER-DF. Valor Bruto da Produção (VBP) de morango no DF é de R\$ 81,7 milhões – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. 2020b. Available at: <http://www.emater.df.gov.br/valor-bruto-da-producao-vbp-de-morango-no-df-e-de-r-817-milhoes/>. Accessed on: 1 May 2021.

EUROPEAN UNION. Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity. 2019. **Official Journal of the European Union**. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>. Accessed on: 20 Apr. 2021.

FAGHERAZZI, A. F.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; MOLINA, A. R.; GONÇALVES, M. A.; ANTUNES, L. E. C.; BARUZZI, G.; RUFATO, L. Strawberry production progress in Brazil. 1156., 2017. **Acta Horticulturae** [...]. [S. l.: s. n.], 2017. vol. 1156, p. 937–940. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1156.138>.

FAO. FAOSTAT. 2019. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>. Accessed on: 1 May 2021.

FAO. **The Future of Food and Agriculture**. [S. l.: s. n.], 2017. Available at: <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Accessed on: 31 May 2021.

FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRÖM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; ... ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, vol. 478, no. 7369, p. 337–342, 2011. <https://doi.org/10.1038/nature10452>.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Biostimulants Market Size, Share, Growth | Global Report [2020-2027]. 2020. Available at: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biostimulants-market-100414>. Accessed on: 20 Apr. 2021.

FOUNTAIN, M. T.; HARRIS, A. L.; CROSS, J. V. The use of surfactants to enhance acaricide control of *Phytonemus pallidus* (Acari: Tarsonemidae) in strawberry. **Crop Protection**, vol. 29, no. 11, p. 1286–1292, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.06.016>.

FURLANI, P. R.; FERNANDES-JUNIOR, F. Cultivo hidropônico de morango em ambiente protegido. **Resumos do II Simpósio Nacional do Morango e do I Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas do**, vol. 2, p. 102–115, 2004. Available at: www.cpact.embrapa.br.

GIAMPIERI, F.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; MAZZONI, L.; ROMANDINI, S.; BOMPADRE, S.; DIAMANTI, J.; CAPOCASA, F.; MEZZETTI, B.; QUILES, J. L.; FERREIRO, M. S.; TULIPANI, S.; BATTINO, M. The potential impact of strawberry on human health. **Natural Product Research**, vol. 27, no. 4–5, p. 448–455, 2013. <https://doi.org/10.1080/14786419.2012.706294>.

GIAMPIERI, F.; TULIPANI, S.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, vol. 28, no. 1, p. 9–19, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009>.

GOOGLE ACADÊMICO. Google Acadêmico. 2021. Available at: <https://scholar.google.com/>. Accessed on: 21 Jun. 2021.

GRAPHPAD SOFTWARE. Prism - GraphPad. 2021. Available at: <https://www.graphpad.com/scientific-software/prism/>. Accessed on: 29 Apr. 2021.

GUO, X.; ZHAO, J.; WANG, R.; ZHANG, H.; XING, B.; NAEEM, M.; YAO, T.; LI, R.; XU, R.; ZHANG, Z.; WU, J. Effects of graphene oxide on tomato growth in different stages. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 162, p. 447–455, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.013>.

HAIJIBOLAND, R.; MORADTALAB, N.; ESHAGHI, Z.; FEIZY, J. Effect of silicon supplementation on growth and metabolism of strawberry plants at three developmental stages. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, vol. 46, no. 2, p. 144–161, 2018. <https://doi.org/10.1080/01140671.2017.1373680>.

HOE, P. T.; MAI, N. C.; LIEN, L. Q.; BAN, N. K.; VAN MINH, C.; CHAU, N. H.; BUU, N. Q.; HIEN, D. T.; VAN, N. T.; HIEN, L. T. T.; LINH, T. M. Germination responses of soybean seeds under Fe, ZnO, Cu and Co nanoparticle treatments. **International Journal of Agriculture and Biology**, vol. 20, no. 7, p. 1562–1568, 2018. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0670>.

HONG, G.; DIAO, S.; ANTARIS, A. L.; DAI, H. Carbon Nanomaterials for Biological Imaging and Nanomedicinal Therapy. **Chemical Reviews**, vol. 115, no. 19, p. 10816–10906, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00008>.

HOU, Y.; LU, Q.; DENG, J.; LI, H.; ZHANG, Y. One-pot electrochemical synthesis of functionalized fluorescent carbon dots and their selective sensing for mercury ion. **Analytica Chimica Acta**, vol. 866, p. 69–74, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.01.039>.

HU, P.; AN, J.; FAULKNER, M. M.; WU, H.; LI, Z.; TIAN, X.; GIRALDO, J. P. Nanoparticle Charge and Size Control Foliar Delivery Efficiency to Plant Cells and Organelles. **ACS Nano**, vol. 14, no. 7, p. 7970–7986, 2020. <https://doi.org/10.1021/acsnano.9b09178>.

HUANG, J. J.; ZHONG, Z. F.; RONG, M. Z.; ZHOU, X.; CHEN, X. D.; ZHANG, M. Q. An easy approach of preparing strongly luminescent carbon dots and their polymer based composites for enhancing solar cell efficiency. **Carbon**, vol. 70, p. 190–198, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.12.092>.

IAL. **Instituto Adolfo Lutz, Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. [S. l.: s. n.], 2008.

IBGE. Tabela 6953: Número de estabelecimentos agropecuários com horticultura, Quantidade produzida na horticultura, Quantidade vendida de produtos da horticultura, Valor da produção da horticultura e Valor da venda de produtos da horticultura, por tipologia, produtos da horticultura, condição do produtor em relação às terras e grupos de atividade econômica. 2017. Available at: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6953#resultado>. Accessed on: 1 Jul. 2021.

IBGE. Tabela 818: Produção, Venda e Valor da produção na horticultura por produtos da horticultura, condição do produtor em relação às terras, grupos de atividade econômica e grupos de área total. 2006. Available at: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/818#resultado>. Accessed on: 1 May 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDS. Nanotechnologies — Plain

language explanation of selected terms from the ISO/IEC 80004 series" ISO/TR 18401:2017. 2017. **Journal of Chromatography A**. Available at: <https://www.iso.org/standard/62384.html> <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:18401:ed-1:v1:en>. Accessed on: 9 May 2021.

JOSHI, A.; SHARMA, L.; KAUR, S.; DHARAMVIR, K.; NAYYAR, H.; VERMA, G. Plant Nanobionic Effect of Multi-walled Carbon Nanotubes on Growth, Anatomy, Yield and Grain Composition of Rice. **BioNanoScience**, vol. 10, no. 2, p. 430–445, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12668-020-00725-1>.

JUÁREZ-MALDONADO, A.; ORTEGA-ORTÍZ, H.; MORALES-DÍAZ, A. B.; GONZÁLEZ-MORALES, S.; MORELOS-MORENO, Á.; CABRERA-DE LA FUENTE, M.; SANDOVAL-RANGEL, A.; CADENAS-PLIEGO, G.; BENAVIDES-MENDOZA, A. Nanoparticles and nanomaterials as plant biostimulants. **International Journal of Molecular Sciences**, vol. 20, no. 1, p. 162, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijms20010162>.

KANWAR, M. K.; SUN, S.; CHU, X.; ZHOU, J. Impacts of Metal and Metal Oxide Nanoparticles on Plant Growth and Productivity. **Nanomaterials and Plant Potential**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 379–392. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05569-1_15.

KAUFFMAN, G. L.; KNEIVEL, D. P.; WATSCHKE, T. L. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. **Crop Science**, vol. 47, no. 1, p. 261–267, 2007. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.03.0171>.

KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. **Food Chemistry**, vol. 107, no. 4, p. 1413–1420, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.071>.

KHAN, I.; SAEED, K.; KHAN, I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. **Arabian Journal of Chemistry**, vol. 12, no. 7, p. 908–931, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>.

KOLE, C.; KOLE, P.; RANDUNU, K. M.; CHOUDHARY, P.; PODILA, R.; KE, P. C.; RAO, A. M.; MARCUS, R. K. Nanobiotechnology can boost crop production and quality: First evidence from increased plant biomass, fruit yield and phytomedicine content in bitter melon (*Momordica charantia*). **BMC Biotechnology**, vol. 13, p. 1–10, 2013.

<https://doi.org/10.1186/1472-6750-13-37>.

KOU, E.; YAO, Y.; YANG, X.; SONG, S.; LI, W.; KANG, Y.; QU, S.; DONG, R.; PAN, X.; LI, D.; ZHANG, H.; LEI, B. Regulation Mechanisms of Carbon Dots in the Development of Lettuce and Tomato. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, vol. 9, no. 2, p. 944–953, 2021. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c08308>.

LAHIANI, M. H.; DERVISHI, E.; CHEN, J.; NIMA, Z.; GAUME, A.; BIRIS, A. S.; KHODAKOVSKAYA, M. V. Impact of carbon nanotube exposure to seeds of valuable crops. **ACS Applied Materials and Interfaces**, vol. 5, no. 16, p. 7965–7973, 2013. <https://doi.org/10.1021/am402052x>.

LI, D.; LI, W.; ZHANG, H.; ZHANG, X.; ZHUANG, J.; LIU, Y.; HU, C.; LEI, B. Far-Red Carbon Dots as Efficient Light-Harvesting Agents for Enhanced Photosynthesis. **ACS Applied Materials and Interfaces**, vol. 12, no. 18, p. 21009–21019, 2020. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b21576>.

LI, Haitao; KANG, Z.; LIU, Y.; LEE, S. T. Carbon nanodots: Synthesis, properties and applications. **Journal of Materials Chemistry**, vol. 22, no. 46, p. 24230–24253, 2012. <https://doi.org/10.1039/c2jm34690g>.

LI, Hao; HUANG, J.; LIU, Y.; LU, F.; ZHONG, J.; WANG, Y.; LI, S.; LIFSHITZ, Y.; LEE, S. T.; KANG, Z. Enhanced RuBisCO activity and promoted dicotyledons growth with degradable carbon dots. **Nano Research**, vol. 12, no. 7, p. 1585–1593, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12274-019-2397-5>.

LI, Hao; HUANG, J.; LU, F.; LIU, Y.; SONG, Y.; SUN, Y.; ZHONG, J.; HUANG, H.; WANG, Y.; LI, S.; LIFSHITZ, Y.; LEE, S. T.; KANG, Z. Impacts of carbon dots on rice plants: Boosting the growth and improving the disease resistance. **ACS Applied Bio Materials**, vol. 1, no. 3, p. 663–672, 2018. <https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00345>.

LI, W.; WU, S.; ZHANG, H.; ZHANG, X.; ZHUANG, J.; HU, C.; LIU, Y.; LEI, B.; MA, L.; WANG, X. Enhanced Biological Photosynthetic Efficiency Using Light-Harvesting Engineering with Dual-Emissive Carbon Dots. **Advanced Functional Materials**, vol. 28, no. 44, 2018. <https://doi.org/10.1002/adfm.201804004>.

LI, W.; ZHENG, Y.; ZHANG, H.; LIU, Z.; SU, W.; CHEN, S.; LIU, Y.; ZHUANG, J.; LEI, B. Phytotoxicity, Uptake, and Translocation of Fluorescent Carbon Dots in Mung Bean Plants.

ACS Applied Materials and Interfaces, vol. 8, no. 31, p. 19939–19945, 2016. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b07268>.

LI, Y.; XU, X.; WU, Y.; ZHUANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, H.; LEI, B.; HU, C.; LIU, Y. A review on the effects of carbon dots in plant systems. **Materials Chemistry Frontiers**, vol. 4, no. 2, p. 437–448, 2020a. <https://doi.org/10.1039/c9qm00614a>.

LI, Y.; GAO, J.; XU, X.; WU, Y.; ZHUANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, H.; LEI, B.; ZHENG, M.; LIU, Y.; HU, C. Carbon Dots as a Protective Agent Alleviating Abiotic Stress on Rice (*Oryza sativa* L.) through Promoting Nutrition Assimilation and the Defense System. **ACS Applied Materials and Interfaces**, vol. 12, no. 30, p. 33575–33585, 2020b. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c11724>.

LI, Y.; PAN, X.; XU, X.; WU, Y.; ZHUANG, J.; ZHANG, X.; ZHANG, H.; LEI, B.; HU, C.; LIU, Y. Carbon dots as light converter for plant photosynthesis: Augmenting light coverage and quantum yield effect. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 410, p. 124534, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124534>.

LISTON, A.; CRONN, R.; ASHMAN, T. L. *Fragaria*: A genus with deep historical roots and ripe for evolutionary and ecological insights. **American Journal of Botany**, vol. 101, no. 10, p. 1686–1699, 2014. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400140>.

LIU, C.; ZHANG, P.; TIAN, F.; LI, W.; LI, F.; LIU, W. One-step synthesis of surface passivated carbon nanodots by microwave assisted pyrolysis for enhanced multicolor photoluminescence and bioimaging. **Journal of Materials Chemistry**, vol. 21, no. 35, p. 13163–13167, 2011. <https://doi.org/10.1039/c1jm12744f>.

LIU, S. S.; WANG, C. F.; LI, C. X.; WANG, J.; MAO, L. H.; CHEN, S. Hair-derived carbon dots toward versatile multidimensional fluorescent materials. **Journal of Materials Chemistry C**, vol. 2, no. 32, p. 6477–6483, 2014. <https://doi.org/10.1039/c4tc00636d>.

LU, J.; YEO, P. S. E.; GAN, C. K.; WU, P.; LOH, K. P. Transforming C 60 molecules into graphene quantum dots. **Nature Nanotechnology**, vol. 6, no. 4, p. 247–252, 2011. <https://doi.org/10.1038/nnano.2011.30>.

LV, Z.; JIANG, R.; CHEN, J.; CHEN, W. Nanoparticle-mediated gene transformation strategies for plant genetic engineering. **Plant Journal**, vol. 104, no. 4, p. 880–891, 2020. <https://doi.org/10.1111/tpj.14973>.

MAPA. Instrução Normativa nº 37 - continuação - Imprensa Nacional. p. 28, 8 Oct. 2018. Available at: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/44304988/doi-2018-10-08-instrucao-normativa-n-37. Accessed on: 14 May 2021.

MASWADA, H. F.; MAZROU, Y. S. A.; ELZAAWELY, A. A.; ALAM-ELDEIN, S. M. Nanomaterials. Effective tools for field and horticultural crops to cope with drought stress: A review. **Spanish Journal of Agricultural Research**, vol. 18, no. 2, p. 1–15, 2020. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-16181>.

MAUREL, C.; BOURSIAC, Y.; LUU, D. T.; SANTONI, V.; SHAHZAD, Z.; VERDOUCQ, L. Aquaporins in plants. **Physiological Reviews**, vol. 95, no. 4, p. 1321–1358, 2015. <https://doi.org/10.1152/physrev.00008.2015>.

MCGEHEE, D. L.; LAHIANI, M. H.; IRIN, F.; GREEN, M. J.; KHODAKOVSKAYA, M. V. Multiwalled Carbon Nanotubes Dramatically Affect the Fruit Metabolome of Exposed Tomato Plants. **ACS Applied Materials and Interfaces**, vol. 9, no. 38, p. 32430–32435, 2017. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b10511>.

MCGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, vol. 27, no. 12, p. 1254–1255, 2019. <https://doi.org/10.21273/hortsci.27.12.1254>.

MORAN, R.; PORATH, D. Chlorophyll Determination in Intact Tissues Using N,N - Dimethylformamide . **Plant Physiology**, vol. 65, no. 3, p. 478–479, 1980. <https://doi.org/10.1104/pp.65.3.478>.

MUKHERJEE, A.; MAJUMDAR, S.; SERVIN, A. D.; PAGANO, L.; DHANKHER, O. P.; WHITE, J. C. Carbon nanomaterials in agriculture: A critical review. **Frontiers in Plant Science**, vol. 7, no. FEB2016, p. 172, 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00172>.

PARK, S. Y.; LEE, H. U.; PARK, E. S.; LEE, S. C.; LEE, J. W.; JEONG, S. W.; KIM, C. H.; LEE, Y. C.; HUH, Y. S.; LEE, J. Photoluminescent green carbon nanodots from food-waste-derived sources: Large-scale synthesis, properties, and biomedical applications. **ACS Applied Materials and Interfaces**, vol. 6, no. 5, p. 3365–3370, 2014. <https://doi.org/10.1021/am500159p>.

PICCHIONI, G. A.; WATADA, A. E.; CONWAY, W. S.; WHITAKER, B. D.; SAMS, C. E. Postharvest Calcium Infiltration Delays Membrane Lipid Catabolism in Apple Fruit. **Journal**

of **Agricultural and Food Chemistry**, vol. 46, no. 7, p. 2452–2457, 1998. <https://doi.org/10.1021/jf971083e>.

QIAO, Z. A.; WANG, Y.; GAO, Y.; LI, H.; DAI, T.; LIU, Y.; HUO, Q. Commercially activated carbon as the source for producing multicolor photoluminescent carbon dots by chemical oxidation. **Chemical Communications**, vol. 46, no. 46, p. 8812–8814, 2010. <https://doi.org/10.1039/c0cc02724c>.

RAFFI, M. M.; HUSEN, A. Impact of Fabricated Nanoparticles on the Rhizospheric Microorganisms and Soil Environment. **Nanomaterials and Plant Potential**. [*S. l.: s. n.*], 2019. p. 529–552. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05569-1_21.

RESZCZYŃSKA, E.; HANAKA, A. Lipids Composition in Plant Membranes. **Cell Biochemistry and Biophysics**, vol. 78, no. 4, p. 401–414, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12013-020-00947-w>.

RODRIGUES, S. M.; DEMOKRITOU, P.; DOKOOZLIAN, N.; HENDREN, C. O.; KARN, B.; MAUTER, M. S.; SADIK, O. A.; SAFARPOUR, M.; UNRINE, J. M.; VIERS, J.; WELLE, P.; WHITE, J. C.; WIESNER, M. R.; LOWRY, G. V. Nanotechnology for sustainable food production: promising opportunities and scientific challenges. **Environmental Science: Nano**, vol. 4, no. 4, p. 767–781, 2017. <https://doi.org/10.1039/c6en00573j>.

RODRIGUES, C. V.; CORREA, J. R.; AIUBE, C. M.; ANDRADE, L. P.; GALVÃO, P. M.; COSTA, P. A.; CAMPOS, A. L.; PEREIRA, A. J.; GHESTI, G. F.; FELIX, J. F.; WEBER, I. T.; NETO, B. A.; RODRIGUES, M. O. Down- and up-conversion photoluminescence of carbon-dots from brewing industry waste: Application in live cell-imaging experiments. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, vol. 26, no. 12, p. 2623–2628, 2015. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150291>.

RODRIGUES, C. V.; FARIA, R. G.; RODRIGUES, M. O.; SILVA, A. O. **Demonstração do potencial da Arbolina como Biofertilizante**. [*S. l.: s. n.*], [*s. d.*].

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, vol. 11, p. 40, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.

SAHU, S.; BEHERA, B.; MAITI, T. K.; MOHAPATRA, S. Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: Application as excellent bio-imaging agents. **Chemical Communications**, vol. 48, no. 70, p. 8835–8837, 2012.

<https://doi.org/10.1039/c2cc33796g>.

SAI, L.; LIU, S.; QIAN, X.; YU, Y.; XU, X. Nontoxic fluorescent carbon nanodot serving as a light conversion material in plant for UV light utilization. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, vol. 169, p. 422–428, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.05.047>.

SANDMANN, G. Antioxidant protection from UV-and light-stress related to carotenoid structures. **Antioxidants**, vol. 8, no. 7, p. 219, 2019. <https://doi.org/10.3390/antiox8070219>.

SCHNEIDER, J.; RECKMEIER, C. J.; XIONG, Y.; VON SECKENDORFF, M.; SUSHA, A. S.; KASAK, P.; ROGACH, A. L. Molecular fluorescence in citric acid-based carbon dots. **Journal of Physical Chemistry C**, vol. 121, no. 3, p. 2014–2022, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b12519>.

SHARMA, R.; DEWANJEE, S.; KOLE, C. Utilization of nanoparticles for plant protection. **Plant Nanotechnology: Principles and Practices**. [S. l.: s. n.], 2016. p. 305–327. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42154-4_12.

SOPPELSA, S.; KELDERER, M.; CASERA, C.; BASSI, M.; ROBATSCHER, P.; MATTEAZZI, A.; ANDREOTTI, C. Foliar applications of biostimulants promote growth, yield and fruit quality of strawberry plants grown under nutrient limitation. **Agronomy**, vol. 9, no. 9, p. 219, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090483>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal, 6ª Edição**. [S. l.: s. n.], 2017.

TAN, T. L.; ZULKIFLI, N. A.; ZAMAN, A. S. K.; JUSOH, M. binti; YAAPAR, M. N.; RASHID, S. A. Impact of photoluminescent carbon quantum dots on photosynthesis efficiency of rice and corn crops. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 162, p. 737–751, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.031>.

TRIPATHI, S.; SARKAR, S. Influence of water soluble carbon dots on the growth of wheat plant. **Applied Nanoscience (Switzerland)**, vol. 5, no. 5, p. 609–616, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13204-014-0355-9>.

VERGAUWEN, D.; DE SMET, I. The Strawberry Tales: Size Matters. **Trends in Plant Science**, vol. 24, no. 1, p. 1–3, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.007>.

VERMA, S. K.; DAS, A. K.; GANTAIT, S.; KUMAR, V.; GUREL, E. Applications of carbon nanomaterials in the plant system: A perspective view on the pros and cons. **Science of the**

Total Environment, vol. 667, p. 485–499, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.409>.

VILLAGARCIA, H.; DERVISHI, E.; DE SILVA, K.; BIRIS, A. S.; KHODAKOVSKAYA, M. V. Surface chemistry of carbon nanotubes impacts the growth and expression of water channel protein in tomato plants. **Small**, vol. 8, no. 15, p. 2328–2334, 2012.
<https://doi.org/10.1002/sml.201102661>.

WANG, H.; ZHANG, M.; SONG, Y.; LI, H.; HUANG, H.; SHAO, M.; LIU, Y.; KANG, Z. Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. **Carbon**, vol. 136, p. 94–102, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.051>.

WANG, J.; WANG, C. F.; CHEN, S. Amphiphilic egg-derived carbon dots: Rapid plasma fabrication, pyrolysis process, and multicolor printing patterns. **Angewandte Chemie - International Edition**, vol. 51, no. 37, p. 9297–9301, 2012.
<https://doi.org/10.1002/anie.201204381>.

WANG, Q.; HUANG, X.; LONG, Y.; WANG, X.; ZHANG, H.; ZHU, R.; LIANG, L.; TENG, P.; ZHENG, H. Hollow luminescent carbon dots for drug delivery. **Carbon**, vol. 59, p. 192–199, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.03.009>.

WANG, X.; CAO, L.; LU, F.; MEZIANI, M. J.; LI, H.; QI, G.; ZHOU, B.; HARRUFF, B. A.; KERMARREC, F.; SUN, Y. P. Photoinduced electron transfers with carbon dots. **Chemical Communications**, no. 25, p. 3774–3776, 2009. <https://doi.org/10.1039/b906252a>.

WELLBURN, A. R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. **Journal of Plant Physiology**, vol. 144, no. 3, p. 307–313, 1994. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2).

WU, L.; CAI, X.; NELSON, K.; XING, W.; XIA, J.; ZHANG, R.; STACY, A. J.; LUDERER, M.; LANZA, G. M.; WANG, L. V.; SHEN, B.; PAN, D. A green synthesis of carbon nanoparticles from honey and their use in real-time photoacoustic imaging. **Nano Research**, vol. 6, no. 5, p. 312–325, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12274-013-0308-8>.

XIONG, J. L.; LI, J.; WANG, H. C.; ZHANG, C. L.; NAEEM, M. S. Fullerol improves seed germination, biomass accumulation, photosynthesis and antioxidant system in *Brassica napus* L. under water stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 129, p. 130–140, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.05.026>.

XU, Xiaokai; MAO, X.; ZHUANG, J.; LEI, B.; LI, Y.; LI, W.; ZHANG, X.; HU, C.; FANG, Y.; LIU, Y. PVA-Coated Fluorescent Carbon Dot Nanocapsules as an Optical Amplifier for Enhanced Photosynthesis of Lettuce. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, vol. 8, no. 9, p. 3938–3949, 2020. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b07706>.

XU, Xiaoyou; RAY, R.; GU, Y.; PLOEHN, H. J.; GEARHEART, L.; RAKER, K.; SCRIVENS, W. A. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. **Journal of the American Chemical Society**, vol. 126, no. 40, p. 12736–12737, 2004. <https://doi.org/10.1021/ja040082h>.

YAN, X.; XU, Q.; LI, D.; WANG, J.; HAN, R. Carbon dots inhibit root growth by disrupting auxin biosynthesis and transport in *Arabidopsis*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, vol. 216, p. 112168, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112168>.

YANG, D.; LI, J.; CHENG, Y.; WAN, F.; JIA, R.; WANG, Y. Compound repair effect of carbon dots and Fe²⁺ on iron deficiency in *Cucumis melon* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 142, p. 137–142, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.035>.

YANG, Z. C.; WANG, M.; YONG, A. M.; WONG, S. Y.; ZHANG, X. H.; TAN, H.; CHANG, A. Y.; LI, X.; WANG, J. Intrinsically fluorescent carbon dots with tunable emission derived from hydrothermal treatment of glucose in the presence of monopotassium phosphate. **Chemical Communications**, vol. 47, no. 42, p. 11615–11617, 2011. <https://doi.org/10.1039/c1cc14860e>.

ZAHEDI, S. M.; KARIMI, M.; TEIXEIRA DA SILVA, J. A. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 100, no. 1, p. 25–31, 2020. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10004>.

ZHANG, M.; HU, L.; WANG, H.; SONG, Y.; LIU, Y.; LI, H.; SHAO, M.; HUANG, H.; KANG, Z. One-step hydrothermal synthesis of chiral carbon dots and their effects on mung bean plant growth. **Nanoscale**, vol. 10, no. 26, p. 12734–12742, 2018a. <https://doi.org/10.1039/c8nr01644e>.

ZHANG, M.; WANG, H.; SONG, Y.; HUANG, H.; SHAO, M.; LIU, Y.; LI, H.; KANG, Z. Pristine carbon dots boost the growth of *Chlorella vulgaris* by enhancing photosynthesis. **ACS Applied Bio Materials**, vol. 1, no. 3, p. 894–902, 2018b.

<https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00319>.

ZHAO, L.; LU, L.; WANG, A.; ZHANG, H.; HUANG, M.; WU, H.; XING, B.; WANG, Z.; JI, R. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 68, no. 7, p. 1935–1947, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615>.

ZHAO, Q. L.; ZHANG, Z. L.; HUANG, B. H.; PENG, J.; ZHANG, M.; PANG, D. W. Facile preparation of low cytotoxicity fluorescent carbon nanocrystals by electrooxidation of graphite. **Chemical Communications**, no. 41, p. 5116–5118, 2008. <https://doi.org/10.1039/b812420e>.

ZHENG, X. T.; ANANTHANARAYANAN, A.; LUO, K. Q.; CHEN, P. Glowing graphene quantum dots and carbon dots: Properties, syntheses, and biological applications. **Small**, vol. 11, no. 14, p. 1620–1636, 2015. <https://doi.org/10.1002/sml.201402648>.

ZHENG, Y.; XIE, G.; ZHANG, X.; CHEN, Z.; CAI, Y.; YU, W.; LIU, H.; SHAN, J.; LI, R.; LIU, Y.; LEI, B. Bioimaging Application and Growth-Promoting Behavior of Carbon Dots from Pollen on Hydroponically Cultivated Rome Lettuce. **ACS Omega**, vol. 2, no. 7, p. 3958–3965, 2017a. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00657>.

ZHENG, Y.; ZHANG, H.; LI, W.; LIU, Y.; ZHANG, X.; LIU, H.; LEI, B. Pollen derived blue fluorescent carbon dots for bioimaging and monitoring of nitrogen, phosphorus and potassium uptake in: *Brassica parachinensis* L. **RSC Advances**, vol. 7, no. 53, p. 33459–33465, 2017b. <https://doi.org/10.1039/c7ra04644h>.

7 ANEXOS

Anexo 1. Composições das soluções nutritivas concentradas recomendadas para o cultivo hidropônico de morango (FURLANI; FERNANDES-JUNIOR, 2004).

Sais ou fertilizantes	Solução concentrada		
	A	B	C
	g 10 L ⁻¹		
Nitrato de cálcio	1.600	0	0
Nitrato de potássio	0	1.000	1.000
Fosfato monoamônio	0	300	0
Fosfato monopotássio	0	360	720
Sulfato de magnésio	0	1.200	1.200
Ácido bórico	6	0	0
Sulfato de cobre	0,6	0	0
Sulfato de manganês	4	0	0
Sulfato de zinco	2	0	0
Molibdato de sódio	0,6	0	0
Quelato de Fe (6% Fe)	120	0	0

Anexo 2. Preparo das soluções nutritivas iniciais para o cultivo hidropônico de morango (FURLANI; FERNANDES-JUNIOR, 2004).

Fase das plantas	Solução concentrada		
	A	B	C
	*L 1000 L ⁻¹		
Vegetativa ¹	3	3	0
Frutificação ²	3	0	3

¹ Do transplante das mudas até o início da frutificação.

² Do início da frutificação em diante

* Litros de solução concentrada para cada 1000 litros de solução nutritiva pronta.

Anexo 3. Análises de Variância da produtividade e parâmetros biométricos da produção de morangueiro em função de métodos de aplicação (APLICAÇÃO) e concentrações de Arbolina (CONC.).

Produtividade (massa planta ⁻¹)						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	22344,5	22344,5	4,31	*	0,043	
CONC.	5,0	77906,3	15581,3	3,00	*	0,019	
Interação	5,0	59226,6	11845,3	2,28	o	0,061	
Tratamentos	11,0	159477	14497,9	2,80	**	0,007	
Blocos	5,0	37402,4	7480,48	1,44	Ns	0,226	
Resíduo	48,0	248915	5185,72				
Total	64,0	470330		C.V.: 39,18%			
Nº frutos planta ⁻¹)						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	85,709	85,709	2,35	Ns	0,132	
CONC.	5,0	458,979	91,7958	2,51	*	0,042	
Interação	5,0	395,003	79,0006	2,16	o	0,074	
Tratamentos	11,0	939,691	85,4264	2,34	*	0,021	
Blocos	5,0	561,415	112,283	3,07	*	0,017	
Resíduo	48,0	1754,07	36,5431				
Total	64,0	3394,67		C.V.: 35,82%			
Massa fruto ⁻¹						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,00896	0,00896	0,64	Ns	0,428	
CONC.	5,0	0,0361	0,00722	0,52	Ns	0,763	
Interação	5,0	0,06559	0,01312	0,94	Ns	0,465	
Tratamentos	11,0	0,11065	0,01006	0,72	Ns	0,715	
Blocos	5,0	0,04512	0,00902	0,64	Ns	0,667	
Resíduo	48,0	0,67168	0,01399				
Total	64,0	0,84089		C.V.: 11,44%			
Comprimento do fruto						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	9,09915	9,09915	0,60	Ns	0,443	
CONC.	5,0	64,5799	12,916	0,85	Ns	0,521	
Interação	5,0	106,062	21,2125	1,40	~	0,242	
Tratamentos	11,0	179,742	16,3401	1,08	Ns	0,400	
Blocos	5,0	36,1853	7,23706	0,48	Ns	0,792	
Resíduo	48,0	728,973	15,1869				
Total	64,0	955,39		C.V.: 11,99%			

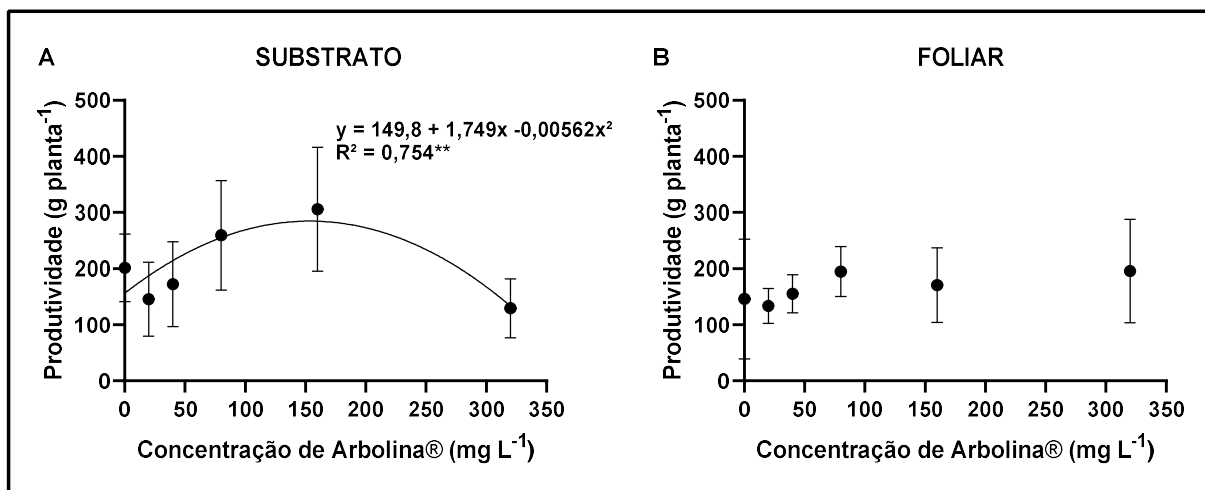
Continua na próxima página.

Largura do fruto				DBC-Fatorial (2x6)		
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor
APLICAÇÃO	1,0	3,43873	3,43873	0,32	Ns	0,576
CONC.	5,0	35,2732	7,05465	0,65	Ns	0,663
Interação	5,0	78,5853	15,7171	1,45	~	0,225
Tratamentos	11,0	117,297	10,6634	0,98	Ns	0,476
Blocos	5,0	19,2985	3,8597	0,36	Ns	0,876
Resíduo	48,0	521,459	10,8637			
Total	64,0	668,463		C.V.: 11,01%		

Anexo 4. Produtividade e número de frutos por planta de morango em função da aplicação de diferentes concentrações de Arbolina aplicada via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR).

	Concentrações de Arbolina (mg L ⁻¹)						Média	
	0	20	40	80	160	320		
Produtividade (g planta⁻¹)								
Forma de aplicação							Média	
SUBSTRATO	201,64 ± 60,29	145,75 ± 66,1	172,37 ± 75,96	259,23 ± 97,64	305,94 ± 110,43	129,19 ± 52,57	202,35 ± 77,17	A
FOLIAR	145,91 ± 106,58	133,67 ± 30,97	155,05 ± 34,12	194,99 ± 44,73	170,55 ± 66,37	195,65 ± 91,98	165,97 ± 62,46	B
Média	173,78 ± 83,44	139,71 ± 48,54	163,71 ± 55,04	227,11 ± 71,19	238,25 ± 88,40	162,42 ± 72,28	184,16 ± 69,81	
Nº de frutos planta⁻¹								
Forma de aplicação							Média	
SUBSTRATO	18,17 ± 5,23	13,40 ± 5,27	16,50 ± 3,70	25,40 ± 9,56	23,40 ± 7,73	11,33 ± 5,50	18,03 ± 6,17	A
FOLIAR	14,67 ± 9,11	14,33 ± 5,54	14,00 ± 2,97	16,50 ± 3,15	17,80 ± 5,40	17,80 ± 10,23	15,85 ± 6,07	A
Média	16,42 ± 7,17	13,87 ± 5,41	15,25 ± 3,33	20,95 ± 6,35	20,60 ± 6,57	14,57 ± 7,87	16,94 ± 6,12	

Médias de cada linha seguidas por diferentes letras são significativamente diferentes pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade



Anexo 5. Produtividade de morangueiro em função da aplicação de diferentes concentrações de Arbolina aplicada via substrato (SUBSTRATO) (A) e via pulverização foliar (FOLIAR) (B). Barras representam o desvio padrão das médias.** Significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Anexo 6. Coeficientes de Correlação simples de Pearson entre número de frutos, parâmetros biométricos e fisiologia em relação à produtividade de morangueiro produzido sob cultivo protegido, em função de concentrações de Arbolina aplicadas via substrato (SUBSTRATO) e via pulverização foliar (FOLIAR).

	Produtividade (g planta ⁻¹)	
	SUBSTRATO	FOLIAR
Nº de frutos planta ⁻¹	0,72 **	0,85 **
Massa do fruto	0,39 *	0,23 ns
Comprimento	0,51 **	0,34 *
Largura	0,59 **	0,30 ns
Fotossíntese	0,25 ns	0,09 ns
Condutância estomática	0,56 **	0,04 ns
Carbono interno	0,49 **	0,02 ns
Transpiração	0,29 ns	0,19 ns
EUA	-0,21 ns	-0,27 ns
AST	-0,10 ns	-0,13 ns
Clorofila A	-0,05 ns	0,08 ns
Clorofila B	-0,20 ns	0,10 ns
Clorofila (A+B)	-0,17 ns	0,13 ns
Carotenóides	-0,01 ns	-0,03 ns

* Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

** Significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Anexo 7. Análises de Variância de parâmetros qualidade química de morangos produzidos em função de métodos de aplicação (APLICAÇÃO) e concentrações de Arbolina (CONC.).

pH							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	3,6E-07	3,6E-07	0,00	Ns	0,993		
CONC.	5,0	0,0605	0,0121	2,94	*	0,021		
Interação	5,0	0,03925	0,00785	1,91	~	0,110		
Tratamentos	11,0	0,09975	0,00907	2,20	*	0,030		
Blocos	5,0	0,0204	0,00408	0,99	Ns	0,433		
Resíduo	48,0	0,19742	0,00411					
Total	64,0	0,32614		C.V.: 1,91%				
Acidez Total Titulável							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	0,00187	0,00187	0,36	Ns	0,552		
CONC.	5,0	0,02112	0,00422	0,81	Ns	0,548		
Interação	5,0	0,03265	0,00653	1,25	Ns	0,299		
Tratamentos	11,0	0,05564	0,00506	0,97	Ns	0,485		
Blocos	5,0	0,05411	0,01082	2,08	Ns	0,085		
Resíduo	48,0	0,25003	0,00521					
Total	64,0	0,36685		C.V.: 8,16%				
Sólidos Solúveis Totais							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	0,10183	0,10183	0,20	Ns	0,655		
CONC.	5,0	2,86867	0,57373	1,14	Ns	0,352		
Interação	5,0	1,40127	0,28025	0,56	Ns	0,732		
Tratamentos	11,0	4,37177	0,39743	0,79	Ns	0,649		
Blocos	5,0	6,1093	1,22186	2,43	*	0,048		
Resíduo	48,0	24,1564	0,50326					
Total	64,0	34,8184		C.V.: 11,13%				
Relação SST/AT							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	0,00319	0,00319	0,00	Ns	0,954		
CONC.	5,0	3,5092	0,70184	0,73	Ns	0,606		
Interação	5,0	2,19942	0,43988	0,46	Ns	0,806		
Tratamentos	11,0	5,71181	0,51926	0,54	Ns	0,867		
Blocos	5,0	4,45558	0,89112	0,92	Ns	0,473		
Resíduo	48,0	46,2448	0,96343					
Total	64,0	56,9999		C.V.: 13,54%				

Anexo 8. Análises de Variância de parâmetros de coloração de morangos produzidos em função de métodos de aplicação (APLICAÇÃO) e concentrações de Arbolina (CONC.).

L*							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	2,46208	2,46208	0,44	Ns	0,512		
DOSES	5,0	285,495	57,0989	10,16	**	< 0,001		
Interação	5,0	101,426	20,2853	3,61	**	0,009		
Tratamentos	11,0	389,383	35,3985	6,30	**	< 0,001		
Blocos	4,0	29,3078	7,32695	1,30	Ns	0,286		
Resíduo	37,0	207,843	5,61739					
Total	52,0	704,759		C.V.: 4,39%				
C*							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	175,036	175,036	4,00	Ns	0,053		
DOSES	5,0	1174,11	234,821	5,37	**	< 0,001		
Interação	5,0	269,772	53,9545	1,23	Ns	0,313		
Tratamentos	11,0	1618,91	147,174	3,36	**	0,003		
Blocos	4,0	349,864	87,466	2,00	Ns	0,114		
Resíduo	38,0	1662,65	43,754					
Total	53,0	4172,75		C.V.: 19,15%				
h*							DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor		
APLICAÇÃO	1,0	27,2732	27,2732	4,70	*	0,036		
DOSES	5,0	93,7727	18,7545	3,23	*	0,016		
Interação	5,0	31,6173	6,32345	1,09	Ns	0,382		
Tratamentos	11,0	152,663	13,8785	2,39	*	0,023		
Blocos	4,0	32,161	8,04025	1,39	Ns	0,257		
Resíduo	38,0	220,469	5,80181					
Total	53,0	446,238		C.V.: 10,91%				

Anexo 9. Análises de Variância de composição química de morangos produzidos em função de métodos de aplicação (APLICAÇÃO) e concentrações de Arbolina (CONC.).

Umidade						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	8E-05	8E-05	0,20	Ns	0,660	
CONC.	5,0	0,00442	0,00088	2,18	Ns	0,077	
Interação	5,0	0,00044	8,8E-05	0,22	Ns	0,953	
Tratamentos	11,0	0,00494	0,00045	1,11	Ns	0,381	
Blocos	4,0	0,00248	0,00062	1,53	Ns	0,213	
Resíduo	37,0	0,01496	0,0004				
Total	52,0	0,02313					
Transformação:	arsen(raiz (y/100))			C.V.: 1,55 %			
Carboidratos						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,21326	0,21326	0,20	Ns	0,657	
CONC.	5,0	9,3842	1,87684	1,76	Ns	0,146	
Interação	5,0	1,31545	0,26309	0,25	Ns	0,939	
Tratamentos	11,0	10,9129	0,99208	0,93	Ns	0,524	
Blocos	4,0	4,79639	1,1991	1,12	Ns	0,360	
Resíduo	37,0	39,4837	1,06713				
Total	52,0	56,9513		C.V.: 16,49%			
Proteínas						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,01027	0,01027	1,66	Ns	0,205	
CONC.	5,0	0,04867	0,00973	1,57	Ns	0,191	
Interação	5,0	0,04303	0,00861	1,39	~	0,250	
Tratamentos	11,0	0,10198	0,00927	1,50	Ns	0,173	
Blocos	4,0	0,04993	0,01248	2,02	Ns	0,112	
Resíduo	37,0	0,22881	0,00618				
Total	52,0	0,3892		C.V.: 14,29%			
Lipídios						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,00456	0,00456	2,02	Ns	0,164	
CONC.	5,0	0,13674	0,02735	12,11	**	< 0,001	
Interação	5,0	0,02627	0,00525	2,33	o	0,063	
Tratamentos	11,0	0,16757	0,01523	6,74	**	< 0,001	
Blocos	4,0	0,02803	0,00701	3,10	*	0,027	
Resíduo	36,0	0,08132	0,00226				
Total	51,0	0,32991		C.V.: 24,18%			

Continua na próxima página.

Cinzas				DBC-Fatorial (2x6)		
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor
APLICAÇÃO	1,0	0,00412	0,00412	0,84	Ns	0,367
CONC.	5,0	0,02705	0,00541	1,10	Ns	0,379
Interação	5,0	0,0409	0,00818	1,66	~	0,169
Tratamentos	11,0	0,07207	0,00655	1,33	Ns	0,248
Blocos	4,0	0,06826	0,01707	3,46	*	0,017
Resíduo	37,0	0,18251	0,00493			
Total	52,0	0,3359		C.V.: 18,55%		

Anexo 10. Análises de Variância de parâmetros de fisiologia de morangueiro em função de métodos de aplicação (APLICAÇÃO) e concentrações de Arbolina (CONC.).

Assimilação líquida de CO ₂				DBC-Fatorial (2x6)		
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor
APLICAÇÃO	1,0	0,02422	0,02422	0,02	Ns	0,887
CONC.	5,0	9,98216	1,99643	1,68	Ns	0,158
Interação	5,0	6,31888	1,26378	1,06	Ns	0,393
Tratamentos	11,0	16,3253	1,48411	1,25	Ns	0,283
Blocos	5,0	79,2674	15,8535	13,33	**	< 0,001
Resíduo	48,0	57,0737	1,18904			
Total	64,0	155,905		C.V.: 6,91%		
Condutância estomática				DBC-Fatorial (2x6)		
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor
APLICAÇÃO	1,0	0,01482	0,01482	2,30	Ns	0,136
CONC.	5,0	0,02332	0,00466	0,72	Ns	0,610
Interação	5,0	0,08817	0,01763	2,73	*	0,030
Tratamentos	11,0	0,1263	0,01148	1,78	Ns	0,084
Blocos	5,0	0,11742	0,02348	3,64	**	0,007
Resíduo	48,0	0,30963	0,00645			
Total	64,0	0,57196		C.V.: 21,46%		
Concentração interna de CO ₂				DBC-Fatorial (2x6)		
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor
APLICAÇÃO	1,0	681,128	681,128	3,42	Ns	0,071
CONC.	5,0	334,896	66,9791	0,34	Ns	0,889
Interação	5,0	1685,81	337,163	1,69	~	0,155
Tratamentos	11,0	2701,84	245,621	1,23	Ns	0,292
Blocos	5,0	1344,98	268,996	1,35	Ns	0,260
Resíduo	48,0	9565,82	199,288			
Total	64,0	14035		C.V.: 5,04%		

Continua na próxima página.

Transpiração						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,17479	0,17479	0,97	Ns	0,331	
CONC.	5,0	0,47457	0,09491	0,52	Ns	0,757	
Interação	5,0	1,97696	0,39539	2,18	o	0,071	
Tratamentos	11,0	2,62632	0,23876	1,32	Ns	0,244	
Blocos	5,0	18,8901	3,77803	20,87	**	< 0.001	
Resíduo	48,0	8,69014	0,18104				
Total	64,0	30,4856	C.V.: 9,48%				
Eficiência de uso da água						DBC-Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,186	0,186	1,89	Ns	0,176	
CONC.	5,0	0,16138	0,03228	0,33	Ns	0,894	
Interação	5,0	0,65271	0,13054	1,33	Ns	0,269	
Tratamentos	11,0	1,0001	0,09092	0,92	Ns	0,526	
Blocos	5,0	2,2189	0,44378	4,51	**	0,002	
Resíduo	48,0	4,72329	0,0984				
Total	64,0	8,10013	C.V.: 8,83%				

Anexo 11. Análises de Variância de pigmentos e açúcares solúveis totais de morangueiro em função de métodos de aplicação (APLICAÇÃO) e concentrações de Arbolina (CONC.).

Clorofila A						DBC - Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	26,4834	26,4834	3,36	Ns	0,073	
DOSE	5,0	72,447	14,4894	1,84	Ns	0,122	
Interação	5,0	19,4077	3,88155	0,49	Ns	0,780	
Tratamentos	11,0	118,338	10,758	1,36	Ns	0,219	
Blocos	5,0	39,3904	7,87809	1,00	Ns	0,428	
Resíduo	50,0	394,147	7,88293				
Total	66,0	564,658		C.V.: 18,01%			
Clorofila B						DBC - Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	0,12614	0,12614	0,05	Ns	0,828	
DOSE	5,0	10,081	2,01621	0,76	Ns	0,581	
Interação	5,0	14,7993	2,95986	1,12	Ns	0,362	
Tratamentos	11,0	25,0065	2,27332	0,86	Ns	0,584	
Blocos	5,0	34,7056	6,94112	2,62	*	0,035	
Resíduo	50,0	132,227	2,64453				
Total	66,0	194,509		C.V.: 12,33%			
Carotenoides						DBC - Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	3,19507	3,19507	4,50	*	0,039	
DOSE	5,0	6,40854	1,28171	1,81	Ns	0,129	
Interação	5,0	1,81105	0,36221	0,51	Ns	0,767	
Tratamentos	11,0	11,4147	1,0377	1,46	Ns	0,176	
Blocos	5,0	5,60275	1,12055	1,58	Ns	0,183	
Resíduo	50,0	35,467	0,70934				
Total	66,0	53,8248		C.V.: 23,85%			
Açúcares Solúveis Totais						DBC - Fatorial (2x6)	
F.V.	GL	SQ	QM	F		p-valor	
APLICAÇÃO	1,0	266,257	266,257	1,16	Ns	0,288	
CONC.	5,0	4952,8	990,56	4,32	**	0,003	
Interação	5,0	2289,57	457,913	2,00	~	0,101	
Tratamentos	11,0	7508,62	682,602	2,98	**	0,006	
Blocos	4,0	2448,35	612,088	2,67	*	0,047	
Resíduo	38,0	8716,56	229,383				
Total	53,0	20962		C.V.: 11,25%			