



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA - FAV

JESSYCA DA SILVA RODRIGUES

INFLUÊNCIA DA ARBOLINA (CARBON DOTS) NO CRESCIMENTO DE ALFACE
(*LACTUCA SATIVA* L.) CULTIVADO EM SISTEMA HIDROPÔNICO

Brasília – DF
Fevereiro de 2023



INFLUÊNCIA DA ARBOLINA (CARBON DOTS) NO CRESCIMENTO DE ALFACE
(*LACTUCA SATIVA* L.) CULTIVADO EM SISTEMA HIDROPÔNICO

Jessyca da Silva Rodrigues. Projeto final de Trabalho de conclusão do curso, submetido à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Jader Galba Busato

Brasília- DF
Fevereiro de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SR696i Silva Rodrigues, Jessyca
Influência da Arbolina (Carbon-dots) no crescimento de
alface (*Lactuca sativa* L.) Cultivado em sistema hidropônico
/ Jessyca Silva Rodrigues; orientador Jader Galba Busato. -
Brasília, 2023.
41 p.

Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de
Brasília, 2023.

1. Biofertilizante vegetal. 2. cultivo hidropônico. 3.
desenvolvimento vegetal. 4. nanotecnologia. I. Galba
Busato, Jader, orient. II. Título.

Cessão de direitos

Nome do autor (a): Jessyca da Silva Rodrigues

Título do trabalho de conclusão de curso: Influência da Arbolina (carbon dots) no crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivado em sistema hidropônico.

Ano: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desse relatório e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva-se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desse relatório pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

JESSYCA DA SILVA RODRIGUES

Influência da Arbolina (carbon dots) no crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivado
em sistema hidropônico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 16 de fevereiro de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador: Professor Dr. Jader Galba Busato

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

Examinador (a): Dra. Alessandra Monteiro de Paula

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília

Examinador: Prof. Dr. Uidemar Moraes Barral

Instituto de Geociências – Universidade de Brasília

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pelo dom da vida e pela graça de ter chegado até aqui.

Aos meus pais, Eliene da Silva Cruz, Gerson Rodrigues Fialho, ao meu segundo pai Tiago José Rodrigues e ao meu irmão Thales da Silva Rodrigues que sempre estiveram comigo e que me formaram como pessoa. Sem vocês eu não estaria realizando o meu sonho.

Ao meu namorado, Gabriel Gonçalves Moreira, pelo apoio e companheirismo desde o início da minha graduação.

Em especial, ao meu orientador, o Prof. Dr. Jader Galba Busato, pela docência em Fertilidade do solo e adubação, que despertou o meu interesse nesta área. Agradeço a prontidão, acolhimento e paciência desde o início deste projeto de pesquisa, o qual não mediu esforços para me auxiliar em todas as etapas deste TCC.

À Prof. Dr. Alessandra Monteiro de Paula, pelos ensinamentos, acolhimento e orientações em diversos momentos.

Aos amigos do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, em especial a Samia Gomes que me auxiliou em diversos momentos, ao Lucas Mazzoco, Ana Gabriela, Gabriel Oliveira, Wellington Lucas, Everton Fulgêncio e ao Rodrigo Monteiro pela confecção da câmara de crescimento de plantas.

À Universidade de Brasília, onde tive a oportunidade de conhecer amigos que contribuíram para a minha formação acadêmica, Antônio Carlos, Vivian Gabriela, Lamara Gabriele e a todos do meu semestre, obrigada pela companhia e amizade.

Agradeço à startup Krilltech e ao Prof. Marcelo Rodrigues que disponibilizam a Arbolina para realizar este TCC.

Aos amigos Rafael e Ézio Miranda pela ajuda na montagem do Sistema de Hidroponia.

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida mundialmente. A produção de alface tem sido expressiva e grande parte do cultivo é realizada por pequenos proprietários rurais, com mão-de-obra familiar. A produção dessa hortaliça em sistema de cultivo protegido tem ganhado espaço, assim como o uso de biofertilizantes vegetais tem crescido entre os horticultores, com especial atenção aqueles desenvolvidos a partir dos conhecimentos da nanotecnologia. O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da adição de concentrações crescentes de Arbolina, um biofertilizante vegetal à base de nanopartículas do tipo C-dots, sobre o crescimento de alface crespa cultivada em casa-de-vegetação, em sistema hidropônico. O experimento foi desenvolvido em duas etapas. A primeira foi realizada em câmara de crescimento vegetal, em sistema hidropônico, para determinar uma possível concentração ótima de Arbolina, diluída na solução nutritiva. Esse experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e quatro concentrações de Arbolina (0, 50, 100 e 150 mg/L), sendo avaliados massa seca e úmida da parte aérea e sistema radicular de plantas de alface, comprimento radicular, número de folhas e área foliar. A partir dos resultados modelados nesse primeiro experimento, um segundo, dessa vez em casa-de-vegetação e empregando-se o sistema NTF, foi realizado utilizando o tratamento controle (solução nutritiva, sem Arbolina) e a melhor concentração modelada no primeiro ensaio. Após 21 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e avaliadas quanto ao número de folhas, massa seca foliar e massa seca radicular. No primeiro ensaio, com os dados obtidos, foram modeladas equações quadráticas tomando como fator decisório para a aceitação do modelo o valor de R^2 e a sua significância. A concentração ótima determinada foi de 71,93 mg/L. Quando cultivada em casa-de-vegetação, essa concentração diluída na solução nutritiva aumentou a massa seca foliar em 43% quando comparada ao tratamento controle, enquanto a massa seca radicular e número de folhas aumentaram 30% e 21% respectivamente. A aplicação de Arbolina na concentração

71,93 mg/L, diluída na solução nutritiva, foi capaz de estimular o crescimento da alface crespa cultivada em sistema de hidropônico.

Palavras-chave: Biofertilizante vegetal; cultivo hidropônico; desenvolvimento vegetal; nanotecnologia.

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is the most consumed leafy vegetable worldwide. Lettuce production has been expressive and a large part of the cultivation is carried out by small rural landowners, with family labor. The production of this vegetable in a protected cultivation system has gained space, as well as the use of vegetable biofertilizers has grown among horticulturists, with special attention to those developed from the knowledge of nanotechnology. This study aimed to evaluate the effects of adding increasing concentrations of Arbolina, a vegetable biofertilizer based on nanoparticles of the C-dots type, on the growth of curly lettuce grown in a greenhouse, in a hydroponic system. The experiment was developed in two stages. The first was carried out in a plant growth chamber, in a hydroponic system, to determine a possible optimal concentration of Arbolina, diluted in the nutrient solution. This experiment was carried out in a completely randomized design, with three replications and four Arbolin concentrations (0, 50, 100 and 150 mg/L), evaluating the dry and wet mass of the aerial part and root system of lettuce plants, root length, number of leaves and leaf area. Based on the results modeled in this first experiment, a second one, this time in a greenhouse and using the NTF system, was carried out using the control treatment (nutritive solution, without Arbolin) and the best concentration modeled in the first test. After 21 days of cultivation, the plants were collected and evaluated for the number of leaves, leaf dry mass and root dry mass. In the first test, with the data obtained, quadratic equations were modeled, taking the value of R^2 and its significance as a decisive factor for accepting the model. The optimal concentration determined was 71.93 mg/L. When grown in a greenhouse, this concentration diluted in the nutrient solution increased leaf dry mass by 43% when compared to the control treatment, while root dry mass and number of leaves increased by 30% and 21% respectively. The application of Arbolina at a concentration of 71.93 mg/L, diluted in the nutrient solution, was able to stimulate the growth of curly lettuce grown in a hydroponic system.

Keywords: Vegetable biofertilizer; hydroponic cultivation; plant development; nanotechnology..

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Técnica do filme de nutrientes (NFT) em sistema hidropônico. Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília. Janeiro de 2023.....	18
FIGURA 2. Câmara de crescimento de plantas e sistema de cultivo hidropônico, com aeração. Laboratório de Química e Fertilidade do solo.....	23
FIGURA 3. Esquematização das etapas da primeira etapa do experimento.....	24
FIGURA 4. Cultivo hidropônico de alface tipo crespa em casa-de-vegetação.....	27
FIGURA 5. Curvas de regressão quadrática para a massa úmida foliar - (A), massa úmida radicular - (B), massa seca foliar - (C), massa seca radicular (D), número de folhas - (E), área foliar - (F) e comprimento radicular - (G) para análise da concentração ótima.....	28 e 29
FIGURA 6. Efeito da Arbolina (71,93 mg/L) sobre a Massa Seca foliar (A), Massa Seca Radicular (B) e Número de folhas (C) aos 21 dias de tratamento. Os valores representam a média de 24 plantas \pm erro padrão e foram normalizados em relação ao controle. ** resultado com significância e valor de $p = 0,01$ e * com valor $<$ que $0,05$	32

LISTA DE TABELAS E ANEXOS

TABELA 1. Modelo de Concentração ótima, coeficiente de correlação (R^2), desvio-padrão da regressão (DP) e ponto de inflexão (contração ideal) para a massa úmida das folhas (MUF), massa úmida das raízes (MUR), massa seca das folhas (MSF), massa seca radicular (MSR), área foliar (AF), número de folhas (NF) e comprimento radicular (CR) da alface tipo crespa após 15 dias em tratamento com C-dots mais solução nutritiva em sistema hidropônico.....30

ANEXO 1. Quantidade de sais para o preparo de 1000 L de solução nutritiva (FURLANI, P. *et al.* 1999)41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Área foliar
CE	Condutividade elétrica
C-dots	Carbon-dots
Cm	Centímetro
CR	Comprimento radicular
G	Gramas
kg/m ³	Quilograma por Metro Cúbico
L	Litros
Mg/L	Milígrama por Litro
Mm	Milímetro
MSF	Massa Seca Foliar
MSR	Massa Seca Radicular
MST	Massa Seca Total
MUR	Massa Seca Total
MUF	Massa Úmida Foliar
NF	Número de folhas
NFT	Técnica do filme de nutrientes
Nm	Nanômetro
μS	MicroSiemens

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 A CULTURA DA ALFACE E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA.....	15
2.2. O CULTIVO EM SISTEMA HIDROPÔNICO.....	17
2.3 BIOFERTILIZANTES VEGETAIS DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA	19
2.4 CARBON DOTS E SEUS EFEITOS NA APLICAÇÃO EM PLANTAS.....	20
3. HIPÓTESE	21
4. OBJETIVOS	21
5. MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1 CULTIVO EM CÂMARA DE CRESCIMENTO.....	22
5.2 CULTIVO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO.....	26
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
7. CONCLUSÕES	34
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXO.....	41

1.INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida mundialmente (CONDE, T. *et al.* 2021). Da mesma forma, é a hortaliça folhosa de maior consumo no Brasil, podendo ser consumida na forma de saladas e sanduíches, principalmente em redes de fast-foods. Possui baixo valor calórico e é enriquecida em vitaminas A, E, e C, complexo B e minerais como cálcio, fósforo, potássio e ferro (DEMARTELAERE, A. *et al.* 2020).

A produção de alface no Brasil é expressiva e em grande parte é realizada por pequenos produtores, que tem como fonte de renda a comercialização desta folhosa nos comércios locais em feiras e supermercados de pequeno porte (SOUSA, A. *et al.* 2022). Conforme o Anuário Brasileiro de Horti e Fruti (2019), a área colhida de alface no Brasil no ano de 2019 foi de 86 mil hectares, resultando numa produção de 575 mil toneladas. As alfaces mais conhecidas e consumidas são as crespas e as lisas (DEMARTELAERE, A. *et al.* 2020).

Em função de variáveis climáticas e maior proteção contra pragas e doenças, a produção de hortaliças utilizando cultivo protegido tem ganhado espaço. Ainda, alguns produtores passaram a realizar atividades em estufas agrícolas com sistemas hidropônicos NFT (Nutrient Film Technique, em inglês, ou Técnica do filme de nutrientes, em português) (LEMOS, J. 2021). O cultivo hidropônico é uma tecnologia capaz de superar questões críticas de escassez de recursos, apresentando-se inclusive como uma solução sustentável que pode ter um bom potencial em áreas desérticas, demonstrando boa rentabilidade aos agricultores (ZEN, H. *et al.* 2021).

Nas últimas décadas, inovações tecnológicas têm sido propostas para aumentar a sustentabilidade agrícola, por meio da redução do uso de agroquímicos como pesticidas e fertilizantes (EMBRAPA, 2018). Nesse sentido, o uso de biofertilizantes do crescimento vegetal apresenta-se como alternativa promissora. Bioestimulantes vegetais são substâncias ou

microrganismos aplicados 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). No presente trabalho o produto Arbolina atua como um bioestimulante, mas foi registrado no Ministério da Agricultura - MAPA como um biofertilizante vegetal. Os biofertilizantes vegetais mais pesquisados são as substâncias húmicas, extratos de algas marinhas e hidrolisados de proteínas (WANG, Z. *et al.* 2022) mas, recentemente, uma nova categoria de biofertilizantes foi proposta, a das nanopartículas e nanomateriais (JUÁREZ, M. *et al.* 2019), comumente definidas como materiais com pelo menos uma dimensão menor que 100 nm. Os nanomateriais à base de carbono (C-dots) também tem atraído atenção devido às suas propriedades fluorescentes, estabilidade à luz, solubilidade elevada e baixa toxicidade ao ambiente (XIA, C. *et al.* 2019). Devido à essas propriedades, os C-dots 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, H, *et al.* 2018).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A CULTURA DA ALFACE E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

A alface (*Lactuca sativa L.*) é a hortaliça folhosa mais consumida mundialmente (CONDE, T. *et al.* 2021) e é originária da Europa e da Ásia, pertencendo à família *Asteraceae*. Trata-se de uma planta anual, herbácea, delicada, com o caule pequeno, onde as folhas crescem em forma de roseta podendo apresentar diferentes formatos que variam de lisas a crespas, bastante recortadas ou não, com ou sem formação de cabeça (DEMARTELAERE, A. *et al.* 2020).

Devido à sua origem, as cultivares crescem e se desenvolvem melhor em temperaturas amenas. No inverno, todavia, em muitas partes do Brasil, os danos causados pelos ventos frios e geadas limitam a produção. No verão, as chuvas de curta duração e alta intensidade, aliadas a temperaturas elevadas, são responsáveis pelas maiores perdas (FERNANDES, P. *et al.* 2020). As condições climáticas das principais regiões produtoras de hortaliças no Brasil possuem grandes variações, o que acarreta prejuízos, perdas de produtividade e qualidade, se fazendo necessário, muitas das vezes, o seu cultivo em túneis cobertos, produção em telados, estufas e sistemas hidropônicos, a fim de diminuir estes impactos negativos (FAVARATO, L *et al.* 2017)

A produção nacional de alface alcançou 575 mil toneladas no ano de 2019, sendo a região Centro-Sul a principal produtora. Entretanto, por se tratar de um produto altamente perecível e largamente consumida, é cultivada em todas as regiões, especialmente em áreas próximas dos grandes centros, os chamados “cinturões verdes” (Anuário brasileiro de Horti e Fruti, (2019).

Existe uma grande variedade de cultivares de alface no mercado, que exploram diferenças nos formatos, tamanhos e cores das plantas (SUINAGA. F, *et al.* 2013). As cultivares de alface se diferenciam em grupos e subgrupos, de tipos morfológicos principais, com base na formação de cabeça e tipo de folhas. As principais são 1) Repolhuda Lisa, que apresenta folhas lisas, delicadas e macias, com aspecto oleoso (“manteiga”), formando uma cabeça típica e compacta; algumas cultivares disponíveis no mercado são ‘Áurea’, ‘Aurélia’, ‘Aurora’; 2) Repolhuda Crespa ou Americana, com folhas crespas, consistentes e crocantes, cabeça grande e bem compacta; exemplo de cultivares ‘América Delícia’, ‘Grandes lagos’, ‘Crespa Repolhuda’; 3) Solta Crespa, com folhas grandes e crespas, textura macia, mas consistente, sem formação de cabeça, podendo ter coloração verde ou roxa; algumas cultivares são ‘Verônica’, ‘Itapuã 401’, ‘Vanda’ (ALBUQUERQUE, B. *et al.* 2022; HENZ, G. *et al.* 2009).

As alfaces mais conhecidas e consumidas no Brasil são as crespas e as lisas. Nos últimos anos, tem aumentado o interesse de produtores e consumidores pelo tipo “repolhuda crespa ou americana”, já ofertada de forma regular em todos os mercados brasileiros. (AGRO INSIGHT, 2022).

A produção de alface tem sido expressiva e grande parte do cultivo é realizada por pequenos produtores que tem como fonte de renda a comercialização desta folhosa nos comércios locais em feiras e em supermercados de pequeno porte (SOUSA, A. *et al.* 2022). Os hábitos alimentares da população evidenciam essa condição que é favorecida pela fácil aquisição do produto, pelo seu sabor, pela qualidade nutritiva e por ser uma hortaliça de baixo custo (SANTOS, M. *et al.* 2015).

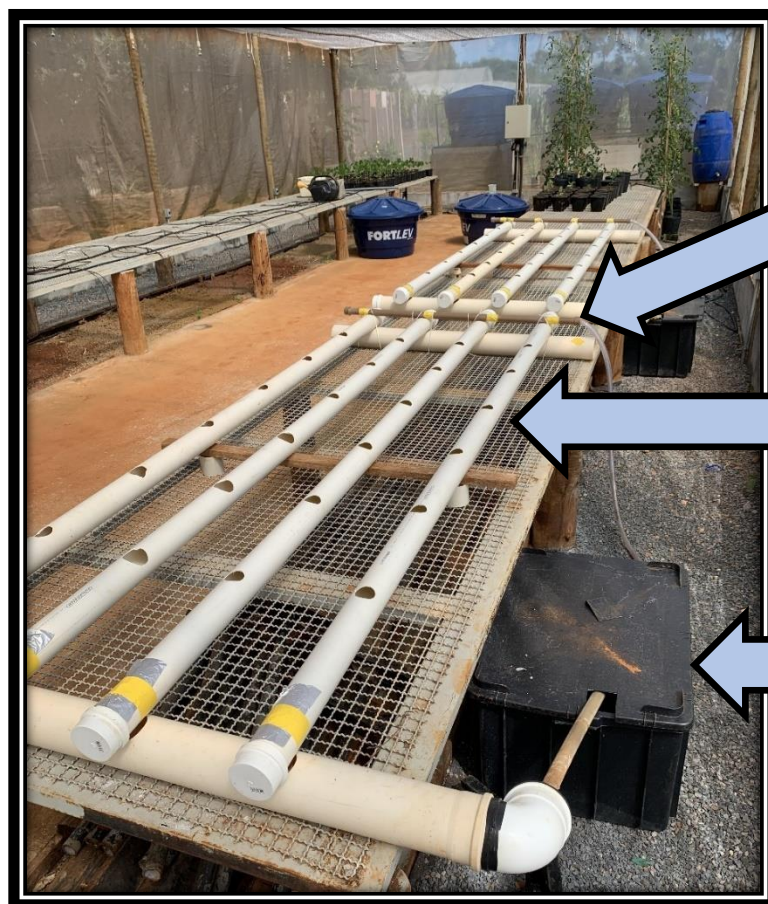
2.2. O CULTIVO EM SISTEMA HIDROPÔNICO

O termo hidroponia significa o cultivo de plantas em meio líquido. É derivado de duas palavras de origem grega: hydro, que significa água, e ponos que significa trabalho. Esta definição foi proposta pelo Professor William Frederick Gericke, da Universidade da Califórnia, nos Estados Unidos, ainda nos anos 1930 (SANCHEZ, S. 2007). É uma inovação tecnológica capaz de superar questões críticas de escassez de recursos, apresentando-se inclusive como uma solução sustentável que pode ter um bom potencial em áreas desérticas, demonstrando boa rentabilidade aos agricultores (ZEN, H. *et al.* 2021).

A hidroponia apresenta grandes benefícios no cultivo comercial das plantas, tais como a padronização da cultura e do ambiente radicular, redução no uso de água e fertilizantes, maior produtividade, diminuição do tempo para cultivo, além de representar melhor ergonomia para o trabalhador e dispensar a rotação de culturas (SARRO, C. 2019; BARON, L. *et al.* 2021).

A técnica NFT é utilizada na hidroponia e consiste em fornecer uma solução nutritiva com todos os elementos essenciais à planta, que são alojadas com ou sem substrato em canais

como canos de PVC e perfis hidropônicos. Com um declive que pode variar de 3 a 12%, a solução circula pelas raízes através de uma fina lâmina, permitindo a oxigenação necessária para as raízes, retornando para o tanque de armazenamento, para posteriormente, em intervalo estabelecido, ser recirculada novamente pelos canais (DEMARTELAERE, A. *et al.* 2020). A Figura 1 ilustra alguns dos componentes do sistema empregado no presente trabalho.



Cano de distribuição da solução (32 mm) para os canos que formam o leito de cultivo

Canos de PVC de 75 mm, com declividade de aproximadamente 5%, que formam o leito de cultivo

Reservatório de solução contendo bomba para recirculação

Figura 1. Técnica do filme de nutrientes (NFT) em sistema hidropônico. Estação Experimental de Biologia da Universidade de Brasília. Janeiro de 2023.

As principais vantagens do sistema NFT são a diminuição do tempo para cultivo e do consumo e desperdícios de água e fertilizantes, não necessidade de rotação de cultura e maior

produtividade. Porém, como suas principais desvantagens pode-se citar o custo inicial alto, necessidade de mão-de-obra especializada e dependência de eletricidade nos sistemas automáticos (BARON, L. *et al.* 2021).

2.3 BIOFERTILIZANTES VEGETAIS: DEFINIÇÕES E IMPORTÂNCIA

Nas últimas décadas, várias inovações tecnológicas foram propostas para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, com especial atenção dedicada ao desenvolvimento, validação e uso de biofertilizantes do crescimento vegetal (ROUPHAEL, Y. 2020). Bioestimulantes vegetais são substâncias ou microrganismos aplicados 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). No presente trabalho o produto Arbolina atua como um bioestimulante, mas foi registrado no Ministério da Agricultura - MAPA como um biofertilizante vegetal. Os biofertilizantes vegetais mais pesquisados são as substâncias húmicas, extratos de algas marinhas e hidrolisados de proteínas.

Diferentes biofertilizantes desempenham papéis variados no crescimento das plantas. Por exemplo, os ácidos fúlvicos, constituinte de substâncias húmicas com tamanho molecular pequeno, podem melhorar o crescimento radicular a partir do aumento do número de raízes laterais, comprimento das raízes laterais, massa e absorção de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn. (WANG, Z. *et al.* 2022). A aplicação via substrato de biofertilizante vegetal à base de extratos de algas afetou positivamente o crescimento das mudas de alface, aumentando os teores de matéria seca, clorofila, carotenoides e proteínas da parte aérea da planta (PUGLISI, I. *et al.* 2022). Já os ácidos húmicos, fração de maior massa molecular das substâncias húmicas, podem regular as trocas gasosas e aumentar a formação do sistema radicular em feijoeiro (CANGUSSÚ, L. 2021).

Uma inovação promissora e ecologicamente correta seria o uso de biofertilizantes obtidos a partir de fontes naturais e renováveis que melhoram a floração, o crescimento das plantas, a frutificação, a produtividade das culturas e a eficiência do uso de nutrientes, e que sejam capazes também de melhorar a tolerância contra uma ampla gama de estressores abióticos (ROUPHAEL, C. 2020).

2.4 CARBON DOTS E SEUS EFEITOS NA APLICAÇÃO EM PLANTAS

Os nanomateriais à base de carbono têm se destacado em diversas áreas do conhecimento. Os pontos de carbono (C-dots) atraíram atenção como um novo tipo de nanomaterial à base de carbono fluorescente devido às suas propriedades ópticas como forte absorção, fotoluminescência brilhante, excelente estabilidade à luz, baixa toxicidade ao ambiente e biocompatibilidade (XIA, C. *et al.* 2019). Possuem morfologia quase esférica, com diâmetros inferiores a 10 nm, tendo sido inicialmente apresentados em 2004 a partir da purificação de nanotubos de carbono de parede única (LIMA, S, *et al.* 2021). Em laboratório, apresentam processo de síntese relativamente simplificado, bem como possibilidade de funcionalização da superfície, baixa toxicidade, alta solubilidade em água e biocompatibilidade (COSTA, R. *et al.* 2021).

Devido a essas propriedades, os C-dots apresentam grande potencial para uso agrícola, e os resultados já publicados com esse tipo de material apontam para a maior tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, maior capacidade de absorção de nutrientes e maior taxa de fotossíntese, os quais podem estimular o crescimento e produtividade das lavouras (LI, H. *et al.* 2018). A aplicação de C-dots aumentou a produtividade de arroz em 14,5% devido a capacidade de adsorção de água, dos grupos superficiais -COOH e -OH que acelera a germinação das sementes e conseqüentemente o desenvolvimento das raízes (LI, H. *et al.* 2018). A aplicação de C-dots no morangueiro, via substrato ou via pulverização foliar, aumentou a

massa seca, comprimento e largura dos frutos (BUTRUIILE, N. 2021). Já em alface baby leaf, soluções contendo C-dots aumentaram o número de folhas, a altura de planta, massa úmida foliar e seca foliar (LEMOS, J. 2021). Recentemente, WANG, Z, *et al* (2022) observaram que os C-dots podem também proteger mudas de alface do estresse UV-B a partir da maior atividade de superóxido dismutase, peroxidase, catalase, glutathione redutase e ascorbato peroxidase.

Em 2019, pesquisadores da Universidade de Brasília, em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), desenvolveram um produto à base de C-dots que recebeu o nome comercial de Arbolina. O produto é atóxico, não bioacumulável e luminescente, sendo capaz de enriquecer alimentos com micro e macro nutrientes e aumentar as produções de diversas culturas (SECOM UNB, 2020). Os estudos envolvendo a Arbolina estão em curso, mas já demonstraram resultados animadores.

3. HIPÓTESE

A hipótese deste trabalho é que a adição de concentração adequada de C-dots (Arbolina), juntamente com a solução nutritiva, aumenta a produtividade da alface cultivada em sistema hidropônico.

4. OBJETIVOS

- Avaliar os efeitos da adição de concentrações crescentes de Arbolina sobre o crescimento inicial de alface, cultivada em câmara de crescimento e sob sistema hidropônico, visando modelar uma concentração ótima por meio de equações de regressão;

- Empregar essa concentração ótima, diluída na solução nutritiva, no cultivo hidropônico até a fase de colheita, visando determinar se seu uso interfere no rendimento da cultura.

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade de Brasília, Brasília-DF, em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, utilizando câmara de cultivo, e a segunda em casa-de-vegetação localizada na Estação Experimental de Biologia.

5.1 CULTIVO EM CÂMARA DE CRESCIMENTO

Mudas de alface tipo crespa da Cultivar Vanda Sakata, com 15 dias, germinadas em bandeja preenchidas com substrato, foram adquiridas do mercado especializado em 26 de setembro de 2022. As mudas foram selecionadas por uniformidade de tamanho e então transplantadas no mesmo dia para sistema hidropônico contendo vasos plásticos com capacidade para 1 L (uma muda por vaso). Os vasos foram acondicionados em câmara de crescimento de plantas, que dispõe de sistema de controle de temperatura, umidade, intensidade luminosa e fotoperíodo (Figura 2).



Figura 2. Câmara de crescimento de plantas e sistema de cultivo hidropônico, com aeração. Laboratório de Química e Fertilidade do solo.

Para fixação das plantas, um suporte de isopor com a mesma área do vaso plástico foi confeccionado, sendo esse apoiado aproximadamente sobre a superfície da solução, respeitando uma distância de aproximadamente 2 a 3 cm (Figura 3).

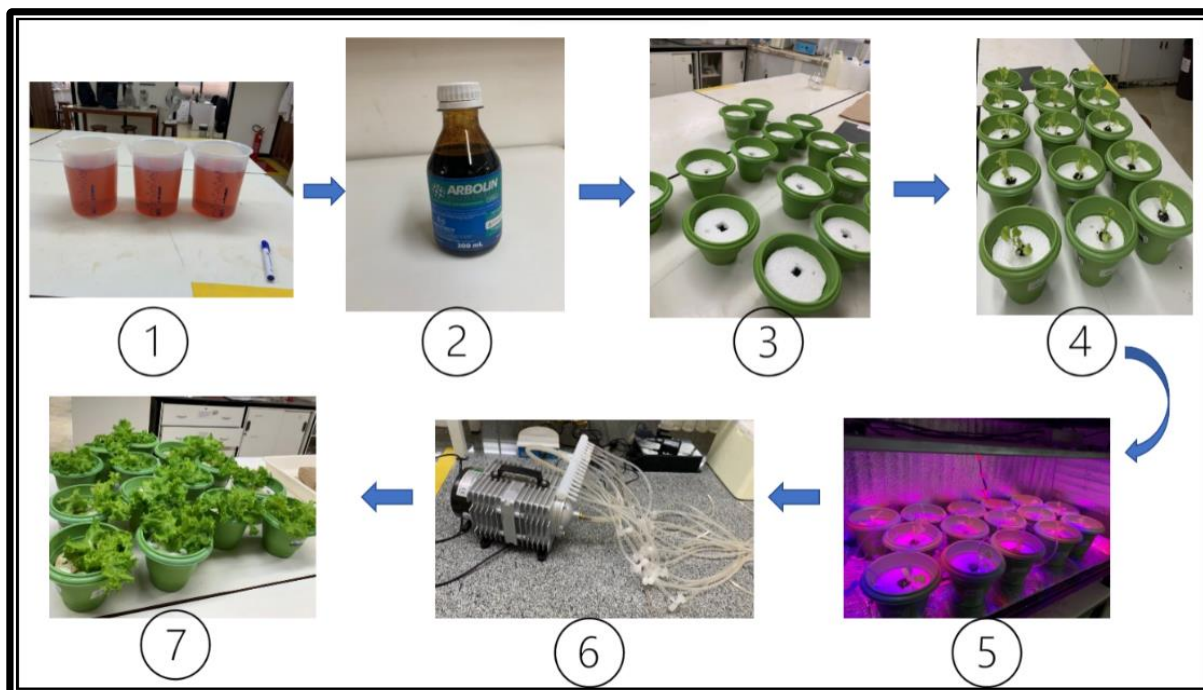


Figura 3. Esquemática das etapas da primeira etapa do experimento.

A solução nutritiva empregada nesse estágio foi a proposta por (FURLANI, P. *et al.* 1999), para cultivo de hortaliças folhosas (Anexo 1). Os valores de pH e condutividade elétrica (CE) da solução foram determinados empregando-se um pHmetro Alfa MARE modelo PG2000 e um medidor de condutividade portátil AKSO modelo AK51-V4. A CE da solução foi monitorada e a cada queda de 25% de seu valor era substituída por outra recém-produzida. À solução nutritiva, foram adicionadas diferentes concentrações de Arbolina (0, 50, 100 e 150 mg/L). As condições de cultivo na câmara de crescimento de plantas foram: temperatura (de 25 a 31°) umidade (de 90 a 95%) e fotoperíodo (12h de luz e 12h no escuro). Utilizou-se também um compressor de ar contendo 16 difusores para oxigenação da solução. Esse compressor foi

ligado a um temporizador, permitindo seu funcionamento por 15 min, seguido de intervalo de 4 horas. As plantas foram cultivadas por 15 dias, sendo posteriormente coletadas, lavadas com água para retirada do substrato aderido às raízes, secas cuidadosamente para retirada do excedente de água com papel toalha e avaliadas quanto à massa úmida foliar (MUF) e massa úmida de raiz (MUR), utilizando balança analítica GEHAKA modelo AG20. Após, foram obtidas imagens fotográficas para determinação da área foliar (AF), empregando-se o programa de processamento de imagem ImageJ (ABRÀMOFF. *et al.* 2004). O número de folhas (NF) foi determinado por contagem manual. O comprimento radicular (CR) foi determinado empregando-se uma régua graduada. Após esses procedimentos, as partes aéreas e radiculares foram embalados em saco de papel KMIX e levadas para estufa de circulação forçada da EthikTechnology modelo Secagem Ethik, à temperatura de 65 °C até massa constante para determinação das massas seca da parte foliar e radicular (MSF e MSR). As massas foram pesadas empregando balança analítica GEHAKA modelo AG20.

Essa etapa do experimento foi realizada seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e quatro concentrações de Arbolina (controle, sem aplicação de Arbolina; diluição de solução contendo 50 mg/L, 100 mg/L ou 150 mg/L de Arbolina na solução nutritiva). Os resultados foram avaliados por meio de análise de regressão, ajustando as equações em função dos maiores valores de R^2 e significância do modelo. Para isto, foi empregado o programa estatístico SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2010). Os modelos significativos obtidos foram empregados para determinação da concentração capaz de resultar no maior estímulo ao desenvolvimento das plantas, a partir da obtenção dos pontos de máxima. Para isto, cada valor significativo (modelo) foi computado e foi obtida a média entre eles, que foi utilizada como concentração ótima.

5.2 CULTIVO EM CASA-DE-VEGETAÇÃO

A partir da determinação da melhor concentração observada no primeiro experimento, um segundo, em casa-de-vegetação, foi conduzido empregando-se somente o tratamento controle (solução nutritiva) e a concentração ótima determinada (solução nutritiva + melhor concentração de Arbolina). Para isto, mudas da mesma cultivar, também com 15 dias, germinadas em bandejas foram adquiridas de outro lote em 13 de dezembro de 2022, sendo novamente selecionadas por uniformidade de tamanho e transplantadas para sistema hidropônico no mesmo dia. As mudas foram postas nos mesmos vasos plásticos utilizados no sistema implementado para cultivo em câmara de crescimento (Figura 3) com o objetivo de prepará-las para posterior transplante no sistema NFT. As condições do cultivo foram as mesmas empregadas na primeira etapa. Após seis dias de cultivo na câmara, as plantas foram levadas para casa de vegetação, localizada na Estação Experimental de Biologia – EEB/UnB e, passadas ao sistema de hidroponia de canos em PVC, o qual continha reservatório de solução e bomba para recirculação (Figura 4). A solução utilizada nos reservatórios foi a solução nutritiva proposta por FURLANI, P. *et. al* 1999 (Anexo 1), acrescida ou não com Arbolina. Cada reservatório, com capacidade para 130 L, recebeu 100 L de solução de cada tratamento. O pH e CE das soluções foram novamente monitorados, obtendo valores de 5,6 e 1,84 mS cm⁻¹, respectivamente. No sistema adotado, utilizou-se temporização para fornecer 45 minutos de lâmina de solução, seguidos de 15 minutos sem circulação.

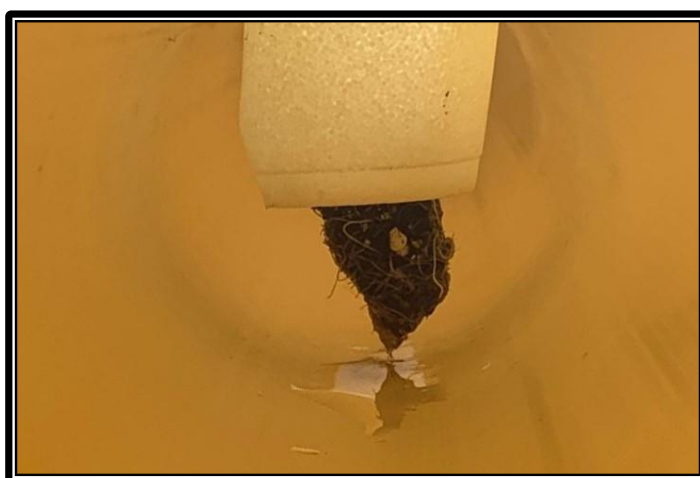


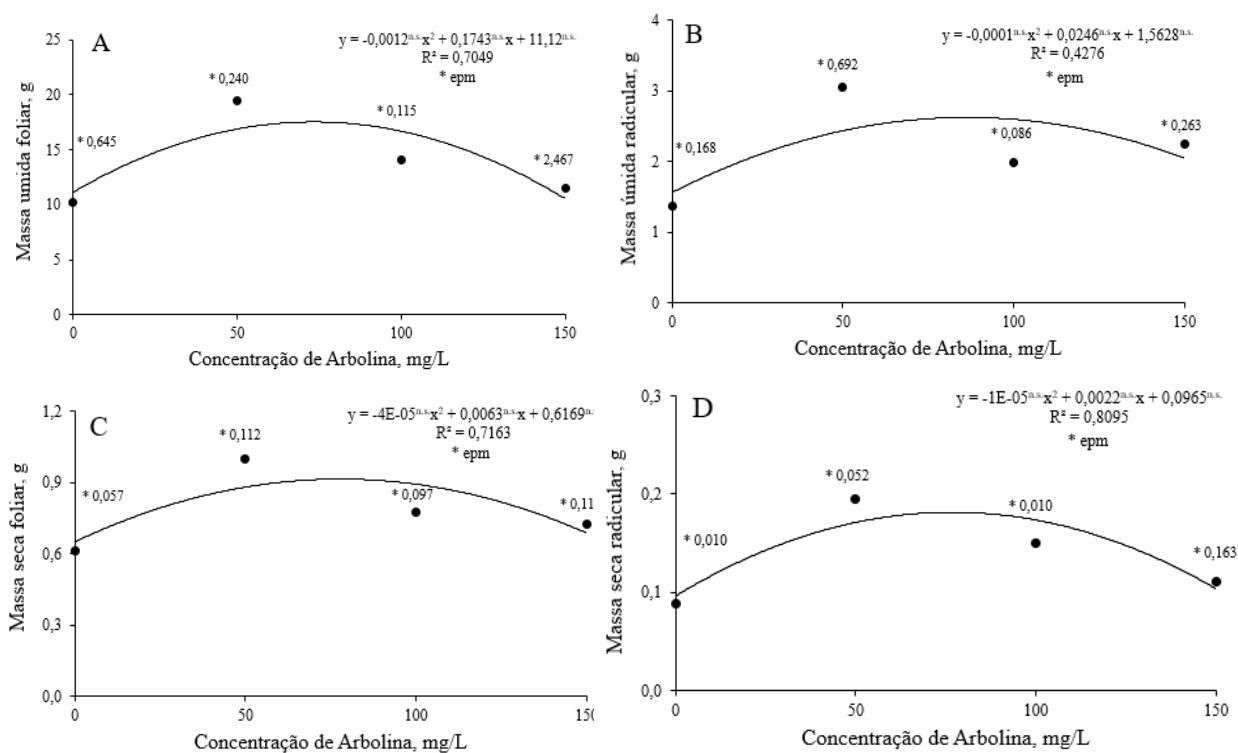
Figura 4. Cultivo hidropônico de alface tipo crespa em casa-de-vegetação.

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e dois tratamentos T1: controle, sem Arbolina e T2: solução nutritiva acrescida de 71,93 mg/L de Arbolina (concentração previamente determinada e apresentada na Tabela 1).

Cada repetição foi obtida a partir da média das 3 plantas centrais de cada cano. Após 21 dias de cultivo, as plantas foram coletadas e avaliadas quanto a massa seca foliar, massa seca radicular e número de folhas. Os dados foram submetidos à verificação de normalidade empregando-se o teste de Shapiro-Wilk. Verificada a normalidade, foi realizado teste de F. Todos os testes foram realizados empregando o software estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2010).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis MUR, MSF e MSR, não foi possível determinar um modelo quadrático (Figura 5 e Tabela 1). Essas variáveis não foram, portanto, consideradas para a obtenção da concentração a ser aplicada no segundo experimento. Para as variáveis MUF, AF, NF e CR, modelos quadráticos significativos e com elevado valor de R^2 foram obtidos.



continua

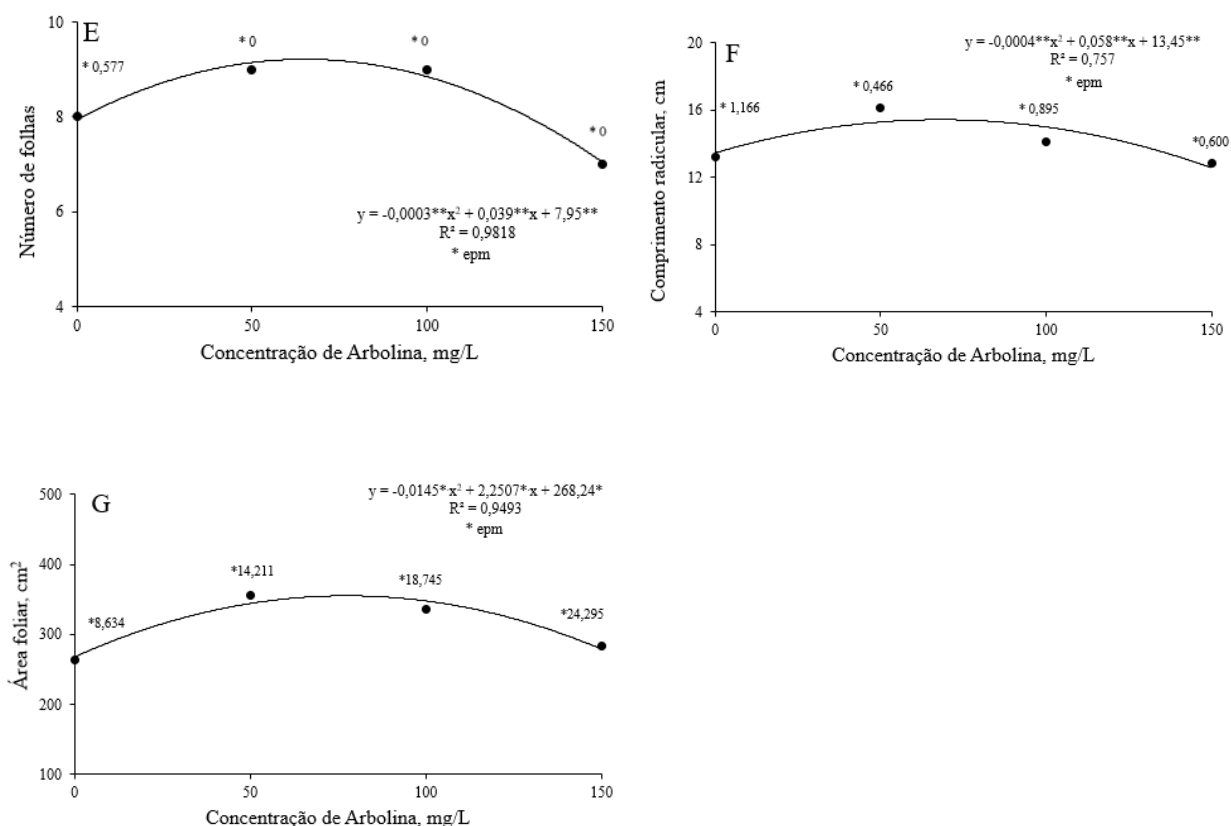


Figura 5- Curvas de regressão quadrática para a massa úmida foliar - (A), massa úmida radicular - (B), massa seca foliar - (C), massa seca radicular (D), número de folhas - (E), área foliar - (F) e comprimento radicular - (G) para análise da concentração ótima.

Para a determinação da concentração ótima de Arbolina, foi elaborado o modelo de resposta às concentrações e o valor de máxima, modelado para cada variável significativa (Tabela 1).

Tabela 1. Modelo de Concentração ótima, coeficiente de correlação (R^2), desvio-padrão da regressão (DP) e ponto de inflexão (concentração ideal) para a massa úmida das folhas (MUF), massa úmida das raízes (MUR), massa seca das folhas (MSF), massa seca radicular (MSR),

área foliar (AF), número de folhas (NF) e comprimento radicular (CR) da alface tipo crespa após 15 dias em tratamento com C-dots mais solução nutritiva em sistema hidropônico.

Material avaliado	Equação ($y = b_2x^2 + b_1x + b_0$)	R²	Desvio Padrão	Concentração ideal (dx/dy): $b_1 + 2(b_2)x = 0$
MUF	$y = -0,0012x^2 + 0,1743x + 11,12$	0,7049	0,7665	72,62 mg/L
MUR	$y = -0,0001^{n.s.}x^2 + 0,0246^{n.s.}x + 1,5628^{n.s.}$	0,4276	0,3741	123,00 mg/L
MSF	$y = -4E-0,5^{n.s.}x^2 + 0,0063^{n.s.}x + 0,6169^{n.s.}$	0,7163	0,1816	78,75 mg/L
MSR	$y = -1E-05^{n.s.}x^2 + 0,0022^{n.s.}x + 0,0965^{n.s.}$	0,8095	0,0234	110,00 mg/L
AF	$y = -0,0145x^2 + 2,250x + 268,24$	0,9496	28,24	77,61 mg/L
NF	$y = -0,0003x^2 + 0,039x + 7,95$	0,9818	0	65,00 mg/L
CR	$y = -0,0004x^2 + 0,058x + 13,45$	0,757	1,2955	72,50 mg/L
MÉDIA				*71,93 mg/L

*Para a obtenção da média da concentração ideal, foi utilizado somente as concentrações na qual a equação obteve nível de significância. Portanto, foi considerado para a média, os dados obtidos na MUF, AF, NF e CR.

Para as variáveis MUF, AF, NF e CR, as concentrações modeladas que apresentaram as melhores respostas foram, respectivamente, 72,92; 77,71; 65 e 72,50 mg/L (Tabela 1). Desse modo, a concentração ótima de Arbolina foi obtida a partir da média de todos os pontos de máxima das variáveis significativas MUF, AF, NF e CR, resultando no valor de 71,93 mg/L.

Na segunda etapa do experimento, a concentração ótima de Arbolina 71,93 mg/L aumentou a massa seca foliar em 43% (Figura 6-A), enquanto a massa seca radicular e número de folhas foram aumentados 30% (Figura 6-B) e 21% (Figura 6-C). Recentemente, foram observados resultados semelhantes em mudas de alface e tomate com adição de concentração de C-dots obtidos pelo método hidrotérmico com L-cisteína e glicose (Kou, E. *et al*, 2021). No referido estudo, aumentos de 35% e 70% na MSR a partir da aplicação de 0,132 mg/L e 0,066

mg/L de C-dots juntamente com a solução nutritiva de Hoaglad, via substrato, foram reportados em relação ao tratamento controle. Segundo os autores, o crescimento da raiz das mudas tratadas com C-dots pode ser causado devido ao aumento da fotossíntese e absorção de nutrientes. BUTRUILLE, N. (2021) descreveu um aumento de 41% na produtividade e número de frutos no morangueiro com a aplicação da Arbolina via substrato, a cada 14 dias, sendo aplicados 200 mL de solução por planta. No estudo de BUTRUILLE, N. (2021), a concentração ótima modelada foi de 155,6 mg/L e os aumentos em produtividade e número de frutos foram relacionados pela autora ao possível aumento da atividade da enzima RubisCO, a qual atua na fixação de carbono pela planta na forma de carboidratos.

Zheng, Y. *et al.* (2017) adicionaram C-dots obtidos do pólen de colza, na concentração de 30 mg/L na solução nutritiva de Hoagland, em alface em sistema hidropônico e observaram aumento de 48% da massa úmida foliar e área foliar em relação ao controle. A aplicação de Arbolina em alface tipo baby também promoveu aumento de 12% do parâmetro número de folhas (LEMOS, J. 2021). O aumento do número de folhas das plantas é desejável porque pode ampliar a área de fotossíntese, aumentando assim o potencial produtivo da cultura (TAVARES, A. *et al.* 2019).

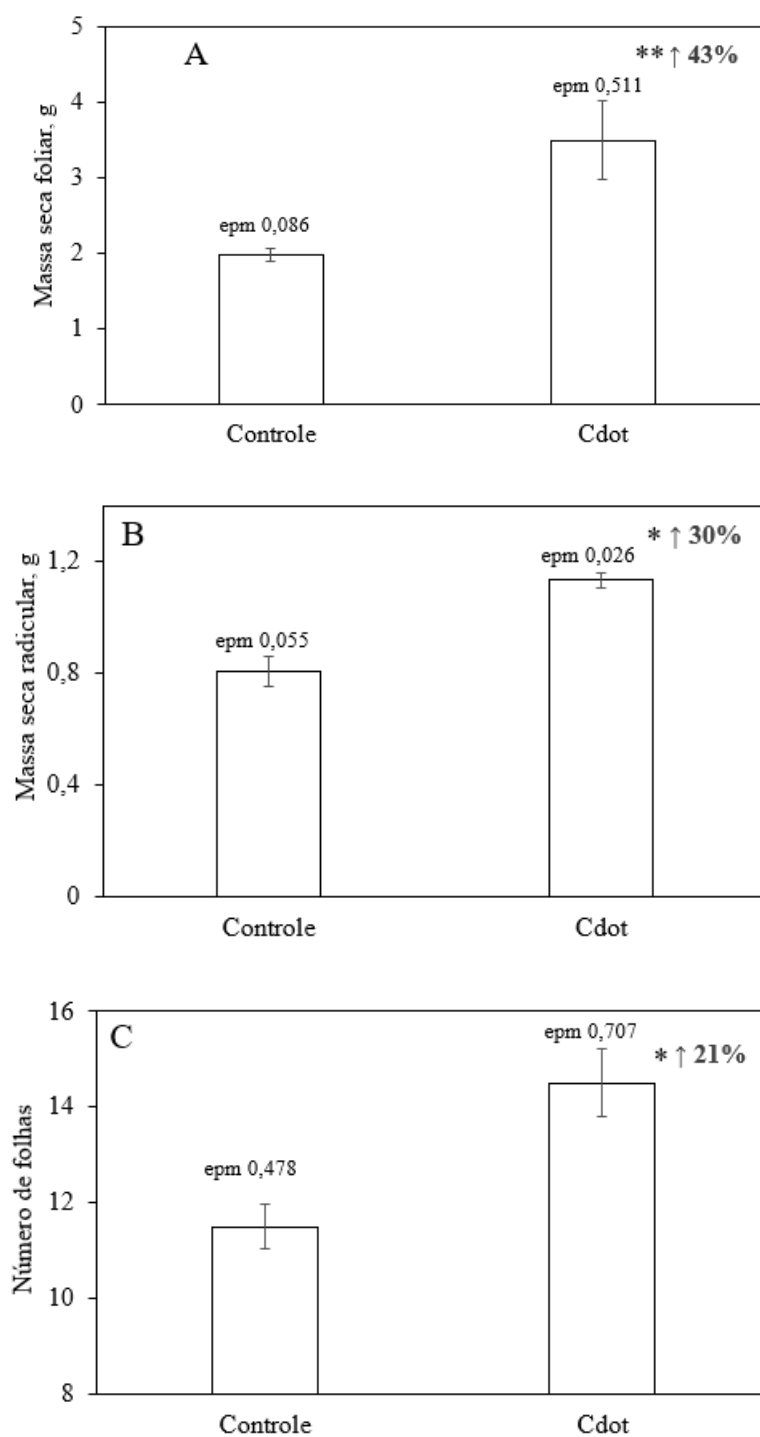


Figura 6. Efeito da Arbolina (71,93 mg/L) sobre a Massa Seca foliar (A), Massa Seca Radicular (B) e Número de folhas (C) aos 21 dias de tratamento. Os valores representam a média de 24 plantas \pm erro padrão e foram normalizados em relação ao controle. ** resultado com significância e valor de $p = 0,01$ e * com valor $<$ que 0,05.

O aumento no crescimento e produtividade obtidos com a aplicação de C-dots na solução nutritiva em cultivo hidropônico pode estar relacionado a diferentes mecanismos de nanomateriais de carbono nas plantas. A assimilação nutricional é identificada como um dos mecanismos pelo qual os C-dots promovem o desenvolvimento da planta. A partir da quantificação de vários elementos minerais importantes na parte aérea de plantas, os teores de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e manganês (Mn) aumentaram significativamente após o tratamento com C-dots (KOU, E. et al. 2021). Os mesmos autores, utilizando imagem de microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução, verificam que a solução aquosa de C-dots emite luz azul brilhante. O sinal de fluorescência mais forte foi observado na raiz e no xilema do caule de alface e tomate. Assim, os C-dots podem ser absorvidos pelas vias do apoplasto e do simplasto pelas raízes das plantas, conforme relatado em estudos anteriores. Além disso, como o transporte de água nas plantas inclui a via do apoplasto e a via celular, a hipótese é que os C-dots podem ser absorvidos pelas raízes das plantas e transportados para as partes aéreas com água sob o poder da pressão radicular e da transpiração. Outro mecanismo dos C-dots identificado em pesquisa recente utilizando microscopia eletrônica está relacionado ao aumento da atividade da enzima (RuBisCO) (LI, H, 2018). A enzima RuBisCO desempenha um papel fundamental no ciclo de Calvin, realiza a catalização do dióxido de carbono em moléculas de açúcares RuDP e atua na fixação de carbono pela planta na forma de carboidratos.

O aumento do crescimento de alface cultivado em sistema hidropônico com adição de C-dots na solução nutritiva corrobora com outros resultados também encontrados em pesquisas recentes. Este aumento na produtividade pode estar relacionado aos mecanismos citados acima, como aumento da taxa de fotossíntese e maior eficiência na absorção de nutrientes pelas raízes.

7. CONCLUSÕES

No cultivo de alface crespa em sistema de hidroponia na casa-de-vegetação, a concentração ótima de 71,93 mg/L de Arbolina aumentou a massa seca foliar em 43%, enquanto a massa seca radicular e número de folhas foram aumentados 30% e 21%, respectivamente. Portanto, a aplicação de Arbolina em concentração adequada no cultivo de alface crespa em sistema de hidroponia é capaz de aumentar o seu crescimento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROINSIGHT. Conheça os principais tipos de alface cultivados no Brasil. Agroinsight, 2022. Disponível online em: <<https://agroinsight.com.br/conheca-os-principais-tipos-de-alface-cultivados-no-brasil/>>. Acesso em: (01/11/2022)

ALBUQUERQUE, D. *et al.* Desempenho de cultivares de alface crespa sob sistema orgânico em Rio Branco, Acre. Scientia Naturalis, Rio Branco, v. 4, n. 1, p. 255-263, 2022 Disponível online em: < DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.4.1-17>>

Anuário Brasileiro de Hortie Fruti. 2019. Benno Bernardo Kist et al. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p. 96, 2018. Disponível online em: <https://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wpcontent/uploads/2019/07/HortiFruti_2019_DUP_LA.pdf>

BARON, L, Desenvolvimento e avaliação da viabilidade técnica de dispositivos para automação hidropônica. Universidade UniGranrio, São Miguel do Oeste, V.8 - n.1. 2021. Disponível online em: <<http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/amp/article/view/6689>>

BUTRUILLE, Nicole. Influência do método de aplicação e concentrações de arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos de morangueiro– Universidade de Brasília, Brasília-DF, p.77, 2021. Disponível online em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/41635/1/2021_NicoleMariedosSantosButruille.pdf>

CANGUSSÚ, L. Ácidos húmicos e *Serendipita indica*: efeitos sobre o crescimento, nutrição, fisiologia e produção do feijoeiro. Universidade Federal Dos Vales Do Jequitinhonha E Mucuri. Unai-MG p.73, 2022. Disponível online em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/3071/1/luanna_vanessa_souza_cangussu.pdf>

CARILLO, P. et. al. Morpho-Anatomical, Physiological, and Mineral Composition Responses Induced by a Vegetal-Based Biostimulant at Three Rates of Foliar Application in Greenhouse Lettuce, *Plants* v.11, 2022, Disponível online em: <<https://doi.org/10.3390/plants11152030>>

CONDE, T. *et. al.* Resposta fisiológica de sementes de alface imersas em águas destilada e piscicultura. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba. v.7, n.4, p. 37490-37499, 2021. Disponível online em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/28062>>

COSTA, R. *et al.* Carbon-dots from babassu coconut (*Orbignya speciosa*) biomass: Synthesis, characterization, and toxicity to *Daphnia magna*. *Elsevier*, |v. 41, p.63-79. 2021. Disponível online em: <www.elsevier.com/locate/cartre>

DEMARTELAERE, A. *et. al.* A influência dos fatores climáticos sob as variedades de alface cultivadas no Rio Grande do Norte. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 11, p.90363-90378, 2020 Disponível em :
<<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/20216#:~:text=Em%20qualq uer%20%C3%A9poca%20do%20ano,das%20outras%20cultivares%20nas%20condi%C3%A7%C3%B5es>>

DU JARDIM, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and Regulation. Scientia Horticulturae, v.196, p. 3–14, 2015. Disponível online em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423815301850?via%3Dihub>>

FAVARATO, L. *et al.* Produção de alface de primavera/verão sob diferentes sistemas de cultivo.Revista Científica Intelletto, v.2, n.1, p. 13, 2017. Disponível online em:
<<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2817/1/3-producao-de-alface-de-primavera-v2-n-1-2017.pdf>>

FERNANDES, P. *et al.* Uso de fertilizantes organominerais fosfatados no cultivo da alface e de milho em sucessão. Curitiba, , v. 6, n.6, p.37907-37922, 2020. Disponível online em:
<<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/11735/9829>>

FURLANI, P; FAQUIN, V. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. Informe Agropecuario, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.99-104,. 1999.

HENZ, G; SUINAGA, F. Tipos de Alface Cultivados no Brasil. Comunicado Técnico 75. Brasília, DF: Embrapa p. 7, 2009. Disponível online em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/783588/1/cot75.pdf>>

KAUFFMAN, G. L.; KNEIVEL, D. P.; WATSCHKE, T. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Crop Science*, v. 47, n. 1, p. 261–267, 2007. Disponível online em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.03.0171>

KOU, E.; *et al.* Regulation Mechanisms of Carbon Dots in the Development of Lettuce and Tomato. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. vol. 9, n. 2, p. 944–95, 2021. Disponível online em: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c08308>>

LEMOS, J. Concentrações de Arbolina no desenvolvimento de Alface (*lactuca sativa l.*) baby. Universidade de Brasília, Brasília-DF p. 39. 2021. Disponível online em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/30690/1/2021_JulioCesarLimaDeJesusLemos_tcc.pdf>

LI, Hao; *et al.* Impacts of carbon dots on rice plants: Boosting the growth and improving the disease resistance. *ACS Applied Bio Materials*, vol. 1, n. 3, p. 663–672, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acsabm.8b00345>>

LIMA, S; DOMINGOS, L; VAZ, R. Pontos de carbono luminescentes à base de ovalbumina aplicados em marcação biológica. revista *Matéria*, v.26, n.2, 2021. Disponível online em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/QqW5KwZbgxhdnWPJgPGfHth/abstract/?lang=pt>>

>

LUZ, J; GUIMARÃES, S; KORNDÖRFER, G. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. Horticultura Brasileira v.24 n.1 295-300p. 2006. Disponível online em: <<https://www.scielo.br/j/hb/a/99RFWNLdK6G8HNLtFBpDzrL/?format=pdf&lang=pt>>

MASWADA, H. *et al.* 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. Disponível online em: <<https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-16181>>

PAULUS, D. *et al.* Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. Revista Ceres, Viçosa, v. 59, n.1, p. 110-117, 2012. Disponível online em: <<https://www.scielo.br/j/rceres/a/rWsSKH5qFnQYm9Gm8VKdXZp/>>

PUGLISI, I. *et al.* Morpho-biometric and biochemical responses in lettuce seedlings treated by different application methods of *Chlorella vulgaris* extract: foliar spray or root drench?. Journal of Applied Phycology v.34 889–901. 2022 2022. Disponível online em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-021-02671-1>>

SAATH, K; FACHINELLO, A. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. RESR, Piracicaba, v. 56, n. 02, p. 195-212, 2018. Disponível online em: <<https://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxy89xBDg3XCTgr/?lang=pt.>>

SANCHEZ, S. avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP). Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Câmpus de Jaboticabal, p.78, 2007. Disponível online em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/96944>>

SANTOS, M.; SANTOS, D; MENEZES, S; Produção da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) em função das lâminas de irrigação e tipos de adubos. *Ciência Agrícola*, Rio Largo, v. 13, n. 1, p.33-39,2015. Disponível online em: <<https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/1652>>

SECOM UNB. Desenvolvido na UnB, unicórnio brasileiro tem potencial para revolucionar agronegócio. 2020. Artigo em Hipertexto. Disponível online em: <<https://noticias.unb.br/117-pesquisa/4628-desenvolvido-na-unb-unicornio-brasileiro-tem-potencial-para-revolucionar-agronegocio>>. Acesso em 14 de dezembro de 2022.

SOUSA, A. *et al.* Doses e fontes de zinco aplicado via foliar na qualidade de mudas de alface, Gurupi, *Rev. Agr. Acad.*, v. 5, n. 2, p.15, 2022. Disponível online em: <https://agrariacad.com/2022/08/05/doses-e-fontes-de-zinco-aplicado-via-foliar-na-qualidade-de-mudas-de-alface/>>

SOUZA, E. *et al.* Elton. Controle de sistema hidropônico utilizando a técnica de fluxo laminar de nutrientes. Universidade São Francisco, Itatiba, p. 77, 2010. Disponível online em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1901.pdf>>

SUINAGA, F. *et al.* Desempenho produtivo de cultivares de alface crespa. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* 89. ISSN 1677-2229. Brasília, DF: Embrapa 2013. Disponível online em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/956025/1/bpd89.pdf>>

TAVARES, A. *et al.* Adubação NPK como promotor de crescimento em alface. *Agri-Environmental Sciences*, v. 5, n. (s/n), p. 1-9, 2019. Disponível online em: < DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v5i0.1215>>

Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira: Embrapa, ISBN 978-85- 7035-799- Brasília, DF 2018.. Disponível online em: < <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/Vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>>

WANG, Z. *et al.* Comparing Efficacy of Different Biostimulants for Hydroponically Grown Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy* p. 12, 12, v.786. n. (s/n), 2022. Disponível online em: <<https://doi.org/10.3390/agronomy12040786>>

XIA, C. *et al.* Evolution and synthesis of carbon dots: De carbondots to carbonized polymer dots. *Advanced Science*, vol. 6, n. 5, p. 312–325, 2019. Disponível online em: <<https://www.advancedscience.com>.>

ZEN, H. O Sistema de Inovação Tecnológica da Hidroponia no Brasil: uma revisão de literatura. *Exten. Rur, Santa Maria*. v.28, n. 2,e7, p. 1-26, 2021. Disponível online em: <<https://doi.org/10.5902/2318179666372>>

ZHENG, Y. *et al.* Bioimaging application and growth-promoting behavior of carbon dots from pollen on hydroponically cultivated Rome lettuce. *ACS ômega* v. 2, n. 7, p. 3958-3965 2017. Disponível online em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acssuschemeng.0c08308>>

ANEXOS

Anexo 1. Quantidade de sais para o preparo de 1000 L de solução nutritiva (FURLANI, P. *et al*, 1999), Uberlândia, 2004.

Sal ou fertilizante	g/1000 L
Nitrato de Cálcio hydro especial	750,0
Nitrato de potássio	500,0
Fosfato monoamônio MAP	150,0
Sulfato de magnésio	400,0
Sulfato de cobre	0,15
Sulfato de zinco	0,50
Sulfato de manganês	1,50
Ácido bórico, ou	1,50
Bórax	2,30
Molibdato de sódio (Na ₂ MoO ₄ 2H ₂ O), ou	0,15
Molibdato de amônio	0,15
Tenso-Fe ® (FeEDDHMA 6% de Fe.), ou	30,0
Disolvine ® (FeEDTA 13% de Fe.), ou	13,8
Ferrilene ® (FeDDHA 6% de Fe.), ou	30,0
FeEDTANa ₂ (10mg/mL de Fe)	180,0 MI