

Efeito de doses e épocas de aplicação de extrato de algas em caracteres morfológicos de cultivares de arroz no Tocantins

Effect of doses and application times of algae extract on morphological characters of rice cultivars in Tocantins

Vitor Stefanello Fernandes^{1*}, Rodrigo Ribeiro Fidelis¹, Patrícia Sumara Moreira Fernandes¹, Natália Martins Veloso¹, Hellen da Silva Morais¹, Vanessa Silveira Jorge¹, Gabriel Queiroz Vanderleis¹, Gustavo Azevedo Silva¹

RESUMO

As algas são fontes promissoras na elaboração de bioestimulantes, capazes de afetar o crescimento de vegetais, aumentando a eficiência de nutrientes e incrementando a resistência de plantas a estresses abióticos. Objetivou-se avaliar a biomassa e a área foliar de dois cultivares de arroz utilizando extrato de algas de água doce aplicado em diferentes estádios vegetativos. O experimento foi conduzido sob o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em casa de vegetação no Campus Universitário de Gurupi, durante os anos de 2020 e 2021, em esquema fatorial 2x2x5. O primeiro fator foi constituído pelos cultivares (IRGA 424 e 426), o segundo por duas épocas de aplicação (V4 e V9) e, o terceiro fator formado pelas doses do extrato (0ml/L; 10ml/L; 20ml/L; 30ml/L e 40ml/L). Foram avaliadas a área e massa foliar, altura de planta, massa do sistema radicular, massa seca total, produtividade e peso de cem sementes. A dose de 40ml de extrato/L de calda resultou no incremento tanto para crescimento e desenvolvimento, quanto para produtividade. A segunda época de aplicação proporcionou maior produtividade de grãos e peso de cem sementes, já a primeira. maior incremento para a massa e área foliar.

Palavras-chave: Chlorella; Spirulina; Biofertilização;

ABSTRACT

Algae are promising sources in the development of biostimulants, capable of affecting plant growth, increasing nutrient efficiency and increasing plant resistance to abiotic stresses. The objective of this study was to evaluate the biomass and leaf area of two rice cultivars using freshwater algae extract applied at different vegetative stages. The experiment was conducted under a completely randomized design, with three replications, in a greenhouse at the Gurupi University Campus, during the years 2020 and 2021, in a 2x2x5 factorial scheme. The first factor consisted of cultivars (IRGA 424 and 426), the second for two application times (V4 and V9) and the third factor formed by the doses of the extract (0ml/L; 10ml/L; 20ml/L; 30ml/L and 40ml/L). Leaf area and leaf mass, plant height, root system mass, total dry mass, productivity and weight of one hundred seeds were evaluated. The dose of 40ml of syrup extract/L resulted in the increase for both growth and development and productivity. The second application season provided higher grain yield and weight of one hundred seeds, the first. increase for the mass and leaf area.

Keywords: Chlorella; Spirulina; Biofertilization;

¹ Universidade Federal do Tocantins, Departamento de Agronomia.

*E-mail: vitorstefanellofernandes@gmail.com

INTRODUÇÃO

O arroz é uma cultura alimentar importante para grande proporção da população mundial, aproximadamente 50% das calorias consumidas em todo o mundo dependem deste cereal. Os carboidratos são os principais constituintes do arroz. Além do amido, que corresponde a aproximadamente 90% da matéria seca do arroz polido, também estão presentes açúcares livres e fibra. Enquanto o endosperma é composto principalmente por amido, o farelo e o gérmen apresentam principalmente fibra, contendo pequenas quantidades de outros carboidratos (DOMENE et al., 2021).

No Brasil é cultivado principalmente através de dois sistemas de cultivo: o irrigado por inundação em várzeas controladas e o de terras altas. O irrigado está concentrado na região sul e em várzeas tropicais, enquanto que o de terras altas encontra-se disseminado por todo território nacional e sua participação tem diminuído ao longo dos anos, uma vez que as áreas ocupadas com arroz no planalto central (Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso e Tocantins) cedem espaços para outras culturas de grãos (soja e milho), cana de açúcar e integração lavoura pecuária (WANDER et al., 2014). A produção para a safra 20/21 é estimada em 11,2 milhões de toneladas, representando aumento de 6,5% em relação à safra passada. A área plantada sofreu redução de 2,2%, como vem acontecendo nas últimas safras (CONAB, 2020).

As algas são organismos fotossintetizantes, que utilizam clorofila como principal pigmento fotossintético, uni ou multicelulares, procariotos ou eucariotos, com predominância aquática e cuja forma básica não apresenta diferenciação em raízes, folhas e caules, retirando os nutrientes da água diretamente da superfície (AZEVEDO E NAUER, 2012). Desde 1950 a aplicação de diferentes extratos de algas em várias culturas foi eficiente em promover o crescimento vegetativo e alavancar a produtividade de várias espécies vegetais, tais benefícios estão relacionados ao aumento da eficiência dos nutrientes presentes nos cultivos, melhoria da microbiota do solo e a ativação de moléculas capazes de aumentar a resistência de plantas a estresses abióticos. Os extratos de algas contêm todos os macros e micro nutrientes necessários aos vegetais, além de possuir traços de ácido algínico, vitaminas, auxinas e giberelinas, a eficácia dos extratos é provavelmente baseada em hormônios vegetais (principalmente citocininas) e nutrientes residuais presentes nas formulações (SINGH, 2014).

Além de fatores pertinentes a formulação, se faz necessário entender o modo de ação dessas substâncias quando aplicadas em um vegetal, tendo em vista que os

compostos das algas são em sua maioria metabólitos secundários, ou seja, essas substâncias são ativadas por gatilhos ambientais externos, ocorrem em concentrações diferentes em plantas e até mesmo em tecidos e órgãos de um único vegetal e são ligados a momentos de estresse e reprodução (RODRIGUES et al., 2018).

No presente estudo foi utilizado o produto comercial Ferticell[®], que contém extrato de algas de água doce (microalgas) dos gêneros *Chlorella* e *Spirulina*. A *Chlorella* é encontrada em tanques e lagos e possui em sua composição: proteínas (53%), carboidratos (23%), lipídeos (9%), minerais, clorofila (responsável seu pelo seu elevado crescimento) além de aminoácidos e propriedades antifúngicas (DE SOUZA et al., 2012).

A *Spirulina* pertence ao gênero bacteriano *Cyanobacterium*, o qual era anteriormente classificado como *Cyanophyta* ou, grupo das algas verde-azuladas, onde os componentes de maiores concentrações na biomassa são proteínas (64 a 74%), seguido de carboidratos (12% a 20%) e lipídeos (6% a 13%). Além de ter em sua constituição, ferro biodisponível e outros minerais, compostos fenólicos, ficocianina, ácido gama linoléico e ácido linolênico (FERREIRA et al., 2021).

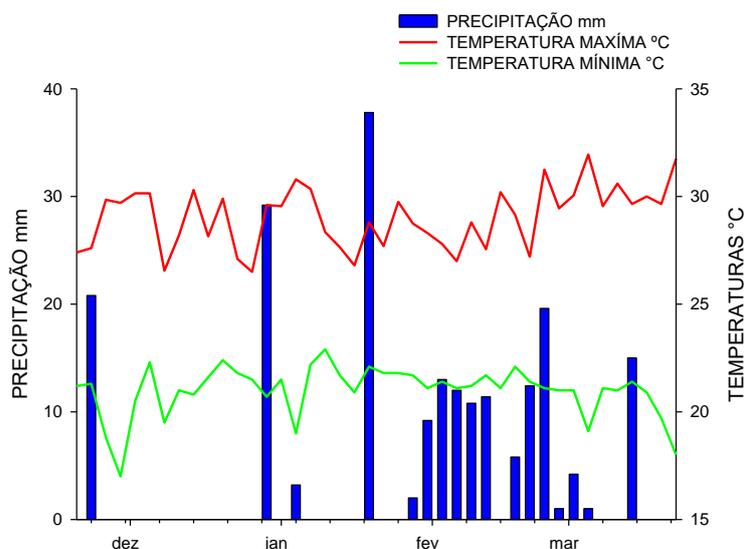
Objetivou-se com esta pesquisa avaliar épocas de aplicação e concentrações distintas do extrato de algas de água doce para as cultivares IRGA 424 e IRGA 426, mensurando variáveis respostas relativas ao crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz sequeiro.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido durante o ano agrícola 2020/2021 em área experimental na Universidade Federal do Tocantins, Campus universitário de Gurupi, localizada a 280 m de altitude, nas coordenadas geográficas: 11°43`S e 49°04`N. A região é classificada como Cerrado brasileiro com clima do tipo “Aw” (quente e úmido), de acordo com a classificação internacional de Köppen (ALVARES et al., 2014).

O clima da região é tropical, com moderada deficiência hídrica, a temperatura média anual é de 32°C no período de seca e de 26°C no período de chuvas, com precipitação anual média de 1804 mm, sendo um verão chuvoso e um inverno seco (PACIEVITCH, 2018). Os dados pluviométricos (mm) e as temperaturas mínimas e máximas (°C) durante o período de condução do ensaio são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Dados relativos à temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação durante a condução do experimento.



Fonte: Adaptado de INMET (2020) e (2021).

As cultivares utilizadas no experimento foram IRGA 424 (alto potencial produtivo, ciclo médio, porte baixo e folhas pilosas, tolerante à toxidez por excesso de ferro e resistente à brusone) e IRGA 426 (elevada produtividade, alto vigor inicial das plantas, resistência à debulha e à brusone da panícula, moderada tolerância à toxidez por ferro no solo e alto potencial de perfilhamento). O solo utilizado para o preenchimento dos 60 vasos utilizados foi coletado na Universidade Federal do Tocantins, sendo classificado como Gleissolo Distrófico Háplico. A análise química e física do solo encontra-se descrita na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da análise química do solo utilizado no experimento

pH ¹	M.O.	P	K	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	
	dag.kg ⁻¹	mg dm ⁻³		-----cmolc. dm ⁻³ -----								%
4,7	2,2	3,8	52	0,13	1,6	0,8	0,4	2,80	2,53	5,33	47	
	Argila	Silte				Areia						
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)				(g kg ⁻¹)						
	175	25				800						

Fonte: Fernandes (2021)

Trinta dias antes da sementeira o volume total de solo utilizado (600kg) foi submetido à calagem e gessagem com auxílio de betoneira. Após a mistura do volume

total + calcário dolomítico (1,3g/kg) + sulfato de cálcio di-hidratado (0,65g/kg), cada vaso recebeu 10kg do mesmo solo.

A adubação de sementeira foi realizada aplicando-se 7 gramas de uréia, 10 gramas de superfosfato simples, 4 gramas de cloreto de potássio e 2 gramas de sulfato de zinco por vaso. Os recipientes dispuseram-se das dimensões de 35 cm de altura x 25 cm de diâmetro.

Foram procedidas duas adubações de cobertura em todas as unidades experimentais, sendo a primeira realizada aos 55 dias após a sementeira, utilizando-se 2,5g de uréia por vaso, a segunda 60 dias após a sementeira, aplicando-se 1,5 gramas de cloreto de potássio por vaso.

As duas aplicações do extrato de algas de água doce foram realizadas quando as plantas atingiram respectivamente os estádios fenológicos V4 (25 dias após a sementeira) e V9 (50 dias após a sementeira) com auxílio de pulverizador costal com capacidade de 5L. As doses utilizadas foram: 0 ml de extrato/L de calda; 10 ml de extrato/L de calda; 20 ml de extrato/L de calda; 30 ml de extrato/L de calda e 40 ml de extrato/L de calda. Todas as aplicações foram realizadas utilizando 1L de volume de calda.

O produto utilizado é composto pela alga *Chlorella* e bactérias *Spirillum*, além de macro e micronutrientes sendo seus teores descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da análise química de macro e micronutrientes do EAAD.

N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	B
----- % -----				----- ppm -----				----- % -----		
2,72	2,57	1,14	0,52	0,0	58,67	0,25	0,0	150,03	0,15	0,05

Fonte: NICHOLS et al. (2020)

A sementeira foi realizada no dia 20//11/2020 de forma manual, semeando-se oito sementes por vaso. A fim de obter o estande final de três plantas por vaso, foi realizada a retirada manual de plântulas excedentes aos 15 dias após a sementeira.

O experimento foi conduzido utilizando delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x2x5, sendo duas cultivares (IRGA 424 e IRGA 426), duas épocas de aplicação do extrato de algas (V4 e V9) e cinco doses do extrato (0 ml de extrato/L de calda (testemunha), 10 ml de extrato/L de calda; 20 ml de extrato/L de calda; 30 ml de

extrato/L de calda e 40 ml de extrato/L de calda). Através da combinação dos três níveis fatoriais, foram originados 20 tratamentos, que foram organizados em três repetições. Todas as variáveis respostas analisadas foram obtidas através de análises destrutivas realizadas em cada planta presente no experimento.

A colheita do experimento foi realizada manualmente no dia 25/03/2021, posteriormente, com auxílio de balança de precisão, foram determinadas a produtividade total de grãos por planta e a massa de cem grãos.

A área foliar total foi obtida retirando todas as folhas de cada perfilho de cada planta, organizando-as lado a lado em um fundo branco, fotografando-as e submetendo a imagem ao processamento do software IMAGEJ.

A massa do sistema radicular foi obtida através de lavagem em água, objetivando-se a retirada do substrato, após, cortadas, secadas e inseridas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada por 72 horas com temperatura de 65°C, posteriormente, pesadas em balança analítica de precisão.

A altura de planta foi determinada no momento da colheita, com auxílio de régua graduada, sendo as três plantas de cada vaso medidas da superfície do solo ao nível do vaso até o perfilho mais alto.

A massa seca de folhas foi obtida separando as folhas de cada perfilho, que após serem cortadas e inseridas em sacos de papel, foram levadas a estufa de circulação forçada por 72 horas com temperatura de 65°C, sendo posteriormente pesadas em balança analítica de precisão.

A massa seca total foi obtida através da soma equivalente de cada uma das estruturas morfológicas (raiz, perfilhos, folhas, cachos e grãos) de cada planta.

Inicialmente os dados foram avaliados quanto sua normalidade e homocedasticidade. Posteriormente submetidos à análise de variância e, quando significativos, submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade para os tratamentos qualitativos (épocas e cultivares) e análise de regressão para os tratamentos quantitativos (doses).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da interpretação do quadro de análise de variância (Tabela 3), nota-se que não existem interações entre os fatores: Cultivar, Época de aplicação e Doses do extrato de algas em quaisquer combinações dos mesmos, evidenciando assim a independência

dos fatores. Contudo, houve significância para os tratamentos isoladamente. As variáveis produtividade, peso de cem sementes, altura de planta e área foliar obtiveram significância para todos os níveis individuais de tratamentos (cultivar, época de aplicação e doses), enquanto que as variáveis: massa foliar, massa seca total e massa do sistema radicular apresentaram significância somente para as diferentes doses aplicadas.

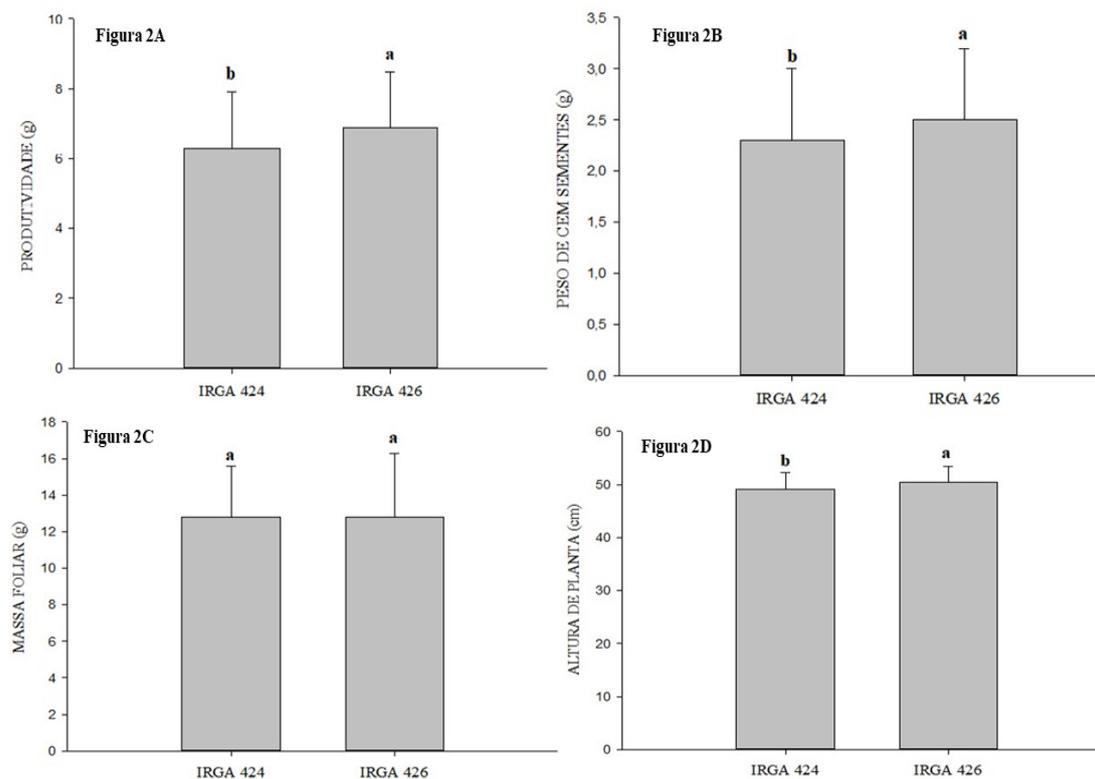
Tabela 3 - Resumo da análise de variância para as variáveis: Produtividade (PROD) (g), Peso de cem sementes (PCS) (g), Massa foliar (MF) (g), Massa seca total (MST)(g), Massa de raiz (MR) (g), Área foliar AF (cm²), Altura de plantas (AP) (cm), Quadrado médio (QM); Fonte de variação (FV); Graus de liberdade (GL) e *significativo e ^{ns}: não significativo pelo teste Tukey

FV	GL	QM						
		PROD	PCS	MF	MST	MR	AF	AP
		g					cm	cm ²
Cultivar (C)	1	16,200*	3,1822*	0,07 ^{ns}	1,35 ^{ns}	3,207 ^{ns}	1635,38*	63,606*
Época de aplicação (E)	1	88,200*	18,8963*	62,21 ^{ns}	127,81 ^{ns}	26,964 ^{ns}	1227,70*	126,672*
Doses (D)	4	57,926*	1,8869*	93,35*	500,79*	69,973*	2026,13*	137,244*
C x E	1	0,450 ^{ns}	0,7729 ^{ns}	3,71 ^{ns}	5,03 ^{ns}	10,410 ^{ns}	1,86 ^{ns}	5,339 ^{ns}
C x D	4	0,000 ^{ns}	0,6003 ^{ns}	22,51 ^{ns}	25,57 ^{ns}	1,516 ^{ns}	45,66 ^{ns}	2,689 ^{ns}
E x D	4	0,000 ^{ns}	1,1135 ^{ns}	8,44 ^{ns}	11,14 ^{ns}	4,253 ^{ns}	51,25 ^{ns}	1,756 ^{ns}
C x E x D	4	0,000 ^{ns}	0,3265 ^{ns}	2,02 ^{ns}	24,12 ^{ns}	4,714 ^{ns}	27,84 ^{ns}	6,478 ^{ns}
Resíduo	160	0,975	0,6116	15,34	33,41	9,504	21,44	5,59
Média		6,5961	2,3095	12,82	39,7829	17,9067	126,116	49,7611
CV %		14,87	33,77	30,49	14,50	17,20	3,67	4,74

Fonte: Fernandes (2021)

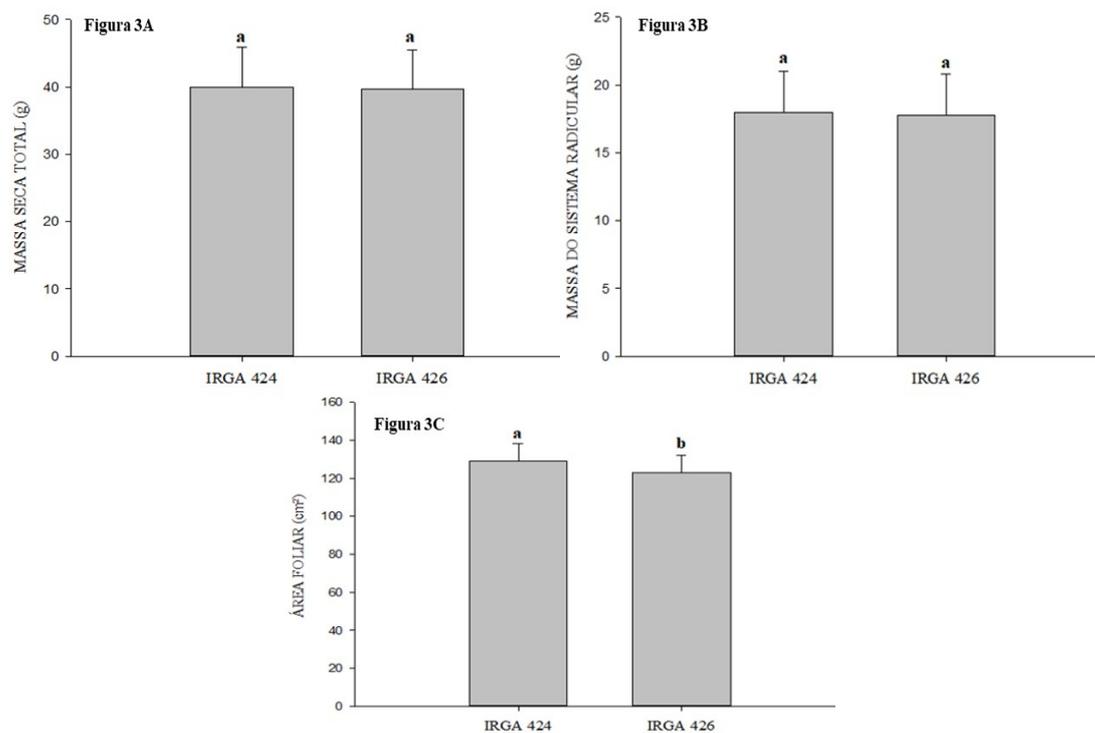
Para a fonte de variação cultivar (Figura 2A, 2B e 2D), observa-se que o genótipo IRGA 426 resultou nas maiores médias para a produtividade, peso de cem sementes e altura de planta, já a cultivar IRGA 424, apresentou os maiores índices para a área foliar (Figura 3C). Para tentar elucidar os presentes resultados, se faz necessário o entendimento de fatores abióticos que podem acarretar na diminuição ou aumento do processo de fotossíntese no dossel da planta e suas relações com as variáveis respostas analisadas.

Figura 2 – Resultados do teste Tukey para produtividade (2A), peso de cem sementes (2B), massa foliar (2C) e altura de plantas (2D) das cultivares utilizadas no experimento



Fonte: Fernandes (2021)

Figura 3 - Resultados do teste Tukey para massa seca total (3A), massa do sistema radicular (3B) e área foliar (3C) das cultivares utilizadas no experimento



Fonte: Fernandes (2021)

O primeiro deles é a radiação ativa da fotossíntese (PAR) ou a radiação que compreende 400 a 700 nanômetros e é a energia utilizada para a modelagem de todo o processo fotossintético (TATAGIBA, 2013). Toda essa energia luminosa está intimamente relacionada com a área foliar. De acordo com Ramos et al. (2020) materiais mais produtivos tendem a manter sua área foliar por mais tempo, na cultura do arroz, as folhas bandeira contribuem com 19% dos índices de área foliar, a parte intermediária do dossel 28%, e as folhas mais baixas, 27% (PRATHAP et al., 2019).

A radiação ativa da fotossíntese exerce relação intrínseca com a área foliar, juntas, são em tese, a energia e os receptores de grande parte do processo da fotossíntese. Clarke et al. (2021) afirmam que a área foliar é influenciada pelo estágio de crescimento, tipo de planta e pela própria radiação ativa da fotossíntese.

O segundo fator a ser considerado é a concentração de CO₂ no dossel das plantas de arroz, tendo em vista que o dióxido de carbono é substrato para as reações da fase escura da fotossíntese e que indiretamente influencia a abertura dos estômatos. Um dossel mais alto tem melhor ventilação e, portanto, maior concentração de CO₂ do que um dossel mais curto. Similarmente a luz penetra melhor no dossel alto do que no curto (TANG et al., 2021).

A maior altura de planta encontrada para o genótipo IRGA 426 pode ter acarretado em maior disponibilidade de radiação ativa de fotossíntese e maiores concentrações de CO₂ no interior do dossel. De acordo com Landi et al. (2020), a luz não é apenas uma grande participante na fotossíntese vegetal, mas também afeta o conteúdo relativo e a qualidade de várias macromoléculas nas plantas através da formação e transporte de produtos fotossintéticos, fato que justifica as maiores médias obtidas para a produtividade e o peso de cem grãos para a cultivar mais alta.

A taxa fotossintética de um dossel de planta por unidade de área de terra está claramente relacionada com a área e aspecto de suas folhas, mas a avaliação quantitativa é difícil. Estudos com modelos mostraram que para índices de área de folha alto (LAI) a eficiência fotossintética é maior em genótipos que apresentam folhas eretas (LIU et al., 2018), característica presente nas duas cultivares utilizadas no experimento. Maaldu et al. (2020) afirmam que materiais de arroz que possuem a folha ereta tendem a minimizar o sombreamento, permitindo maior absorção de energia solar e consequentemente, maior eficiência fotossintética.

Ao comparar duas cultivares de arroz, uma de porte alto (IAC 47) e outra de porte baixo (CICA 4), Stone et al. (1979) encontraram maiores valores de área foliar no cultivar de porte baixo e com menor tamanho de limbo foliar (CICA 4). Corroborando os resultados encontrados no presente trabalho. Paranhos et al. (1991) encontraram maior rendimento de grãos para a cultivar IRGA 409 que apresentou menor área foliar quando comparada as cultivares BLUEBELLE e EEA 406, ambos com maior área foliar.

Observa-se a proximidade de valores para a massa seca total (Figura 3A), massa foliar (Figura 2C) e massa do sistema radicular (Figura 3B) ao comparar as duas cultivares utilizadas no experimento, provavelmente, decorrente dos dois materiais genéticos pertencerem à mesma mantedora (Instituto Rio Grandense do Arroz), logo, apresentando base genética estreita e possivelmente, se tratar de cultivares aparentadas com genitores em comum.

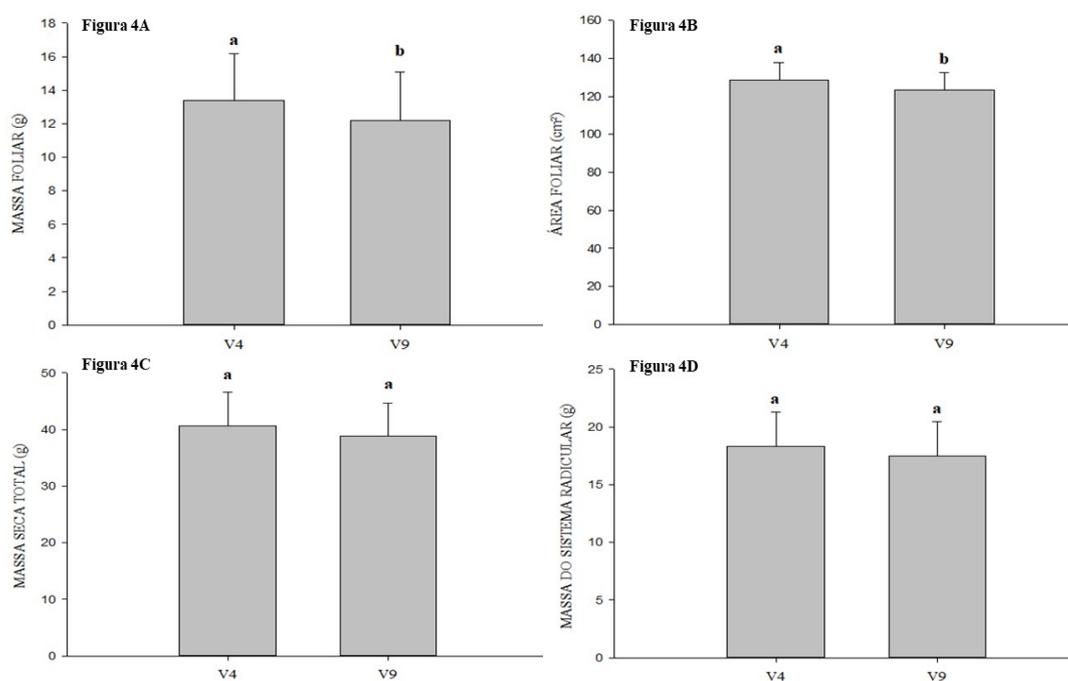
A variabilidade genética tem sido frequentemente baseada principalmente em traços morfológicos. No entanto, essa abordagem tem algumas desvantagens em termos de tempo, espaço, custos e requisitos de trabalho. Além disso, não se pode definir o nível preciso de variabilidade genética entre cultivares devido à ação aditiva de genes para a expressão de traços e o efeito ambiental no desempenho fenotípico (ROY E SHARMA 2014).

Visando descrever a variabilidade genética na cultura do Arroz no Brasil, Busanello et al. (2020) analisaram caracteres morfológicos (número de panículas por planta, peso da panícula, número de grãos e grãos estéreis por panícula, peso de 1000 grãos, cor do lema, cor da gluma estéril e comprimento da cariopse, largura e espessura), marcadores moleculares genéticos e conteúdo mineral do grão para 91 cultivares de arroz irrigado no Brasil, 75% dos materiais genotípicos em questão foram agrupados em um determinado conjunto denominado: “Current South Brazilian elite cultivars” (CSBEC), o qual inclui a maioria dos materiais utilizados para o cultivo de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul.

Avaliações de estruturas morfológicas são influenciadas por fatores ambientais e não fornecem informações tão precisas quanto às fornecidas por marcadores moleculares genéticos, contudo, essas mensurações podem ser úteis na identificação de possíveis interações entre respostas fisiológicas de um determinado material genético e o efeito do extrato de algas de água doce sobre o mesmo.

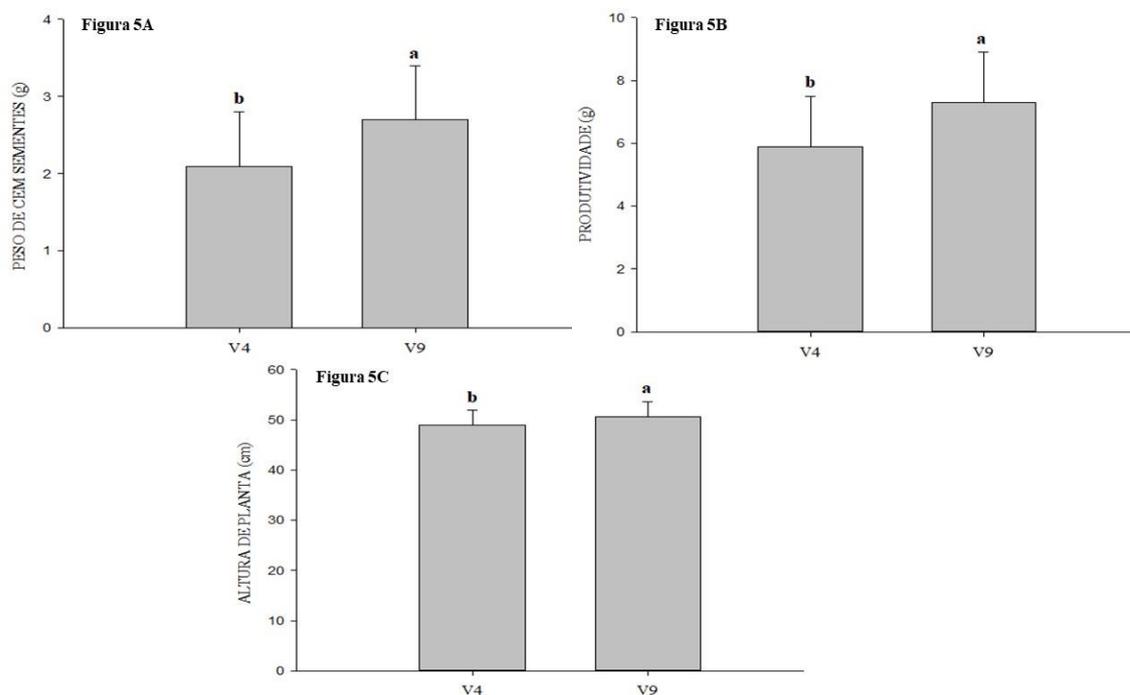
Ao analisar os resultados do teste Tukey para as épocas de aplicação do extrato de algas (Figuras 4 e 5), percebe-se que a primeira época de aplicação (Figura 4A e 4B), correspondente ao estágio fenológico V4 (quarta folha totalmente expandida), resultou em incremento significativo para a massa foliar e área foliar. A segunda época de aplicação (Figura 5A, 5B e 5C) que corresponde ao estágio fenológico V9 (início da diferenciação das panículas) proporcionou as maiores médias para às características peso de cem sementes, produtividade de grãos e altura de planta.

Figura 4 - Resultados do teste Tukey (0,05%) para a massa foliar (4A), área foliar (4B), massa seca total (4C) e massa do sistema radicular (4D) das épocas de aplicação do extrato de algas de água doce



Fonte: Fernandes (2021)

Figura 5 – Resultados do teste Tukey (0,05%) para o peso de cem sementes (5A), produtividade (5B) e altura de planta (5C) das épocas de aplicação do extrato de algas de água doce



Fonte: Fernandes (2021)

Para a primeira época de aplicação (V4) o incremento significativo para a massa e área foliar, pode ser explicado pelo fato do extrato de algas ser fonte de citocininas, classe de hormônio que promove a divisão celular, com efeito sobre a expansão foliar e partição de assimilados das plantas. Como no estágio fenológico V4 não havia a existência de grãos em formação, os nutrientes, hormônios vegetais, carboidratos e proteínas presentes no extrato de algas podem ter contribuído para o acúmulo de massa e área das folhas (BATTACHARYYA et al., 2015).

Estudos sobre diferentes épocas de aplicação de extratos de algas na cultura do arroz ainda são comedidos, desta forma existem muitas dúvidas pertinentes a respeito do efeito dos componentes dos extratos em estádios fenológicos vegetativos e reprodutivos. O aumento da produtividade, peso de cem sementes e altura na segunda época de aplicação (diferenciação das panículas) pode ser explicado pelo aumento da disponibilização de nutrientes e hormônios vegetais provocados pela aplicação do extrato de algas e conseqüentemente potencialização de atividades metabólicas relacionadas à “relação fonte dreno” para a formação dos grãos. Segundo Shah et al. (2013) melhorias nos parâmetros de rendimento das culturas atribuídos aos extratos de algas podem ser relacionados ao aumento do movimento de fotoassimilados oriundos de partes vegetativas

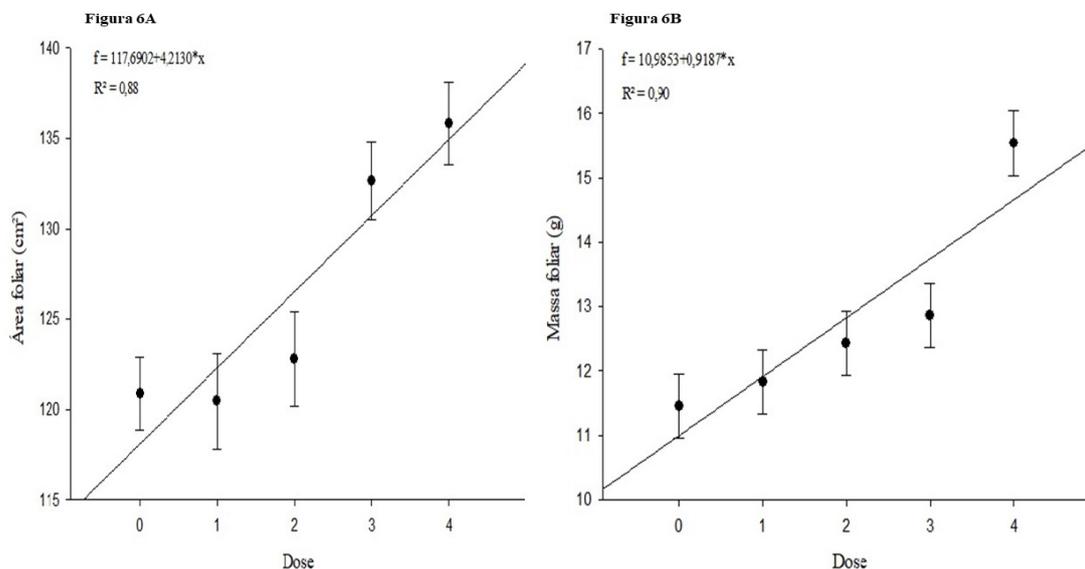
para parte dos grãos em desenvolvimento. De acordo com Zhang e Ervin (2008) reguladores naturais de crescimento de plantas (por exemplo, auxina, giberelina e citocinina) presentes nos extratos de algas podem oferecer grande impulso ao rendimento das safras, acelerando diversas funções metabólicas das plantas.

O caminho da translocação são os tecidos vasculares distribuídos por toda a planta, interligando as fontes aos drenos. O tecido vascular forma um sistema de tubos que pode direcionar, por partição, o fluxo de fotoassimilados para vários órgãos: folhas jovens, caule, raízes, frutos ou sementes. Quase sempre que há partição de fotoassimilados em benefício de um determinado órgão, um outro, possivelmente, ficará prejudicado, pois nem sempre a planta produz fotoassimilados o suficiente para abastecer todos os seus órgãos simultaneamente. Em feijoeiro, por exemplo, no início da floração, os fotoassimilados deixam de ser translocados para as raízes e tomam a direção das flores e frutos, onde a atividade metabólica passa a ser intensa com alta demanda por fotoassimilados (PESSARAKLI, 2019).

O efeito das diferentes doses de extrato de algas de água doce se mostrou significativo para todas as variáveis respostas, para melhor análise procedeu-se o método de regressão linear com as médias de todos os componentes em questão. Os resultados experimentais mostraram que a aplicação foliar de diferentes doses do extrato de algas de água doce incrementaram a altura de planta, massa do sistema radicular, massa de folhas, área foliar, peso de cem sementes, produtividade e massa seca total.

Observou-se que o aumento nas doses do extrato de algas de água doce promoveu elevação nos valores de área foliar e massa de folhas (Figura 6A e 6B). Sendo que a dose 4 (40ml-EAAD/L de calda) foi responsável pela maior área foliar (136cm²) promovendo acréscimo de 15% em comparação com a testemunha e para a maior massa de folhas (15,8g) um acréscimo de 18% em comparação com o grupo controle.

Figura 6 – Área foliar (6A) (cm²) e massa de folhas (6B) (g) em função da aplicação de diferentes doses de extrato de algas de água doce.



Fonte: Fernandes (2021)

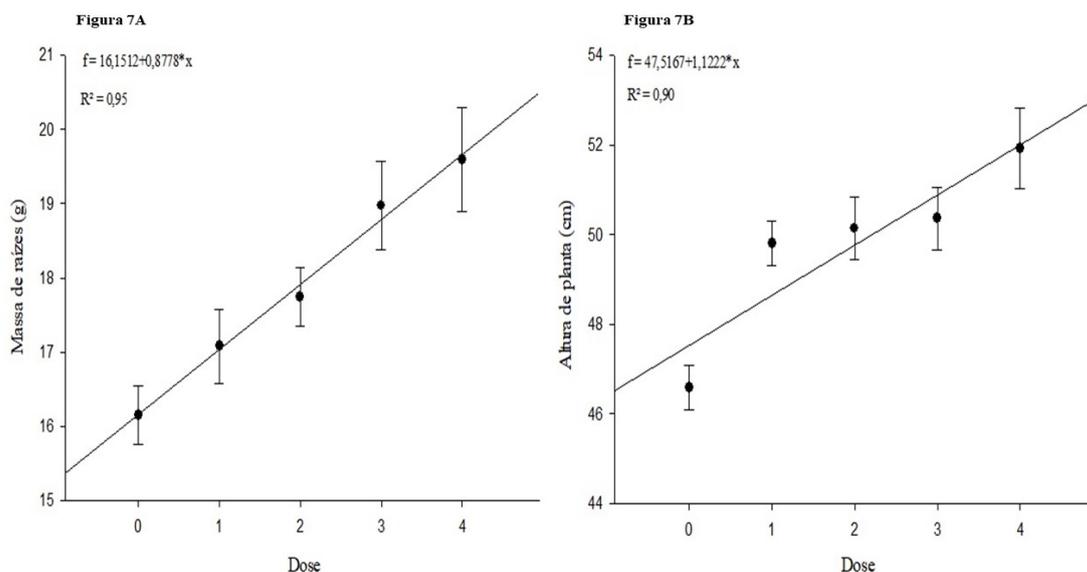
Efeitos significativos da combinação de extrato de algas e inoculantes microbianos na área da folha do arroz foram comprovados por Xie et al. (2021) em comparação com um grupo controle. A cianobactéria *Espirulina* presente no extrato utilizado no experimento, de acordo com Habet e Elsadany (2020), proporcionou maior valor de caracteres de crescimento, rendimento de grãos e componentes de rendimento em comparação com outros tratamentos. Estudos relacionando peso de folhas e extrato de algas na cultura do arroz ainda são inexistentes, contudo, Goyal e Thind (2015) constataram aumento do número total de folhas na cultura do arroz utilizando extrato de algas.

Os maiores valores de área foliar e massa foliar encontrados para a maior dose de aplicação do extrato de algas de água doce podem ser explicados levando em conta que o EAAD é uma fonte de citocininas, classe de hormônios vegetais que entre suas propriedades promovem a divisão celular, com efeito sobre a expansão foliar e partição de assimilados das plantas (ONO et al., 2004).

Para a massa do sistema radicular (Figura 7A) a maior massa de raízes (19,7g) foi atingida através da aplicação da dose de (40ml-EAAD/L de calda), corroborando Mulyatni et al. (2018) que através de experimento com diferentes doses extrato de algas

e ácidos húmicos, constatou aumento em comprimento e massa seca de sistema radicular na cultura do arroz, quando comparado ao grupo controle. Conforme Varela (2018), as raízes são extremamente sensíveis à auxina, hormônio presente no extrato de algas, que ao serem aplicadas em pequenas quantidades resulta em acréscimo na resposta do crescimento radicular.

Figura 7– Massa do sistema radicular (7A) (g) e altura de planta (7B) (cm) em função da aplicação de diferentes doses de extrato de algas de água doce.



Fonte: Fernandes (2021)

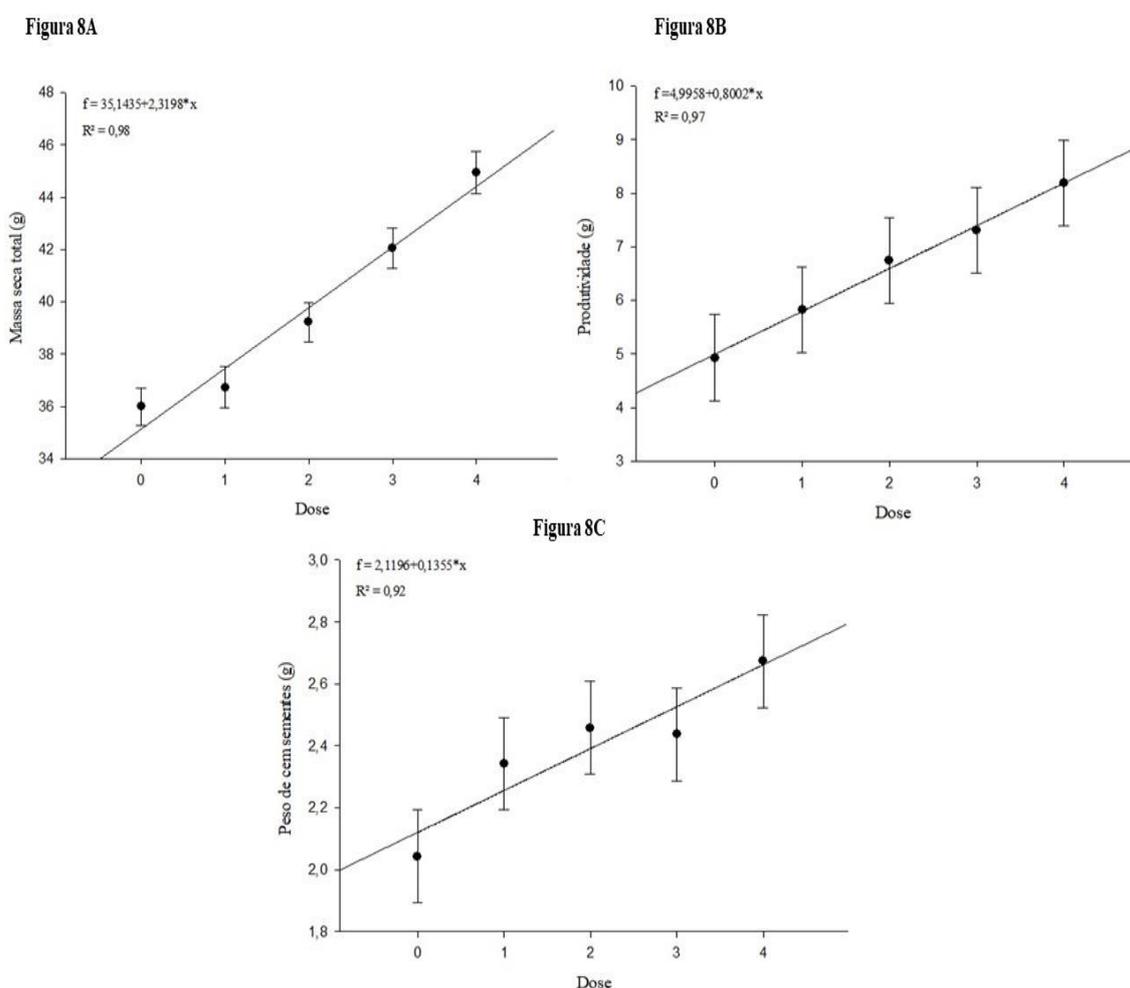
Para a altura de plantas (Figura 7B), as maiores médias (52cm) foram obtidas através da utilização da dose mais elevada do EAAD (40ml-EAAD/L de calda). Corroborando os dados do presente trabalho, Sunarpi et al. (2019) obtiveram maiores índices de altura de plantas e perfilhos na cultura do arroz através de aplicações de três diferentes tipos de extrato de algas.

A absorção de substâncias ligadas ao crescimento vegetal (citocininas, aminoácidos, açúcares e vitaminas) presentes no extrato de algas podem alavancar o crescimento em altura das plantas. A presença dessas moléculas no solo, também pode influenciar positivamente suas características físicas e biológicas, melhorando a estabilidade dos agregados, e conseqüentemente, proporcionando melhor ambiente para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (BHARDWAJ et al., 2014). Além disso, sabe-se que extratos de algas são capazes de aumentar a expressão gênica de hormônios

como auxina e citocinina, que são dois moduladores endógenos do desenvolvimento vegetal (KHAN et al., 2011)

As maiores médias para a massa seca total (Figura 8A) (45g), foram obtidas através da utilização da maior dose do EAAD utilizada no experimento (40ml-EAAD/L de calda). O peso da planta é afetado pela concentração de nutrientes, bem como pela quantidade de produtos fotossintéticos da planta. A aplicação do extrato de algas na planta é sugerida como capaz de aumentar as concentrações de nutrientes nas folhas, por meio do envolvimento do hormônio do crescimento no processo de absorção e movimentação dos nutrientes em uma planta, aumentando o peso da planta (SUNARPI et al., 2010).

Figura 8 – Massa seca total (8A) (g), produtividade (8B) (g) e peso de cem sementes (8C) (g) em função da aplicação de diferentes doses de extrato de algas de água doce.



Fonte: Fernandes (2021)

Para os caracteres relativos à produção de grãos (Figura 8B e 8C) (produtividade por planta e peso de cem sementes) foi observado, para ambos, que os maiores valores

foram obtidos também, para a maior dose de EAAD utilizada no experimento (40ml EAAD/L de calda). A dose 4 proporcionou rendimento médio de 8 gramas de grãos por planta, 3 gramas a mais do que a testemunha (5g). Plantas tratadas com a dose 4 (40ml EAAD/L de calda) apresentaram peso médio de cem sementes de 2,7g, enquanto que o grupo controle apresentou média de 2,04g a cada cem sementes.

Corroborando a maior produtividade de grãos obtida (SINGH et al., 2015) obtiveram maior massa de grãos de arroz através da aplicação de extrato de algas (3,5 ton/ha) em comparação a fertilização mineral (3,1 ton/ha). O encontro de resultados próximos ao do estudo em questão mostra que produtos comerciais à base de extrato de algas são eficientes em acúmulo de massa de estruturas morfológicas, o que pode acarretar em maior produção do produto final (grãos). Nota-se, também através de revisão de literatura que o efeito cumulativo de massa oriundo de diferentes extratos de algas pode estar ligado a dois fatores: o acréscimo positivo de nutrientes, vitaminas e aminoácidos presentes nos produtos e a ação hormonal de auxinas e citocininas que também se encontram presentes nas algas.

A composição bioquímica dos extratos de algas é complexa (polissacarídeos, minerais, vitaminas, óleos, gorduras, ácidos, antioxidantes, pigmentos, hormônios) portanto, compreender seu mecanismo de ação é altamente complexo e muitas vezes requer abordagem multidisciplinar devido à interação múltipla entre os números substanciais de compostos bioativos dentro do mesmo extrato (MICHALAK et al., 2014).

Os extratos naturais são originados do tratamento de matérias-primas vegetais e resíduos agrícolas, por meio de processos químicos, físicos ou enzimáticos, portanto, a composição do produto final muitas vezes abrange amplo espectro de compostos bioativos que podem teoricamente induzir vários efeitos benéficos ao longo do desenvolvimento da planta. Os extratos de algas são exemplos perfeitos dessa rica composição. Além de minerais e polissacarídeos, também podem conter, dependendo dos métodos de processamento, fitohormônios, citocininas, vitaminas, polifenóis, agentes antimicrobianos e vários outros compostos de valor agrônômico. Consequentemente, desvendar possível mecanismo de ação é muitas vezes delicado e envolve abordagens multidisciplinares por meio do uso de técnicas sofisticadas para compreender as plantas específicas a nível metabólico e genético (CHOJNACKA et al., 2012).

A nível celular, sabe-se que as citocininas e as auxinas atuam no processo de divisão das células, especificamente regulando a atividade das CDK'S (Cyclinas

dependentes das kinases) e das Cyclinas, que são por sua vez, proteínas responsáveis pela transição da fase G1 para a fase S e G2 no ciclo mitótico, as CDK'S e as Cyclinas são responsáveis pela disponibilização da energia (ATP) necessária para a divisão celular, a auxina se relaciona com o estímulo de produção de CDK'S e Cyclinas, enquanto que a citocininas ativam as presentes proteínas através do processo de fosforização oxidativa, permitindo a transição de fases do processo mitótico (PASTERNAK et al., 2000).

Os bioestimulantes da forma como são formulados atualmente devem ser considerados como casos únicos que requerem abordagens típicas. Na verdade, além de sua composição complexa, que torna difícil localizar com precisão as moléculas bioativas que induzem algum efeito, faltam propriedades de amplo espectro, resultando em inconsistência, nem sempre totalmente explicado como o domínio planta / solo. Trata-se de um sistema complexo governado por uma série de variáveis incluindo condições pedoclimáticas, tipos de cultura e características distintivas do microbioma do solo. Se torna então obrigatório quebrar essas misturas complexas em uma única molécula para verificar a ocorrência de sinergismos e antagonismos. O desafio pode parecer à primeira vista intransponível, pois o número de dados para analisar é simplesmente opressor. Essa pesquisa, sem dúvida, está progredindo através da exploração de novas abordagens de alto rendimento (ou seja, sequenciamento de alto rendimento e fenotipagem, metabólica, etc.) (EL BOUKHARI et al., 2020).

CONCLUSÕES

As diferenças ínfimas para as variáveis morfológicas detectadas entre as cultivares utilizadas (IRGA 424 e 426) se devem a base genética estreita existente entre os cultivares de arroz no Brasil.

A dose de (40ml de extrato/L de calda) resultou no incremento de todas as variáveis analisada, tanto para crescimento e desenvolvimento, quanto para produtividade.

A segunda época de aplicação (V9) proporcionou maior produtividade de grãos e peso de cem sementes; já a primeira aplicação (V4) proporcionou maior incremento para a massa e área foliar.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AZEVEDO, C. A.; NAUER, F. Biodiversidade e Ecologia de Macroalgas Marinhas Brasileiras. **BOTÂNICA NO INVERNO**, p. 118.
- BATTACHARYYA, D. et al. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 39-48, 2015.
- BHARDWAJ, D. et al. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial cell factories**, v. 13, n. 1, pág. 1-10, 2014.
- BUSANELLO, C. et al. Is the genetic variability of elite rice in southern Brazil really disappearing?. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, 2020.
- CHOJNACKA, K. et al. Biologically active compounds in seaweed extracts-the prospects for the application. In: **The open conference proceedings journal**, v. 3. n. 1. 2012.
- CLARKE, V. C.; DANILA, F. R.; VON CAEMMERER, S. CO₂ diffusion in tobacco: a link between mesophyll conductance and leaf anatomy. **Interface Focus**, v. 11, n. 2, p. 20200040, 2021.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, v. 7 – safra 2019/20 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-74, julho 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em 25 de setembro de 2021.
- DE SOUZA, L. M. et al. Structural characterization and anti-HSV-1 and HSV-2 activity of glycolipids from the marine algae *Osmundaria obtusiloba* isolated from Southeastern Brazilian coast. **Marine Drugs**, v. 10, n. 4, p. 918-931, 2012.
- DOMENE, S. M. Á. et al. Importância nutricional do arroz e do feijão. **Arroz e feijão**, p. 147, 2021.
- EL BOUKHARI, M. E. et al. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. **Plants**, v. 9, n. 3, p. 359, 2020.
- EL-HABET, H. B.; ELSADANY, A.Y. Maximize Growth and Productivity of Rice by Using N₂-Fixing *Anabaena oryzae* and *Spirulina platensis* Extract. **Journal of Plant Production**, v. 11, n. 11, p. 1105-1114, 2020.
- FERREIRA, P. S. et al. Mixotrophic algal-protein production and techno-economic analysis based in medium formulation. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e54110414186-e54110414186, 2021.

GOYAL, P.; THIND, S. K. Morphological parameters and carbohydrate accumulation of rice cultivars as influenced by seaweed extract application under aerobic conditions. **ORYZA-An International Journal on Rice**, v. 52, n. 2, p. 131-136, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Estações climatológicas**. 2020. Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>. Acesso em 8 de abril. 2021.

KHAN, W. et al. Bioassay to detect *Ascophyllum nodosum* extract-induced cytokinin-like activity in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 409-414, 2011.

LANDI, M. et al. Plasticity of photosynthetic processes and the accumulation of secondary metabolites in plants in response to monochromatic light environments: A review. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 1861, n. 2, p. 148131, 2020.

LIU, K. et al. QTL mapping of flag leaf-related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Theoretical and applied genetics**, v. 131, n. 4, p. 839-849, 2018.

MAALDU, P.; ABEBRESE, S. O. Isolation and Morphological Characterization of Rice Blast Pathogen in Northern Ghana. **Agricultural and Food Science Journal of Ghana**, v. 13, p. 1259-1267, 2020.

MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K. Algal extracts: Technology and advances. **Engineering in Life Sciences**, v. 14, n. 6, p. 581-591, 2014.

MULYATNI, A. S.; PRAPTANA, R. H.; SANTOSO, D. The effect of biostimulant in root and population of phosphate solubilizing bacteria: A study case in upland rice. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2018. p. 012016.

NICHOLS, K.; OLSON, M.; AYERS, A. D. Microalgae as a beneficial soil amendment. **Arizona: MyLand Compani LLC**, 2020.

ONO, E. O.; GRANA JÚNIOR, J.; RODRIGUES, J. D. Reguladores vegetais na quebra da dominância apical de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, p. 348-350, 2004.

PACIEVITCH, T. Geografia do Tocantins. **Info Escola**, 2018.

PARANHOS, J. T. et al. Índice de área foliar de três cultivares de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 21, p. 35-41, 1991.

PASTERNAK, T. et al. Exogenous auxin and cytokinin dependent activation of CDKs and cell division in leaf protoplast-derived cells of alfalfa. **Plant growth regulation**, v. 32, n. 2, p. 129-141, 2000.

PESSARAKLI, M. (Ed.). Handbook of plant and crop stress. **CRc press**, 2019.

- PRATHAP, V. et al. Starch accumulation in rice grains subjected to drought during grain filling stage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 142, p. 440-451, 2019.
- RAMOS, G. Q.; MATOS, R. S.; DA FONSECA FILHO, H. D. Advanced microtexture study of *Anacardium occidentale* L. leaf surface from the Amazon by fractal theory. **Microscopy and Microanalysis**, v. 26, n. 5, p. 989-996, 2020.
- RODRIGUES, E. R. **Extratos alcalinos das algas pardas *Ascophyllum nodosum* e *Sargassum cymosum* como bioestimulantes de cultivares de *Oryza sativa***. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Biociências) Programa de Pós Graduação em Biotecnologia e Biociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/206217/PBTC0289-T.pdf?sequence=-1>. Acesso em: 8 de abr. 2021.
- ROY, S. C.; SHARMA, B. D. Assessment of genetic diversity in rice [*Oryza sativa* L.] germplasm based on agro-morphology traits and zinc-iron content for crop improvement. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 20, n. 2, p. 209-224, 2014.
- SHAH, M. T. et al. Seaweed sap as an alternative liquid fertilizer for yield and quality improvement of wheat. **Journal of plant Nutrition**, v. 36, n. 2, p. 192-200, 2013.
- SINGH, S. A. review on possible elicitor molecules of cyanobacteria: their role in improving plant growth and providing tolerance against biotic or abiotic stress. **Journal of applied microbiology**, v. 117, n. 5, p. 1221-1244, 2014.
- SINGH, S. K. et al. Effect of fertilizer level and seaweed sap on productivity and profitability of rice (*Oryza sativa*). **Indian Journal of Agronomy**, v. 60, n. 3, p. 420-425, 2015.
- STONE, L. F.; DE OLIVEIRA, A. B.; STEINMETZ, S. Deficiência hídrica e resposta de cultivares de arroz de sequeiro, ao nitrogênio. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1979.
- SUNARPI, H. et al. Effect of inorganic fertilizer and brown alga solid extract on growth and yield of rice plants. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, Vol. 2199, No. 1, p. 070006. 2019.
- TANG, C. et al. Creating tidal flow via siphon for better pollutants removal in a microbial fuel cell-constructed wetland. **Journal of Environmental Management**, v. 290, p. 112592, 2021.
- TATAGIBA, S. D. **Fotossíntese, metabolismo antioxidativo e respostas de defesa de plantas de arroz infectadas por *Microdochium oryzae* e supridas com silício**. Tese (Doutorado em Ciências) Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/7728/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 11 de mar. 2021.

VARELA, E. P. **Efeitos do ácido indolacético (AIA) no enraizamento de estacas de Solanum guaraniticum. A. ST.-HIL.** Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.

WANDER, A. E.; DA SILVA, O. F. Rentabilidade da produção de arroz no Brasil. **Embrapa Arroz e Feijão-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

XIE, H. et al. Synthetic nitrogen coupled with seaweed extract and microbial inoculants improves rice (*Oryza sativa* L.) production under a dual cropping system. **Italian Journal of Agronomy**, 2021.

ZHANG, X.; ERVIN, E. H. Impact of seaweed extract-based cytokinins and zeatin riboside on creeping bentgrass heat tolerance. **Crop Science**, v. 48, n. 1, p. 364-370, 2008.

Recebido em: 12/04/2022

Aprovado em: 15/04/2022

Publicado em: 19/04/2022