

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**EXTRATO DE ALGA *Ascophyllum nodosum* EM MUDAS
DE *Inga edulis* Mart. SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E NO
PÓS-ESTRESSE**

**ANTONIO AUGUSTO SOUZA SILVA
CAIO HENRIQUE CARVALHO DE OLIVEIRA**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2022**

EXTRATO DE ALGA *Ascophyllum nodosum* EM MUDAS DE *Inga edulis* Mart. SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E NO PÓS-ESTRESSE

ANTONIO AUGUSTO SOUZA SILVA
CAIO HENRIQUE CARVALHO DE OLIVEIRA

Orientador: DR. CLEBERTON CORREIA SANTOS

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da Grande
Dourados, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL

2022

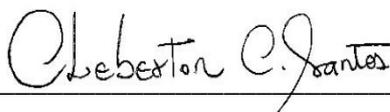
**EXTRATO DE ALGA *Ascophyllum nodosum* EM MUDAS
DE *Inga edulis* Mart. SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA E NO
PÓS-ESTRESSE**

Por

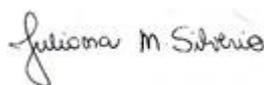
ANTONIO AUGUSTO SOUZA SILVA
CAIO HENRIQUE CARVALHO DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 07 de novembro de 2022.



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Orientador – UFGD/FCA



Me. Juliana Milene Silvério
Membro da banca – UFGD/FCA



Eng. Agr Anderson dos Santos Dias
Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, pela minha vida, e por ter permitido que meus objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais, José Reinaldo de Oliveira da Silva e Elaine do Carmo Souza Silva, pelo apoio, carinho, e principalmente, por sempre me motivarem a seguir em frente, vocês são minha fonte de inspiração.

A minha namorada, Ariane Dias, por me ajudar e motivar sempre que eu preciso.

A minha irmã Maria Eduarda Souza Silva, pelo apoio e carinho comigo.

Ao meu grande amigo Caio Henrique, por sempre poder contar com você, me ajudando na faculdade, me motivando a ser uma pessoa melhor.

Ao orientador e professor, meu grande amigo Cleberton Correia Santos, pela paciência em ensinar e nos guiar da melhor maneira possível durante o decorrer do projeto.

A todos os meus amigos pelo apoio e contribuição de cada um de vocês na minha vida.

A todos os meus colegas de turma que contribuíram de alguma forma em minha jornada até aqui.

A UFGD e a FCA por oferecer a sua estrutura e recepção.

A todos os meus professores que fizeram parte da minha formação.

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos, muito obrigado e um grande abraço a todos!

Antonio Augusto Souza Silva.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela minha vida e saúde, por ter permitido que meus objetivos fossem alcançados até momento.

A minha mãe Luzemar Carvalho Rodrigues pelo apoio, carinho, amor e principalmente por sempre me motivar a seguir em frente e nunca desistir dos meus sonhos, a senhora minha fonte de inspiração obrigado por tudo.

Aos meus irmãos Cristian Carvalho de Oliveira e Lucas Carvalho de Oliveira, por motivar sempre que eu precisei.

A minha família que de alguma maneira contribui para hoje está realizando esse sonho.

Ao meu grande amigo/irmão Antonio Augusto Souza Silva, por sempre poder contar com você, empenho, companheirismo, sempre motivando durante esses anos.

Ao orientador e professor, meu amigo Cleberton Correia Santos, pela paciência em ensinar e nos guiar da melhor maneira possível durante o decorrer do projeto.

A todos os meus colegas de turma que contribuíram de alguma forma em minha jornada até aqui.

A UFGD e a FCA por oferecer a sua estrutura e recepção. Deixo aqui meus sinceros agradecimentos, muito obrigado e um grande abraço a todos!

Caio Henrique Carvalho de Oliveira.

SILVA, A. A. S.; OLIVEIRA, C. H. C. **Extrato de alga *Ascophyllum nodosum* em mudas de *Inga edulis* Mart. sob restrição hídrica e no pós-estresse.** 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

RESUMO

Estudos com o intuito de aliviar o efeito do estresse hídrico, tal como o déficit, sobre mudas tem aumentado, e o uso do extrato de alga tem sido uma alternativa sustentável e promissora. Assim, objetivou-se avaliar o papel do extrato de alga *Ascophyllum nodosum* L. (ANE) em mudas de *I. edulis* durante a restrição hídrica e no pós-estresse. As mudas foram cultivadas sob os seguintes tratamentos: controle (irrigação diária), restrição hídrica – RH (suspensão da irrigação), RH + 15 mL L⁻¹ de ANE, RH + 30 mL L⁻¹ de ANE e RH + 45 mL L⁻¹ de ANE, e avaliadas em dois períodos: i) SDH – quando as mudas apresentassem sintomas de déficit hídrico (SDH) e ii) recuperação – retomada da irrigação por 60 dias (REC). As mudas que receberam 15 mL de ANE apresentaram SDH aos 21 dias de RH, enquanto que as em RH e RH + 45 mL de ANE toleraram por 48 dias. As mudas durante a RH sem ANE até os 21 dias não reduzem as características fotoquímicas e de crescimento, enquanto na REC, essas mesmas não se recuperam semelhante as controle. A aplicação de 30 e 45 mL L⁻¹ de ANE contribuiu no pós-estresse, favorecendo os rendimentos fotoquímicos, incremento de biomassa e qualidade das mudas, além de aumentar o potencial de plasticidade fenotípica. Embora a aplicação de ANE não favoreça, substancialmente, na fase de SDH, contribui na REC, tornando-se uma prática promissora.

Palavras-chaves: Déficit hídrico. Bioestimulante. Fluorescência da clorofila *a*. Plasticidade fenotípica.

SILVA, A. A. S.; OLIVEIRA, C. H. C. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract in *Inga edulis* Mart. under water restriction and on post-stress. 2022. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

ABSTRACT

Studies with the aim of alleviating the effect of water stress, such as the deficit, on seedlings have increased, and the use of seaweed extract has been a sustainable and promising alternative. Thus, the aim was to evaluate the role of *Ascophyllum nodosum* L. seaweed extract (ANE) in *I. edulis* seedlings during water restriction and on post-stress. The seedlings were cultivated under the following treatments: control (daily irrigation), water restriction - WR (irrigation suspension), WR + 15 mL L⁻¹ of ANE, WR + 30 mL L⁻¹ of ANE, and WR + 45 mL L⁻¹ of ANE, and evaluated in two periods: i) SWD - when the seedlings showed symptoms of water deficit (SWD) and ii) recovery - resumption of irrigation for 60 days (REC). The seedlings that received 15 mL of ANE showed SWD at 21th WR, while those in WR, and WR + 45 mL of ANE tolerated it for 48 days. The seedlings during WR without ANE up to 21 days do not reduce the photochemical and growth characteristics, while in REC, they do not recover similarly to the control. The application of 30, and 45 mL L⁻¹ of ANE contributed on post-stress, favoring photochemical yields, biomass increment and seedling quality, in addition to increasing the potential for phenotypic plasticity. Although the application of ANE does not substantially favor the SWD phase, it contributes to the REC, becoming a promising practice.

Key words: Water deficit. Biostimulant. Chlorophyll *a* fluorescence. Phenotypic plasticity.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	RELAÇÃO ENTRE PLANTA E ESTRESSE HÍDRICO	11
2.2	EXTRATO DE ALGAS NAS PLANTAS	12
2.3	ELEMENTOS RELACIONADOS A MORFOLOGIA, UJREFFVADUBAÇÃO E MEDICINA DO <i>Inga edulis</i>	12
3	MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1	COLETAS DE FRUTOS E PRODUÇÃO DE MUDAS	14
3.2	FATORES EM ESTUDO: REGIME HÍDRICO, APLICAÇÃO DO BIOESTIMULANTE E PERÍODOS DE AVALIAÇÃO	14
3.3	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	16
3.4	ANALISES ESTATÍSTICAS	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5	CONCLUSÕES	29
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem sido registradas discrepâncias no status hídrico no solo em função das secas prolongadas, resultante das mudanças climáticas, o que promove aumento da temperatura atmosférica e mudanças na distribuição da precipitação (MANTOVANI et al., 2018; BELTRAMIN et al., 2020). Essas alterações afetam diretamente as respostas morfofisiológicas e sobrevivência das plantas em diversas fitofisionomias dos Biomas brasileiros.

Sob déficit hídrico, geralmente as plantas apresentam como resposta a desidratação celular, afetando negativamente a fisiologia e o crescimento inicial (TAIZ et al., 2017; ROSA et al., 2017). As raízes, por ter um contato direto com o solo, é parte da planta que, primeiramente, detecta e sinaliza às demais células, tecidos e órgãos os efeitos do estresse hídrico por meio de respostas hormonais e fechamentos dos estômatos diminuindo as trocas gasosas e conseqüentemente a produção de biomassa, dado ao decréscimo da fotossíntese de fato mostra que há relação entre conteúdo hídrico do solo e planta (DA CUNHA et al., 2013; ROCHA et al., 2017).

Quando a disponibilidade de água no solo diminui, conseqüentemente, o potencial hídrico das plantas é reduzido. A perda de turgescência pode ser irreversível quando a capacidade de retenção de água no solo atingir valores muito baixos (ROCHA et al., 2017). Visando a obtenção de plantas com maior vigor, o uso de biofertilizantes vem ganhando destaque no mercado, dentre eles os concentrados a base de extrato de alga (*Ascophyllum nodosum*), pois em sua composição contém hormônios, proteínas e outros compostos que podem potencializar as alterações de desempenho das plantas por meio de alterações fisiológicas e bioquímicas, além de promover aumento na taxa de germinação, enraizamento e desenvolvimento inicial (TEIXEIRA, 2015).

O extrato de *A. nodosum* é uma fonte de hormônios, aminoácidos e nutrientes que atuam na divisão celular, metabolismo foliar e crescimento vegetativo (IGNA et al., 2010; DA SILVA et al., 2012). Os benefícios de *A. nodosum* estão associados ao fato de estimular a tolerância ao estresse hídrico e estimular o crescimento e desenvolvimento vegetativo por conter betaína e citocinina (RONTEIN et al., 2002; FERNANDES et al., 2011).

Além disso, conforme relatado por Gonzalez et al. (2009), o extrato contribui no aumento da atividade de enzimas do metabolismo antioxidante e prolina que atuam no reparo dos danos aos centros de reação e aparato fotossintético.

Dentre as espécies arbóreas frutíferas, *Inga edulis* M., conhecido como ingá-cipó (Fabaceae), é nativa da América Tropical, amplamente distribuída na Américas do Sul e Central (NICHOLS et al., 2006) em áreas úmidas e/ou bem drenadas (ABIB, 2017). O *I. edulis* é classificado como secundária inicial na sucessão ecológica, apresentando crescimento rápido (DOS SANTOS, 2014). Essa espécie é recomendada para inserção em recuperação de matas ciliares, áreas de preservação permanente e sistemas agroflorestais (AZEVEDO et al., 2015). Seus frutos são comestíveis *in natura* e atrativos à fauna silvestre, suas folhas apresentam compostos antioxidantes e propriedades medicinais (DIAS et al., 2010; SOBRINHO et al., 2020).

Considerando a importância do *I. edulis* e o fato do déficit hídrico ser um fator limitante ao seu crescimento inicial, estudos visando aliviar o estresse oxidativo tornam-se relevantes. Assim, objetivou-se avaliar o papel do extrato de alga *A. nodosum* em mudas de *I. edulis* durante a restrição hídrica e no pós-estresse.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RELAÇÃO ENTRE PLANTA E ESTRESSE HÍDRICO

O principal agente constituinte do tecido vegetal e a água, representa cerca de 50 % da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95 % nas plantas herbáceas, contudo, a água é a principal transportadora e translocadora de solutos na turgescência celular, auxiliando na abertura e fechamento de estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ et al., 2004).

O déficit de recursos hídricos, ocasionado pelas variações climáticas, acarretam em impactos negativos na produção agrícola em todo o mundo, desencadeando riscos à segurança alimentar (MOUSAVI-DERAZMAHALLEH et al., 2019). As mudanças climáticas ocasionam alterações físicas e metabólicas no decorrer do ciclo vegetativo das plantas, pelo fato de não haver disponibilidade de água, luz e alterações na temperatura (REIS, 2022).

Os danos causados pela falta da disponibilidade de água, prejudica um sistema sustentável (HIRPA et al., 2019). Portanto, dentre os principais problemas encontrados durante o ciclo de vida dos vegetais, o estresse hídrico é considerado o principal agente abiótico responsável pela delimitação no processo fisiológico das plantas, durante o estágio vegetativo (SCALON et al., 2020).

Dentre os principais problemas em áreas agrícolas, o déficit hídrico apresenta cerca de 45% de predominância (MADABULA et al., 2016). Em relação a falta de água, as plantas expressam alterações fisiológica envolvendo seu mecanismo de defesa ocasionando o fechamento estomático, reduzindo drasticamente a assimilação de CO₂, deprimindo, portanto, o aparato fotossintético (ARAÚJO et al., 2019). Com a diminuição da concentração de água no substrato, as plantas apresentam características diferentes no transporte de solutos, além de atingir o ponto de murcha permanente (BOOGAR et al., 2020). Portanto, a produção de biomassa é prejudicada tanto no desenvolvimento inicial da planta como também nos estádios mais tardios, limitando o crescimento caulinar e área foliar (SCHWIDER et al., 2013).

2.2 EXTRATO DE ALGAS NAS PLANTAS.

Algas marinhas têm sido usadas há muitos anos como fertilizantes (BEGUELINE, 2021). Visando uma alternativa de diminuir o uso de químicos na agricultura, a utilização de produtos à base de algas marinhas aumentou. São produtos biológicos, com baixo custo, fácil acesso, não poluidores e além de proporcionar uma melhor praticidade em manipular, aplicar e armazenar por ser um produto com baixa toxicidade humana. (OGAWA, 2013). No Brasil, o uso de biofertilizantes/ bioestimulantes a base de algas vem crescendo (GUERRERO et al., 2011). As algas são divididas em marrons, verdes e vermelhas (BATTACHARYYA et al., 2015).

Tais organismos funcionam como bioestimulantes por conter vitaminas e aminoácidos em sua composição. Atuam na produção de hormônios como as auxinas, que estimulam o crescimento, giberelinas que induz a floração e citocininas que retardam a senescência. As macroalgas marrons são amplamente utilizadas por atuarem na promoção do crescimento de plantas, melhorar a tolerância a estresse abióticos como: déficit hídrico, temperaturas extremas e salinidade, além de representarem uma fonte de nutrientes às plantas. (BATTACHARYYA et al., 2015; GONÇALVES et al., 2015).

Produtos à base de extrato de algas podem ser utilizados no tratamento de semente, fertirrigação e pulverização na parte aérea das plantas. Esses produtos apresentam resposta benéficas às plantas, sendo usados para desenvolvimento radicular, síntese de clorofila, indução ao florescimento precoce, frutificação e uniformidade de frutos (SILVA, 2018).

2.3 ELEMENTOS RELACIONADOS A MORFOLOGIA, ADUBAÇÃO E MEDICINA DO *Inga edulis*

A planta de *Inga edulis* M. é uma leguminosa arbórea sendo sua família (Fabaceae), conhecida popularmente como ingá-cipó, mas outras designações podem ser encontradas tais como, ingá-rabo-de-mico, guaba, guano, (PENNINGTON, 1997; DE MEDEIROS et al., 2014). A *I. edulis* por ser uma espécie arbórea de porte médio a alto, apresenta crescimento rápido, podendo atingir entre 15 a 20 m de altura em locais mais abertos e até 40 m em florestas. Após três anos em locais abertos, a planta inicia o processo de floração e frutificação, da qual as inflorescências são axilares sendo as flores brancas atraentes e perfumadas. (FALCÃO et al., 2000)

Os frutos são do tipo vagem, apresentam tamanho variável, forma cilíndrica e espessa com coloração verde. As sementes são escuras, revestido por uma sarcotesta branca, suculenta adocicada comestível (PRANCE et al., 1975; VILLACHICA, 1996; PENNINGTON, 1997; FALCÃO et al., 2000).

Além de ser usado para consumo, o *Inga edulis* vem sendo utilizado por fazendeiros latino-americanos com o objetivo de fornecer sombra para cultura do *Coffea* spp. (LEBLANC et al., 2006). A fixação de bactérias nitrogenadas em árvores leguminosas é essencial para melhorar os sistemas na produção sustentáveis. Plantas que estabelecem ligação com bactérias fixadoras de N, como *Inga* spp. são extremamente consolidadas para os sistemas de cultivo de café orgânico no México, onde a aplicação de N via fertilizantes químicos não é permitida (GROSSMAN et al., 2006; PORTO et al., 2017).

Além de atuar na agricultura, o ingá está sendo usado também nos estudos de doenças humanas (HALLIWELL et al., 2007). A espécie possui alta capacidade antioxidante com potencial farmacológico para atividades de prevenção a lesões gástricas (POMPEU et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETAS DE FRUTOS E PRODUÇÃO DE MUDAS

Frutos maduros de *I. edulis* foram coletados em matrizes reprodutoras localizadas em área de fragmento florestal próximo a curso d'água em Glória de Dourados (22°22'39,8"S 54°16'06,9"O). Posteriormente, foi realizado o beneficiamento dos frutos de forma manual e as sementes foram imersas em solução com hipoclorito de sódio a 2% por 5 minutos para estimular a quebra da dormência. A semeadura foi realizada em tubetes de polietileno preto com volume de 290 cm³, previamente preenchidos com substrato comercial Tropstrato[®] composto por casca de pinus, vermiculita, PG mix 14.16.18, nitrato de potássio, superfosfato simples e turfa, posteriormente mantidos em viveiro com 30% de sombra e irrigações diárias, até atingirem altura média de 20 cm.

Após esse período, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 7 litros preenchido com Latossolo Vermelho Distroférico + areia grossa (3:1, v/v) mantidos nas mesmas condições anteriores por 30 dias de aclimatização e posteriormente deu-se início ao experimento.

3.2 FATORES EM ESTUDO: REGIME HÍDRICO, APLICAÇÃO DO BIOESTIMULANTE E PERÍODOS DE AVALIAÇÃO

O experimento foi desenvolvido no período de dezembro de 2021 a julho de 2022, realizado sob viveiro de 30% de sombreamento utilizando tela de nylon com coloração preta (Sombrite[®]) e proteção adicional superior e lateral de cobertura plástica de 150 µm para evitar a precipitação sobre as mudas.

Inicialmente, o extrato de *A. nodosum* (ANE) foi diluído em água destilada conforme as doses estabelecidas para o experimento: 15, 30 e 45 mL L⁻¹. Foram realizadas duas aplicações, sendo a primeira via pulverização foliar nas faces abaxial e adaxial no período da manhã, até ponto de escorrimento (10 mL por planta, baseado em pré-teste) e a segunda aplicação foi feita 60 dias após, via solo, adicionando a mesma quantidade da solução ao redor do coleto das mudas.

As mudas foram submetidas aos cinco tratamentos: controle – irrigação realizada diariamente, mantendo a 70% da capacidade de retenção de água, segundo metodologia proposta por Souza et al. (2000); restrição hídrica (RH) – suspensão da irrigação; RH +

15 mL L⁻¹ de ANE; RH + 30 mL L⁻¹ de ANE e RH + 45 mL L⁻¹ de ANE. O extrato de ANE utilizado foi o comercial Acadian[®], com as seguintes especificações conforme fabricante: aparência = líquido viscoso marrom-escuro; odor = marinho; solubilidade em água = 100%; pH = 7,4 - 8,2; matéria orgânica = 13 - 16%; N total = 0,30 - 0,60%; fósforo disponível (P₂O₅) = < 0,1%; potássio solúvel (K₂O) = 5,00 - 7,00; S = 0,30 - 0,60%; Mg = 0,05 - 0,10%; Ca = 0,10 - 0,20%; Fe = 30 - 80 ppm; Cu = 1 - 5 ppm, Zn = 5 - 15 ppm; Mn = 1 - 5 ppm; B = 20 - 50 ppm; carboidratos = ácido algínico, manitol e fucoidinas e aminoácidos = 1,01%, produzido com 100% de alga *A. nodosum* fresca.

As mudas foram avaliadas em dois períodos: sintoma de déficit hídrico (SDH, 1) no qual foi realizado o monitoramento visual, diário, até que as mudas de algum dos tratamentos em restrição hídrica apresentassem ápice encurvado, folhas murchas e/ou amareladas (Figura 1). Neste momento, parte das mudas de todos os tratamentos foram avaliadas quanto às características não destrutivas e destrutivas. Prosseguiu-se o monitoramento nas plantas dos demais tratamentos em RH até apresentaram SDH. Após o SDH das mudas de cada tratamento, essas foram submetidas a retomada da irrigação, mantendo 70% da Capacidade de retenção de água (CRA) (SOUZA et al., 2000) no substrato durante 60 dias, caracterizando a recuperação (REC, 2).



FIGURA 1. Mudanças de cada tratamento com sintomas de déficit hídrico durante monitoramento diário. Fonte: Elaboração dos autores

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições, em que o efeito dos tratamentos foi analisado individualmente em cada período de avaliação, cada unidade experimental foi constituída de um vaso com duas mudas. Ao iniciar a suspensão da irrigação, realizou-se o monitoramento de temperatura

e umidade média com o uso do termo-higrômetro, durante todo o período de desenvolvimento experimental (Figura 2).

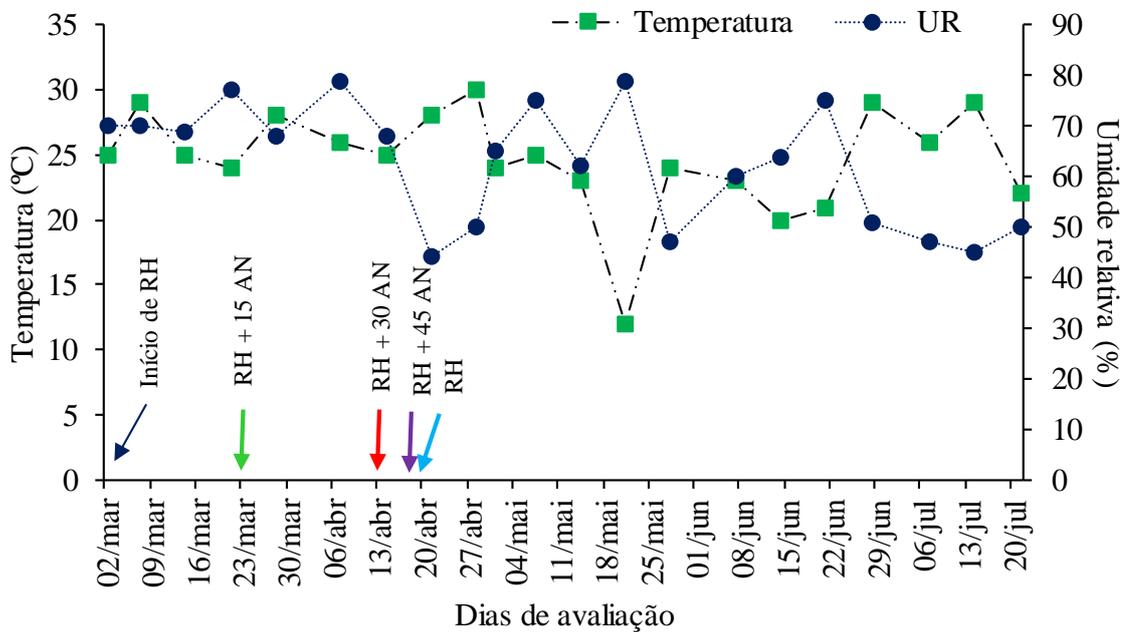


FIGURA 2. Valores médios de temperatura e umidade relativa durante o período de condução do experimento (UFGD), Dourados 2022. Seguidos de setas indicado dias de SDH das mudas. Elaboração dos autores.

3.3 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

Crescimento inicial: as mudas foram coletadas e as raízes lavadas para retirada do excesso do substrato, posteriormente foi medido o comprimento da maior raiz utilizando régua graduada em cm. Com relação a área foliar, essa foi determinada com uso do aparelho integrador de área (LI-COR, Modelo 3100 LC). Posteriormente, as mudas foram separadas em folhas, caule e raízes e acondicionadas em sacos de papel Kraft em seguida, o material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 60°C durante 72h. Onde, o material desidratado foi pesado em balança de precisão milesimal (0,0001 g).

Índice de clorofila e fluorescência da clorofila-a: utilizando folhas totalmente expandidas, localizadas no terço médio, foi determinado o índice de clorofila com o uso do aparelho clorofilômetro *Soil Plant Analysis Development* (SPAD - 502), no período entre 8 e 10h da manhã. Em seguida, as amostras foram submetidas à condição de escuro por 25 minutos, utilizando papel alumínio nas folhas. Logo após, utilizando fluorímetro portátil foi determinada a emissão da fluorescência inicial (F_0) e máxima (F_m) da clorofila-a e a eficiência quântica potencial fotoquímica no fotossistema II (F_v/F_m). Foi

calculada a eficiência de conversão de energia química (F_v/F_0) e o rendimento máximo não fotoquímico (F_0/F_m).

Eficiência nutricional: o material seco da parte aérea e raiz foram triturados separadamente, em seguida, foi determinado o conteúdo de fósforo e potássio de acordo com a metodologia proposta por Malavolta (1997). A partir dos valores de conteúdo de cada nutriente e da massa seca da raiz e total foram calculados os índices de eficiência de absorção – EA (SWIADER et al., 1994), translocação – ET (LI et al., 1991) e do uso do nutriente – EUN (SIDDIQI e GLASS, 1981).

Índices fisiológicos e qualidade das mudas: utilizando os dados de área foliar e massa seca foi calculada a razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) de acordo com Hunt (2017). O padrão das mudas foi determinado conforme proposta de Dickson et al. (1960).

Potencial de resiliência ecológica: foi estimado por meio do índice de plasticidade fenotípica – IP da F_v/F_m e do IQD, de acordo com a metodologia proposta por Valadares et al. (2006), baseada na seguinte equação:

$$IP = \frac{(M - m)}{M}$$

Em que: “M” é o valor da maior média, e “m” o valor da menor média. Calculamos o IP utilizando os maiores e menores valores entre as mudas controle e os das mudas em restrição hídrica sem e com as doses de AN, apresentando os resultados de maneira de caracterização, não aplicando-se análise estatística.

3.4 ANALISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram analisados individualmente em cada período de avaliação, os quais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$), as médias dos tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A análise estatística foi realizada utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação a caracterização do surgimento de sintomas de déficit hídrico, os tratamentos que primeiro apresentaram SDH corresponde ao cultivo associado de RH + 15 mL L⁻¹ de ANE, enquanto que em RH e RH + 45 mL L⁻¹ de ANE tiveram SDH com tempo semelhante (48 dias de RH) (Tabela 1), indicando que a espécie naturalmente tolera um período considerável de falta de água. A partir dos resultados, levantamos o questionamento: a aplicação de ANE contribui na produção de mudas de *I. edulis* sob déficit hídrico?

TABELA 1. Caracterização do surgimento de sintomas de déficit hídrico (SDH) nas mudas de *Inga edulis* M. após restrição hídrica em cada tratamento e recuperação (REC)

Tratamentos	SDH	REC
	(Dias após RH)	(Dias após retomada da irrigação)
Controle	----	----
Restrição Hídrica (RH)	48	
RH + 15 mL L ⁻¹	21	60 dias
RH + 30 mL L ⁻¹	45	
RH + 45 mL L ⁻¹	48	

Durante a fase de SDH, a eficiência de absorção (EA_K) do K foi apresentou-se maior nas mudas controle e em RH + 15 mL⁻¹ de ANE, enquanto que os menores valores ocorreram no tratamento RH + 45 mL⁻¹ de ANE (Tabela 2). No que se refere a eficiência de translocação (ET_K), os valores não variaram, significativamente, em função dos tratamentos nesse mesmo período. Por fim, para a eficiência do uso do nutriente (EUN_K), os maiores valores foram observados de plantas cultivadas em RH + 45 mL⁻¹ de ANE.

Na REC, as plantas provenientes do tratamento RH + 15 mL⁻¹ de ANE tiveram maior EA_K, enquanto que a ET_K foi maior nas mudas Controle e em RH. Os tratamentos representados por Controle e RH + 45 mL⁻¹ de ANE apresentaram maior EUN_K e o menor nas mudas com 15 mL⁻¹ de ANE, respectivamente. Embora as mudas com 15 mL⁻¹ tiveram maior EA_K na SDH e REC, as mesmas apresentaram baixa ET_K, prejudicando a EUN_K. Quanto aos dados dos indicadores de eficiência do P, os resultados apresentaram a mesma tendência do K para EA_P, ET_P e EUN_P.

Com relação aos menores valores de EUN do K e P com 15 mL⁻¹ de ANE, possivelmente, deve-se ao fato de que nessa condição de cultivo as plantas são eficientes

na absorção desses nutrientes, porém não consegue manter boa eficiência de translocação. No processo de absorção há gasto energético, que geralmente é convertido em produção de fotoassimilados. Em nosso estudo, além de ter gasto nesse processo, a planta estava sob limitação hídrica no solo, o que pode ter acentuado os efeitos negativos sobre a produção energética.

TABELA 2. Índices de eficiência de absorção (EA), de translocação (ET) e de uso do nutriente (EUN) potássio e fósforo em mudas de *Inga edulis* M. em dois períodos de avaliação em função da restrição hídrica (RH) associada a doses de extrato de alga *Ascophyllum nodosum* L.

Tratamentos	EA _K (mg g ⁻¹)		ET _K (%)		EUN _K (g ² mg ⁻¹)	
	SDH	REC	SDH	REC	SDH	REC
Controle	546 a	156 c	52 a	58 a	0,051 d	0,469 a
RH	363 b	230 bc	54 a	56 a	0,087 c	0,157 b
RH + 15 mL L ⁻¹	513 a	453 a	55 a	48 b	0,037 d	0,049 c
RH + 30 mL L ⁻¹	303 bc	243 b	52 a	37 d	0,149 b	0,168 b
RH + 45 mL L ⁻¹	223 c	213 bc	47 a	42 c	0,209 a	0,251 ab
Tratamentos	EA _P (mg g ⁻¹)		ET _P (%)		EUN _P (g ² mg ⁻¹)	
	SDH	REC	SDH	REC	SDH	REC
Controle	650 a	153 c	56 a	60 a	0,033 c	0,476 a
RH	386 b	216 bc	48 a	54 ab	0,082 b	0,169 bc
RH + 15 mL L ⁻¹	480 b	423 a	56 a	47 c	0,040 c	0,054 d
RH + 30 mL L ⁻¹	396 b	256 bc	45 ab	30 d	0,110 b	0,124 c
RH + 45 mL L ⁻¹	206 c	270 b	35 b	49 bc	0,230 a	0,272 b

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

Com relação ao conteúdo de K na parte aérea, os maiores valores foram observados nas mudas provenientes do tratamento Controle e, ao oposto, os menores foram verificados em RH e RH com 30 e 45 mL⁻¹ de ANE nos dois períodos de avaliação (Tabela 3). Já na raiz, o maior valor na SDH ocorreu nas mudas Controle diferindo apenas daquelas em RH. Enquanto que na raiz o maior valor ocorreu no tratamento Controle na SDH e naquelas em RH + 15 mL⁻¹ de ANE, e os menores nas mudas em RH sem aplicação de ANE nos dois períodos.

Em relação ao conteúdo de fósforo na parte aérea o maior valor está constando nas mudas controle nos dois períodos de SDH e REC (Tabela 3), no conteúdo da raiz os maiores valores são nas mudas controle fase de SDH, já na REC o maior valor é seguido das mudas de RH+ 30 mL⁻¹ de ANE.

TABELA 3. Conteúdo de potássio (K) e fósforo (P) na parte aérea e raiz em mudas de *Inga edulis* Mart. em dois períodos de avaliação em função da restrição hídrica (RH) associada a doses de extrato de alga *Ascophyllum nodosum* L.

	Conteúdo de K (g kg ⁻¹)			
	Parte aérea		Raiz	
	SDH	REC	SDH	REC
Controle	2,08 a	2,09 a	1,90 a	1,51 c
RH	1,60 b	1,51 b	1,37 b	1,19 d
RH + 15 mL L ⁻¹	2,03 a	1,43 bc	1,66 ab	1,53 c
RH + 30 mL L ⁻¹	1,61 b	1,28 c	1,49 ab	2,14 a
RH + 45 mL L ⁻¹	1,50 b	1,34 c	1,62 ab	1,80 b
	Conteúdo de P (g kg ⁻¹)			
	Parte aérea		Raiz	
	SDH	REC	SDH	REC
Controle	3,52 a	2,10 a	2,69 a	1,43 bc
RH	1,54 b	1,39 b	1,63 bc	1,15 c
RH + 15 mL L ⁻¹	1,98 b	1,29 b	1,47 c	1,44 bc
RH + 30 mL L ⁻¹	1,83 b	1,15 b	2,22 ab	2,63 a
RH + 45 mL L ⁻¹	1,03 b	1,99 a	1,88 bc	2,00 ab

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$)

As mudas de *I. edulis* devido ao comportamento sobre restrição hídrica, uma vez que as plantas apresentaram sintomas de déficit hídrico (SDH). Os efeitos do estresse refletiram de maneira mais acentuada no período pós-estresse, pois mesmo retomando a irrigação, a maioria das características como parte aérea e raiz das plantas apresentam menores valores do que aos das mudas controle e das receberam 30 e 45 mL L⁻¹ de ANE, demonstrando o efeito benéfico gradual do extrato no pós-estresse.

A área foliar das mudas de *I. edulis* foi influenciada pelos tratamentos nos dois períodos de avaliação (Figura 3). Na fase de SDH, as mudas em RH apresentaram maiores valores de área foliar (412,75 cm²), os quais não diferiram estatisticamente aos das mudas controle (350,50 cm²) e das que receberam 30 e 45 mL L⁻¹ de ANE (391,75 e 389,75 cm²), exceto para RH+ 15 mL L⁻¹ de ANE apresentaram menor valor (Figura 3a).

Na REC, as mudas previamente em RH + 45 mL L⁻¹ de ANE apresentaram maior área foliar (830,75 cm²), não diferindo significativamente do tratamento controle. Esses resultados podem ser explicados devido ao fato de que nessas mesmas condições de cultivo, essas mudas tiveram maior conteúdo de P na parte aérea (Tabela 2), o que

contribui na produção de energia e conversão em fotoassimilados, aqui representado pela F_v/F_m e F_v/F_0 .

As aplicações de diferentes extratos de alga melhoraram o desenvolvimento e rendimento das culturas através de vários modos, especialmente por aumentar a eficiência nutricional das plantas (SHUKLA et al., 2019), uma vez que na composição química do produto contém nutrientes. Nas mudas de RH + 15 mL⁻¹ ANE teve menor área foliar na fase de SDH, entretanto as respostas quanto ao uso de extrato de alga podem variar entre as espécies de plantas, conforme observado por Coelho (2020) onde, a aplicação 1 e 2 ml L⁻¹, em limão cravo, não contribuiu no desenvolvimento altura e diâmetro do coleto (COELHO. B. S., 2020).

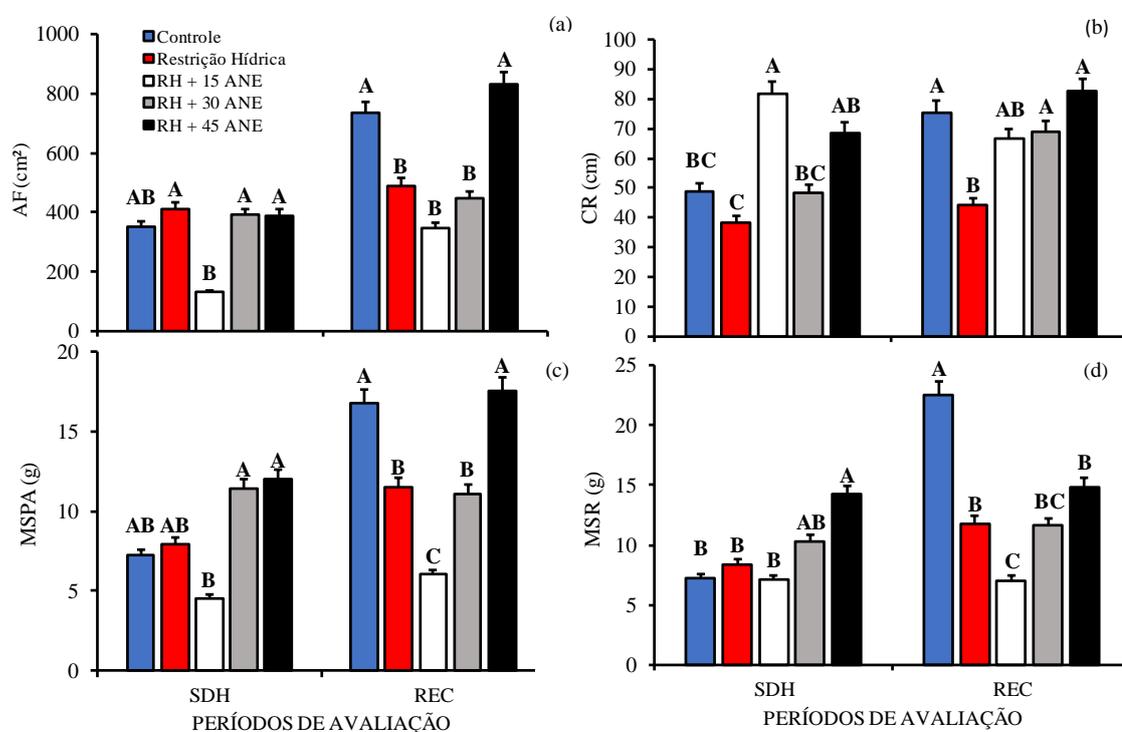


FIGURA 3. Área foliar (a), comprimento de raiz (b), massa seca da parte aérea (c), massa seca da raiz (d) em mudas de *Inga edulis* M. sob restrição hídrica (RH) e retomada da irrigação (REC) em associação com extrato de alga, em dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras maiúsculas comparam os tratamentos (combinação dos regimes hídricos e extrato de alga) em cada período de avaliação (teste de Tukey, $p < 0,05$).

As mudas cultivadas em RH com 15 e 45 mL L⁻¹ de ANE tiveram maior comprimento de raiz (81,75 e 68,50 cm, respectivamente), enquanto aquelas em RH que não receberam aplicação de ANE tiveram menor valor (38,50 cm), na fase de SDH (Figura 3b). Na REC, as mudas previamente em RH tiveram menores valores (44,25 cm)

em comparação as Controle e as que receberam 30 e 45 mL L⁻¹ de ANE com valores de 69,0 e 82,50 cm, respectivamente.

O extrato de alga por meio de envolvimento de melhorias hormonais nas plantas, propôs um crescimento para as plantas, em vários modos de ação por conter hormônios vegetais incluindo auxinas, giberelinas e citocininas propondo que esses estímulos estão ligados diretamente ao desenvolvimento dessas plantas (SEAGER et al., 2020). Devido ao estímulo de comprimento de raiz, na literatura o uso de doses de ANE potencializou o desenvolvimento, desde as fases iniciais de mudas de tomate (SOUZA et al., 2017).

Os maiores valores de massas secas da parte aérea e das raízes ocorreram nas mudas cultivadas com 30 e 45 mL L⁻¹ de ANE (11,439 e 11,972 g, respectivamente) já na MSPA (10,302 e 14,235) no período de SDH (Figura 3c e 3d). Na REC, as maiores MSPA e MSR ocorreram nas mudas controle e RH + 45 mL L⁻¹ de ANE (Figura 3c e 3d), devido aos maiores valores de área foliar e conteúdo de P na parte aérea, enquanto que os menores valores dessas duas características ocorreram nas mudas que receberam 15 mL L⁻¹ de ANE, no mesmo período. De maneira geral, os maiores valores nas mudas tratadas com as maiores doses de ANE, aqui representado por 30 e 45 mL L⁻¹ deve-se ao fato de essas quantidades terem favorecido o aumento de nutrientes na planta em função da composição nutricional presente nos bioestimulantes, tal N e K (0,30 - 0,60 e 5,00 - 7,00%, respectivamente), o que favorece o metabolismo foliar, especialmente devido aos maiores valores do índice de clorofila (Figura 4a), acarretando em maior F_v/F_m e F_v/F₀, o que promove maior produção de energia dos processos fotoquímicos e posterior metabolismo bioquímico da fotossíntese.

Devido a esse fato, a absorção de N deve-se aos fatores principais para compor as moléculas componentes da clorofila, a absorção acontece nas formas de nitrato (NO₃⁻) e de amônio (NH₄⁺), que compõem importante processo da fotossíntese, que contribui para crescimento das plantas (TAIZ et al., 2017; FARIA et al., 2020), enquanto que o K além da ativação enzimática, atua em outros processos fisiológicos, dentre eles a fotossíntese, turgescência de tecidos vegetal e processo de transporte de elétrons beneficiando as plantas (OOSTERHUIS et al., 2014). Nesse sentido, a aplicação do ANE contribui na nutrição e fisiologia das mudas de *I. edulis*, especialmente na REC.

De maneira semelhante, mudas de *Alibertia edulis* Rich. também apresentaram maiores valores de biomassa da parte aérea e do sistema radicular quando receberam aplicação de ANE, nas doses 15 e 20 mL L⁻¹ de ANE (BERNARDES et al., 2022). Porém, as respostas quanto a doses de produtos, aqui representado pelo bioestimulante é variável

de acordo com a espécie. Em nosso estudo, verificamos que a associação de *I. edulis* com 15 mL de L⁻¹ de ANE prejudicou os resultados de algumas das características avaliadas, inclusive em comparação com as mudas em RH sem aplicação de ANE, na REC.

Com relação ao índice de clorofila no período de SDH, os tratamentos com ANE não divergiram, estaticamente, das plantas entre os tratamentos analisados. O tratamento Controle apresentou maior valor (49,425) em relação aos demais tratamentos na REC, com grandeza similar ao observado nas mudas com 30 e 45 mL de ANE L⁻¹ (42,080 e 47,425, respectivamente) que não divergiram da RH (36,250), onde apresentaram menores índices.

De maneira geral, um fator importante a ser discutido baseia-se na premissa de que as plantas utilizam os pigmentos fotossintéticos presentes nas folhas e demais órgãos clorofilados para absorver luz solar ao qual é vital para o processo da fotossíntese. Diante disso, a planta necessita de luz para sua sobrevivência e desenvolvimento vegetal (AIMI et al., 2017; LIMA et al., 2021). Portanto plantas que passam pelo o período de estresse hídrico, durante o ciclo vegetativo e reprodutivo, sofrem alterações morfológicas. Além disso, em estresse hídrico, as plantas ficam predispostas à sofrerem danos oxidativos as moléculas de cloroplastos, degradando os pigmentos fotossintéticos e afetando negativamente a mobilidade eletro-iônica entre os aceptores da cadeia de transporte nos centros de reação do fotossistema II (SANTOS et al., 2021; XIA et al., 2022).

O índice de clorofila, fluorescência inicial da clorofila a (F_0), eficiência de conversão de energia absorvida – F_v/F_0 e rendimento máximo basal dos processos não fotoquímicos – F_0/F_m não foram influenciados pelos tratamentos na fase de SDH. Na REC, os valores de F_0 nas mudas que receberam ANE foram menores, mas as mudas em RH tiveram aumento (0,076) dessa característica inflorescência na REC se diferenciando dos demais. O menor valor (0,035) de F_0 ocorreu nas mudas que receberam 45 mL L⁻¹ de ANE (Figura 4b).

Com relação a eficiência fotoquímica (F_v/F_m), houve redução quando cultivadas em RH com aplicação de ANE na SDH. A diferença nos valores do processo fotoquímico das plantas, especialmente em SDH, se deve à instabilidade da transferência de energia no centro de reação em FS II, especialmente ao fato de nessa condição as plantas apresentarem altos valores de E_{A_K} , o que gerou alto gasto energético, mas baixa ET (Tabela 2). Ainda, vale destacar que o consumo é acentuado à condição de estresse pela restrição hídrica. O baixo transporte de elétrons acaba sendo afetado devido ao baixo teor de umidade no solo (DALAL e TRIPATHY, 2018). Na REC, houve aumento da

eficiência nas plantas com 45 mL de ANE L⁻¹ (0,707) não dessemelhante das com 30 mL de ANE L⁻¹ (0,613) devido aos maiores valores de EUN_K e EUN_P das mudas (Tabela 2) e do conteúdo de K e P nas raízes (Tabela 3).

Em relação a eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0), nos tratamentos em SDH não houve diferença estatisticamente entre elas, contudo, no período de REC, o tratamento de 45 mL de ANE L⁻¹ (2,310) apresentou aumento em relação aos demais tratamentos, diferenciando estatisticamente. Com relação aos processos não fotoquímicos (F_0/F_m), os tratamentos em SDH não houve diferença significativa entre eles, já no período de recuperação, o tratamento com de 45 mL de ANE L⁻¹ (0,247) foi que apresentou menor valor comparado com os demais tratamentos, se diferindo estatisticamente. O menor coeficiente não fotoquímico para as mudas de 45mL, provavelmente, indica que estas plantas apresentaram uma menor dissipação da energia luminosa absorvida na forma de energia térmica, prejudicando a produção de energia química na forma de ATP e NADPH (ZANANDREA et al., 2006).

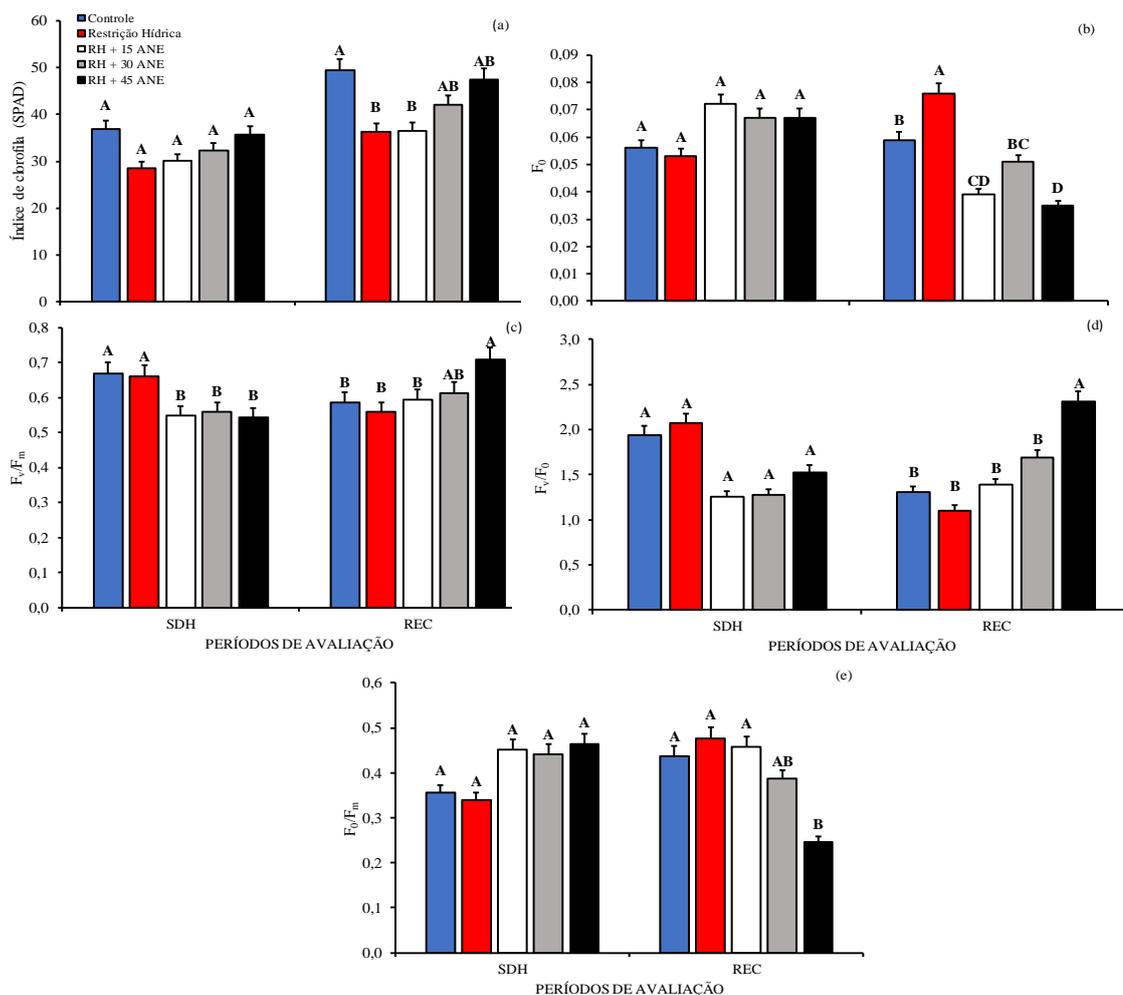


FIGURA 4. Índice de clorofila (a), inflorescência inicial – F_0 (b), eficiência quântica fotoquímica no fotossistema II – F_v/F_m (c), eficiência de conversão de energia absorvida – F_v/F_0 (d) e rendimento máximo dos processos não fotoquímicos – F_0/F_m (e) em mudas de *Inga edulis* M. sob restrição hídrica (RH) e irrigação contínua (REC) em associação com extrato de alga, em dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras maiúsculas comparam os tratamentos (combinação dos regimes hídricos e extrato de alga) em cada período de avaliação (teste de Tukey, $p < 0,05$).

Em relação a razão da área foliar (RAF) no período de SDH, o tratamento de 15 mL de ANE L^{-1} (11,518) apresentou menor valor comparado com os demais tratamentos, mas não diferindo estatisticamente dos tratamentos 30 e 45 mL L^{-1} de ANE L^{-1} (18,270 e 15,058). No período de REC, os tratamentos de 15 e 45 mL L^{-1} de ANE L^{-1} (30,567 e 31,283) apresentaram maiores valores em relação ao tratamento de 30 mL L^{-1} de ANE L^{-1} (15,00), diferindo estatisticamente dos demais. As mudas cultivadas com ANE apresentaram os menores valores associados à área foliar e, assim, aumentaram as taxas

líquidas de assimilação, pois valores mais baixos de RAF exigiram unidades menores de área foliar para aumentar 1 g de biomassa (BERNARDES et al., 2022).

As mudas que receberam aplicação de 30 mL L⁻¹ de ANE tiveram menor área foliar específica (AFE), diferindo apenas dos tratamentos Controle e RH sem aplicação do bioestimulante (Figura 5b). Na REC, as mudas em todos os tratamentos não diferenciam entre si para AFE (Figura 5b). As mudas de *Swietenia macrophylla* K., *Handroanthus serratifolius* V. e *Handroanthus impetiginosa* M. apresentaram menores valores de AFE quando submetidas ao déficit hídrico (CAMPELO et al., 2015), e valores mais baixos de AFE implicam em folhas mais espessas, o que pode estar relacionado a mecanismos que aumentam a eficiência do uso da água, indicando um maior número de células do mesofilo (NASCIMENTO et al., 2019).

As mudas cultivadas com 15 mL de ANE L⁻¹ (0,650) tiveram menor relação parte aérea/raiz (RPAR) e maior área foliar específica no período de SDH (110,99), porém as mudas Controle (1,346) e 30 mL⁻¹ de ANE L⁻¹ (1,386) apresentaram maior RPAR nesse período. Na REC, as mudas de 30 e 45 mL⁻¹ de ANE L⁻¹ (1,017 e 1,020) foram as que apresentaram maiores valores de RPAR. figura 5c

No SDH, as mudas com maior índice de qualidade de Dickson (IQD) foram as com 30 e 45 mL⁻¹ de ANE L⁻¹ de ANE, com valores de 3,47 e 3,75, respectivamente. Na REC, as mudas controle apresentaram maior IQD (4,96) em relação as demais mudas tratadas com o bioestimulante. Entretanto, ressaltamos que as mudas previamente em RH com 30 e 45 mL⁻¹ L⁻¹ de ANE apresentaram IQD maior do que as nesse mesmo regime hídrico na fase SDH e sem aplicação de ANE, indicando que seu uso contribui no vigor das mudas, resposta associada ao incremento de biomassa nesses mesmos tratamentos e períodos.

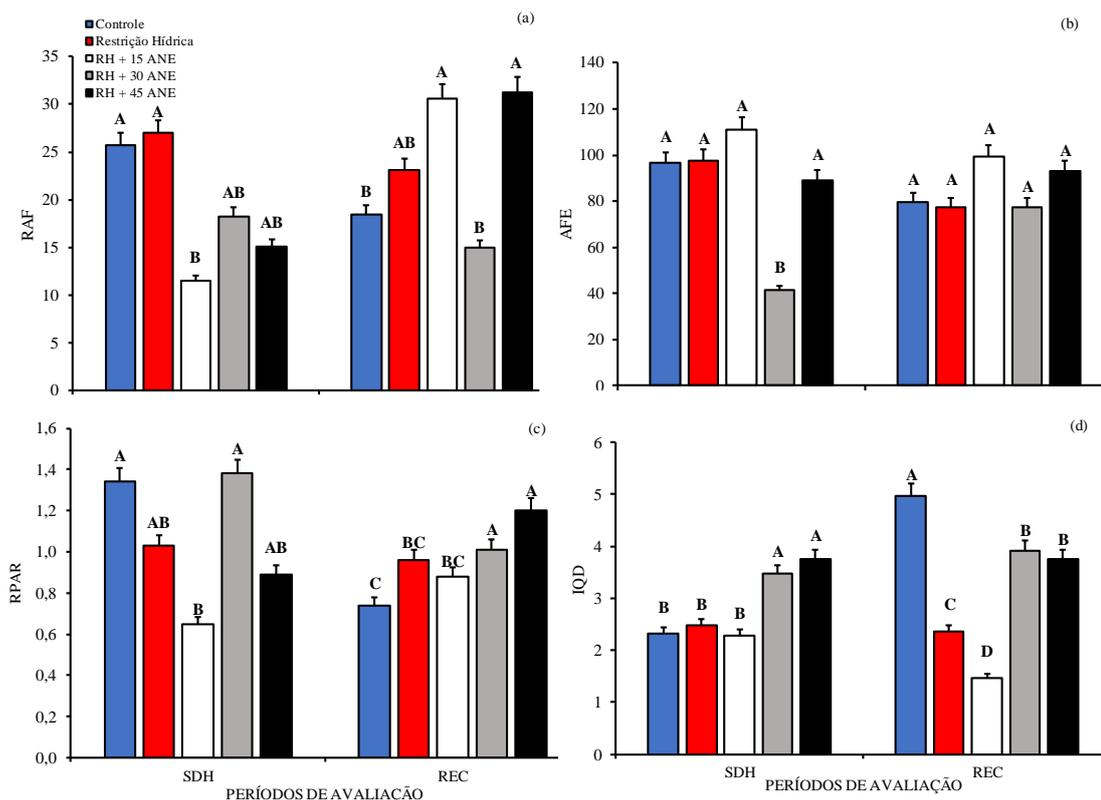


FIGURA 5. Razão de área foliar – RAF (a), área foliar específica – AFE (b), relação parte aérea/raiz – RPAR e o índice de qualidade de Dickson – IQD (d), em mudas de *I. edulis* M. sob restrição hídrica (RH) e irrigação contínua (REC) em associação com extrato de alga em dois períodos de avaliação (SDH e REC). Letras iguais não diferem entre si (teste de Tukey; $p < 0,05$).

No que se refere a plasticidade fenotípica (IPF) da eficiência quântica potencial fotoquímica (F_v/F_m), os maiores valores de IPF são provenientes de mudas que receberam diferentes doses ANE na SDH (Tabela 4). Isso deve-se ao fato de que, nesse período, essas mudas estavam com a qualidade mais distantes em relação às mudas controle, mas não prejudicou a produção de fotoassimilados. Os maiores valores de IPF do IQD ocorreram nas mudas que receberam 30 e 45 $\text{mL}^{-1} \text{L}^{-1}$ de ANE, indicando a aplicação dessas doses contribuíram no vigor das mudas, quando analisadas em SDH. Na REC, essas mesmas mudas tiveram bom desenvolvimento, enquanto que aquelas em RH e RH + 15 $\text{mL}^{-1} \text{L}^{-1}$ de ANE resultaram nos menores valores.

Os valores e a maneira de interpretação do IPF variam de acordo com o padrão de resposta das mudas. Quanto menor o valor do IPF, mais próximos são os valores de determinada característica em comparação com as mudas controle, sugerindo um mecanismo de resistência/tolerância a determinada condição de estresse. Entretanto,

quanto maior o valor, ocorre discrepâncias acentuadas entre as mudas sob estresse com as controle, indicando maior plasticidade.

TABELA 4. Índice de plasticidade fenotípica (IPF) da eficiência quântica potencial fotoquímica (F_v/F_m), área foliar, comprimento de raiz e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de *Inga edulis* M. em dois períodos de avaliação em função da restrição hídrica (RH) associada a doses de extrato de alga *Ascophyllum nodosum* L.

		IPF (0,00 a 1,00)			
Característica	Épocas	RH	RH + 15 ANE	RH + 30 ANE	RH + 45 ANE
F_v/F_m	SDH	0,01	0,18	0,16	0,19
	REC	0,05	0,02	0,05	0,17
IQD	SDH	0,06	0,02	0,33	0,38
	REC	0,52	0,70	0,21	0,24

SDH: sintoma de déficit hídrico; REC: recuperação

Assim, a aplicação de 30 e 45 mL⁻¹ L⁻¹ de ANE favorece a recuperação da eficiência fisiológica, da otimização do uso de nutriente e o crescimento das mudas, bem como o potencial de resiliência ecológica do *I. edulis* por plasticidade fenotípica.

5 CONCLUSÕES

Na fase de sintoma de déficit hídrico, as mudas de *I. edulis* que receberam aplicação de 30 e 45 mL L⁻¹ de *A. nodosum* apresentaram maior produção de biomassa e índice de qualidade de Dickson.

A aplicação de 15 mL L⁻¹ de extrato de *Ascophyllum nodosum* prejudicou as mudas durante e após o período de restrição hídrica.

Mudas de *I. edulis* cultivadas com 45 mL⁻¹ L⁻¹ de extrato de alga *A. nodosum* tiveram maior eficiência fisiológica e de crescimento na fase de recuperação, indicando potencial de resiliência ecológica por plasticidade fenotípica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIB, M. C. S. **Adubação verde com ingá (*Inga edulis*) em solo latossolo amarelo de quintais agroflorestais na Amazônia Central**. 66 f. Dissertação (Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus 2017.
- AIMI, S. C.; ARAUJO, M. M.; TONETTO, T. S.; TABALDI, L. A.; SALDANHA, C. W.; FARIAS, J. G.; DE OLIVEIRA, G. G. **O sombreamento como fator condicionante ao plantio de espécies florestais: um estudo com *Apuleialeiocarpa***. *Bosque*, v. 38, n. 2, p. 371-379, 2017.
- ARAUJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA J. H.; GUERRA, H. O. C.; CORDÃO, M. A., & BRITO, M. E. B. Trocas gasosas em cultivares de algodão herbáceo sob estratégias de déficit hídrico. **Jornal Africano de Pesquisa Agrícola**, v. 14, n. 23, p. 986-998, 2019.
- AZEVEDO, A. C. M.; COUTINHO.; A. D.; CASTRO, D. **Desenvolvimento inicial do inga cipó (*Inga edulis* Mart.) em zona ripária degradada**. 2015 5 f. Dissertação (Graduação) Curso de Graduação de Engenharia Florestal, Diretoria de Pesquisa Universidade do Mato Grosso, Alto Florestas, 2015.
- BATTACHARYYA, D.; BABGOHARI, M. Z.; RATHOR, P.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulture**, Canada, v.196, p. 39-48, 2015.
- BELTRAMIN, F. A.; COSTA, W. C.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Water-Retaining polymer mitigates the water deficit in *Schinus terebinthifolia*: photosynthetic metabolism and initial growth. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 6, p. 684-691, 2020.
- BEGUELINE, M. C. L. M. **Fertilizantes com bioestimulantes no crescimento de grama Esmeralda sob duas condições de déficit hídrico** 2021, 80 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós graduação de Ciências Agrônômicas, Diretoria de Pesquisa e Pós Graduação, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2021.
- BERNARDES, R. S. **Extrato de alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis e nitrogênio em mudas de *Alibertia edulis* (Rich) A. Rich**. Resumo (Graduação) Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.
- BETTINI, M. D. O. **Aplicação de extratos de algas marinhas em cafeeiro sob deficiência hídrica e estresse salino**. 2015. 171 f. Tese (Doutorado) Curso Pós graduação em ciências agrônômicas Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

- BOOGAR, A. R.; SALEHI, H. Developmental indices of cones collected from male plants of *Juniperus polycarpus* K. Koch under in vitro water deficit and salt stress conditions. **South African Journal of Botany**, v. 131, n. 1, p. 277-282. 2020.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J.D.M.; NEVES, A.L.R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973-883, 2015.
- CAMPOBENEDETTO, C.; AGLIASSA, C.; MANNINO, G.; VIGLIANTE, I.; CONTARTESE, V.; SECCHI, F.; BERTEA, CM. A Biostimulant Based on Seaweed (*Ascophyllum nodosum* and *Laminaria digitata*) and Yeast Extracts Mitigates Water Stress Effects on Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 557, 2021.
- COELHO, B. S.; **Diferentes concentrações de extrato de algas marinhas (*Ascophyllum nodosum*) na produção de porta-enxertos de limão cravo** 2020. p 1 a 27 (Trabalho de conclusão de curso) Instituto Federal de Minas Gerais Campus são João Evangelista, 2020
- DA CUNHA, R. L. M.; FILHO, B. G. S.; COSTA, R. C. L.; VIÉGAS, I. J. M. Physiological assessment in Young Brazilian and African mahogany plants during the dry and rainy seasons in northeastern Pará state, Brazil. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, n. 3, p. 255-260, 2013.
- DALAL, V.; TRIPATHY, B. Water-stress induced downsizing of light-harvesting antenna complex protects developing rice seedlings from photo-oxidative damage. **Scientific Reports**, v. 8, n. 5955, p. 1-16, 2018.
- DA SILVA, C. P.; GARCIA, K. G. V.; DA SILVA, R. M.; DE ARAUJO, O. L. A.; DA SILVA, T. M. Desenvolvimento inicial de mudas de couve-folha em função do uso de extrato de alga *Ascophyllum nodosum*. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 9, 2012.
- DA SILVA, C. P.; Garcia, K. G. V.; DA SILVA, R. M. DE ARAUJO OLIVEIRA, L. A.; DA SILVA TOSTA, M. Desenvolvimento inicial de mudas de couve-folha em função do uso de extrato de alga, *Ascophyllum nodosum*, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 9, 2012.
- DE MEDEIROS, J. X.; SILVA, G. H.; RAMOS, T. M.; NOBREGA LÚCIO, A. M. F. Avaliação de extrato de fumo no tratamento de sementes de *Inga edulis* Mart. In: **VIII Simpósio de Pós-Graduação em Ciências Florestais**. 2014.
- DE SAEGER, J., VAN P. S.; VEREECKE, D. **Para a compreensão molecular do mecanismo de ação de extratos de *Ascophyllum nodosum* em plantas.** *J Appl Phycol* 32, 573-597 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>

DIAS, A.L.S.; SOUZA, J.N.S.; ROGEZ, H. 2010. Purification of phenolic compounds from *Inga edulis* leaves using solid-phase extraction: major compounds quantification and antioxidant capacity evaluation. **Química Nova**, v.33: p.38-42, 2010.

DICKSON, A.; LEAF, A.L.; HOSNER, J.F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DOS SANTOS, B. D. O Crescimento de plantas jovens noduladas de *Inga edulis* Mart. submetidas à fertilização nitrogenada e fosfatada sob regimes hídricos contrastantes. 2014. 27 f. IC (Graduação) Pró Reitoria de Pesquisa e Graduação, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

FALCÃO, M. A.; CLEMENT, C. R. Fenologia e produtividade do ingá-cipó (*Inga edulis*) na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 30. n. 2, p. 173-180, 2000.

FARIA, I. P. C.; FONSECA, J. C.; PIRES, C. R. F.; CARDOSO, E. A.; RODRIGUES, N. M.; SOUSA, D. N. **Qualidade nutricional e culinária de cultivares de arroz adubado com doses de nitrogênio**. **Agri-environmental Sciences**, v. 6, n. 10, 2020.

FERNANDES, A. L.; SILVA, R. Avaliação do extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) no desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro irrigado por gotejamento e cultivado em condições de cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1-11, 2011.

GONÇALVES, M. V. O.; VOLTOLINI, G. B. **Fertilizantes com algas promovem o efeito fisioativador**. 2015. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/fertilizantescom-algas-promovem-o-efeitofisioativador/>> Acesso em: 21/10/2021.

GONZALEZ, A. E.; CHARLES M. B.; MANCINI-FILHO, J.; NOVOA, A. V. Algas marinhas como fontes de fitofármacos antioxidantes. **Revista Cubana Plantas Medicinales**, Cidade de Havana, v. 14, n. 2, p. 1-18, 2009.

GUERRERO, A. C.; BORGES, L. C.; FERNANDES, D. M. Efeito da aplicação foliar de silício em rúcula cultivada em dois tipos de solos. **Bioscience. Journal**, v. 27, n. 4, p. 591-596, 2011.

GROSSMAN, J.M.; SHEAFFER, C.; WYSE, D.; BUCCIARELLI, B.; VANCE, C.; GRAHAM, P.H. Avaliação da nodulação e fixação de nitrogênio em *Inga oerstediana*, uma árvore fixadora de nitrogênio que sombreamento de café cultivado organicamente em Chiapas, México. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 4, p.769-784, 2006.

HALLIWEL, B.; GUTTIERIDGE, J.M.C. Cellular responses to oxidative stress: adaptation, damage, repair, senescence and death. eds. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford: Oxford University Press, p. 187-267, 2007.

HIRPA, F. A.; ALFIERI, L.; LEES, T.; PENG, J.; DYER, E.; DADSON, S. J. **Streamflow response to climate change in the Greater Horn of Africa**. **Climatic Change**, v. 156, n. 3, p. 341-363, 2019.

HUNT, R. **Growth Analysis, Individual Plants. Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2 Ed., v. 1, 2017, p. 421–429

IGNA, R. D.; MARCHIORO, V. S. Manejo de (*Ascophyllum nodosum*) na cultura do trigo. **Revista Cultivando o Saber**. v. 3, n. 1, p. 64-71, 2010.

LEBLANC, H. A.; NYGREN, P.; MCGRAW, R. L. Decomposição da cobertura vegetal verde e liberação de nitrogênio das folhas de duas *Inga* spp. em uma prática de cultivo orgânico em becos nos trópicos úmidos. **Biologia e bioquímica do solo**, v. 38, n. 2, p. 349-358, 2006.

LI, B.; McKEAND, S.E.; ALLEN, H.L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LIMA, M. S.; ARAUJO, M. M.; AIMI, S. C.; DE OLIVEIRA, V. V.; BERGHETTI, Á. L.; NASCIMENTO, N. F.; TAROUÇO, C. P. Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic forest biome, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 501, p. 1-11, 2021.

MADABULA, F.P.; SANTOS, R.S.D.; MACHADO, N.; PEGORARO, C.; KRUGER, M.M.; MAIA, L.C.D.; OLIVEIRA, A.C.D. Genótipos de arroz para tolerância à seca: avaliação morfológica e transcricional de genes relacionados à auxina. **Bragantia**, v. 75, p. 428-434, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 319p. 1997.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G.; LANDIM, F. Produtividade e uso eficiente da água de duas cultivares de batata-doce em função de lâmina de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602-606, 2018.

MOUSAVI-DERAZMAHALLEH, M.; BAYER, P.E.; HANE, J.K.; VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H.T.; NELSON, M.N.; ERSKINE, W.; VARSHNEY, R.K.; PAPA, R.; EDWARDS, D. Adapting legume crops to climate change using genomic approaches. *Plant Cell. Environment Journal*, v.42, p.6-19, 2019.

NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. B.; GONÇALVES, J. F. C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1019-1032, 2019.

NICHOLS, J.D.; CARPENTER, F.L. O intercalamento de *Inga edulis* produz benefícios de nitrogênio para Terminalia Amazônia, **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 233, n. 2-3, p. 344-351, 2006.

OGAWA, J. M. **O uso de biofertilizantes no controle de pragas da cultura do alho**. 2013. 17 f. Monografia (graduação) Curso de Agronomia - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2013.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; KAWAKAMI, E. M.; PETTIGREW, W. T. The physiology of **potassium in crop production**. *Advances in Agronomy*, v.126, p.203–233, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1>

PENNINGTON, T.D. **The genus Inga Botany**. London, The Royal Botanic Gardens.. 844 p. 1997

POMPEU, D. R., ROGEZ, H., MONTEIRO, K. M., TINTI, S. V., CARVALHO, J. E. Capacidade antioxidante e triagem farmacológica de extratos brutos de folhas de *Byrsonima crassifolia* e de *Inga edulis*, *Acta Amazônica*, v. 42, p. 165-172, 2012.

PORTO, D. S.; FARIAS, E. D. N. C.; CHAVES, J. S.; SOUZA, B. F.; MEDEIROS, R. D.; ZILLI, J. E.; SILVA, K. Symbiotic effectiveness of *Bradyrhizobium ingae* in promoting growth of *Inga edulis* Mart. seedlings. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, p. 2, 2017.

PRANCE, G.T.; SILVA, M.F.. **Arvores de Manaus**. INPA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 1975. 312 p.

REIS, L. C.; **Sombreamento e Aplicação de Silício em Mudanças de *Hymenaea courbaril* l. sob déficit hídrico e seu potencial de recuperação**. 2022. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia- Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor). Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

ROCHA, M. D. A. M.; VIEIRA, J. M. S. S.; LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L. Respostas fisiológicas diárias de espécies lenhosas sob estresse hídrico, em solo com e sem adição de matéria orgânica. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, v. 11, n. 2 p. 1339-1347, 2017.

RONTEIN, D.; BASSET, G. G.; HANSON, A. D. Engenharia metabólica da acumulação de osmoprotetores em plantas. *Engenharia metabólica*, v. 4, n. 1, p. 49-56, 2002.

ROSA, D. B.; SCALON, S. P.; CREMON, T.; CECCON, F.; DRESCH, D. M. Gas exchange and antioxidant activity in seedlings of *Copaifera langsdorffii* Desf. under different water conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 89, n. 4, p. 3039-3050, 2017.

ROSA, V. R. **Ação de bioestimulantes na mitigação do estresse por deficiência hídrica em soja**. 2020. 101 f. Tese (Doutorado), Curso de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciência agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

SANTOS, C. C.; SILVERIO, J. M.; SCALON, S. de P. Q.; Vieira, M. do C. Hydrogel and water regimes in the chlorophyll-a fluorescence and growth of *Campomanesia xanthocarpa* seedlings. *Engenharia Agrícola*, v.41, p.330-337, 2021. DOI:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n3p330-337/2021

SEAGER, J., Van P. S.; Vereecke, D. **Para a compreensão molecular do mecanismo de ação de extratos de *Ascophyllum nodosum* em plantas.** *J Appl Phycol* 32, 573-597 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01903-9>

SCALON, S. P. Q.; KODAMA, F. M.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, L. Q. Gas Exchange in *Caryocar brasiliense* Cambess Seedlings in Water Deficit Conditions. **Floresta e Ambiente**. v. 27, p. 2, 2020.

SCHWIDER, Y.; PEZZOPANE, J. E.; CORREA, V.; TOLEDO, J. V.; XAVIER, T. Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1-13, 2013.

SHUKLA, P. S.; MANTIN, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 655, p. 1-22, 2019.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, n. 3, p.289-302, 1981.

SILVA, O. F. B. da. **Influência de diferentes concentrações de extrato de algas sobre o desempenho produtivo do tomate saladete**, 2018. 23 f. TCC (Graduação) - Centro Universitário de Anápolis - UniEVAGÉLICA, Anápolis, 2018.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687 - 1699, 1994.

SOBRINHO, A. C. G.; ROGEZ, H. L. G.; DO NASCIMENTO, V. H. A.; TEIXEIRA, B. J. B.; DE SOUZA, J. N. S. Determinação de compostos bioativos e capacidade sequestradora de radicais livres em extratos de folhas de *Byrsonima crassifolia* e *Inga edulis*. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 34954-34969, 2020.

SOUZA, B. G. A.; PEREIRA, L. A. F.; SOUZA, J. V. G. A.; ALBUQUERQUE, J. T.; SOUZA, L. V.; JÚNIOR, A. P. B.; **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, ISSN-e 1981-8203, Vol. 12, Nº. 4, 2017 , pág. 712-716.

SOUZA, J. N.; SILVA, E. M.; SILVA, M. D. N.; ARRUDA, M. S; LARONDELLE, Y.; ROGEZ, H. Identificação e atividade antioxidante de diversos flavonóides das folhas de *Inga edulis*. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 18, p. 1276-1280, 2007.

SOUZA, C. C.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, I. F.; AMORIM NETO, M. S. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob

cultivo de algodoeiro herbáceo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 338-342, 2000.

TALAMINI, V.; STADNIK, M. J. Extratos vegetais e de algas no controle de doenças de plantas. In: Stadnik, M.J.; Talamini, V. **Manejo ecológico de doenças de plantas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, v. 3, p.45-62, 2004.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Piracicaba, Artmed, 2004. 720 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre, Artmed. 2017. 858 p.

TEIXEIRA, N. T. Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* como bioestimulantes. **Revista Campo & Negócios Grãos**, Uberlândia, jul. 2015.

VALADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 6, p. 1103-1116, 2006.

VILLACHICA, H. Frutais y hortalizas promisorios de la Amazônia. Lima, Peru, Tratado de **Cooperación Amazônica**, 1996. 367 p.

XIA, Q.; FU, L. J.; TANG, H.; SONG, L.; TAN, J. L.; GUO, Y. **Sensing and classification of rice (*Oryza sativa* L.) drought stress levels based on chlorophyll fluorescence**. **Photosynthetica**, v.60, p.100-107, 2022. DOI:10.32615/ps.2022.005

ZANANDREA, Ilisandra et al. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 2, 2006.