



Uso de hidrolisados de *Arthrospira platensis* (*spirulina*) para avaliação como bioestimulante na germinação de semente de tomate

Use of Hydrolysate of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) for evaluation as a bio-stimulant in tomato seed germination

Rosana de Cassia de Souza Schneider¹, Aline Rubert¹, Paulo Roberto Fetter¹, Lisianne Brittes Benitez¹, Fabio Farias Neves², Tiele Medianeira Rizzetti¹

AUTHOR AFILIATIONS

1 – Universidade de Santa Cruz do Sul

2 – Universidade do Estado de Santa Catarina

ORCIDS AND CONTACT

Rosana C. de S. Schneider

Orcid: 0000-0003-1400-8401

rosana@unisc.br

Aline Rubert

Orcid: 0000-0002-8007-643X

aliner2@mx2.unisc.br

Paulo Roberto Fetter

Orcid: 0000-0002-0178-2185

agrofetter@gmail.com

Lisianne Brittes Benitez

Orcid: 0000-0002-0604-1407

lisianne@unisc.br

Fábio Faria Neves

Orcid: 0000-0003-4717-4684

fabio.neves@udesc.br

Tiele Medianeira Rizzetti

Orcid: 0000-0001-6539-1397

tielem@unisc.br

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the potential of hydrolysates from *Arthrospira platensis* biomass in the acceleration of germination and in the development of tomato seedlings. For the experiments, the germitest paper moistened with deionized water and selected tomato seeds was used as substrate. Initially, the seed was soaked with 0.5 and 1 mL volumes of deionized water. Then, for each germination test, 54 tomato seeds ($n = 4$) were used, soaked with the hydrolysates or water (control). An experimental design was employed to optimize the conditions of sulfuric acid concentration and hydrolysis time. The comparison of biomass from 5 to 10% (m / v) was evaluated for seedling development and number of germinated seeds. Both soaking volumes were satisfactory and therefore, it was decided to use 0.5 mL for the tests with hydrolysates. The numbers of germinated seeds obtained by the experimental planning tests indicated that the best conditions for acid hydrolysis were the concentration of 1% (v / v) of H_2SO_4 by 30 min. The increase in biomass from 5 to 10% (m / v) in hydrolysis proved to be promising for the development of the radicle. Thus, the use of *A. platensis* biomass is an adequate alternative to stimulate germination and increase the development of the radicle of tomatoes.

Keywords: *Arthrospira platensis*, germination, hydrolysate, tomatoes.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial dos hidrolisados da biomassa de *Arthrospira platensis* na aceleração da germinação e no desenvolvimento das plântulas de tomate. Para os experimentos foi utilizado como substrato o papel germitest umedecido em água deionizada e sementes de tomate selecionadas. Inicialmente, verificou-se o embebedimento da semente com os volumes de 0,5 e 1 mL de água deionizada. Após, para cada teste de germinação utilizou-se 54 sementes de tomate (n=4) embebidas com os hidrolisados ou água (controle). Um planejamento experimental foi empregado para otimizar as condições de concentração do ácido sulfúrico e tempo de hidrólise. A comparação de biomassa de 5 para 10% (m/v) foi avaliada para o desenvolvimento das plântulas e número de sementes germinadas. Ambos os volumes de embebedimento foram satisfatórios e com isso optou-se pelo uso de 0,5 mL para os ensaios com os hidrolisados. Os números de sementes germinadas obtidas pelos ensaios do planejamento experimental indicaram que as melhores condições de hidrólise ácida foram a concentração de 1% (v/v) de H₂SO₄ por 30 min. O aumento de biomassa de 5 para 10% (m/v) na hidrólise demonstrou ser promissora para o desenvolvimento da radícula. Dessa forma, o uso da biomassa de *A. platensis* mostra-se como uma alternativa adequada para a estimulação da germinação e aumento do desenvolvimento da radícula do tomate.

Palavras-chave: *Arthrospira platensis*, Germinação, hidrolisado, tomate.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas estratégias de fontes naturais de promotores de crescimento de plantas é essencial para garantir a produção segura e sustentável de vegetais para o consumo

humano (Mógor et al., 2018). Os bioestimulantes são responsáveis pelo melhoramento e desenvolvimento de várias culturas agrícolas, podendo aumentar o vigor de sementes e diminuir o tempo de germinação. Em dosagens baixas estimulam a nutrição das plantas por meio da

regulação positiva dos transportadores de nutrientes (Ertani et al., 2019).

Um grupo importante de bioestimulantes é composto de proteínas hidrolisadas (Colla et al., 2015), bioestimulante rico em aminoácidos, o qual têm se destacado na agricultura devido aos benefícios que desempenham na cultura (Ertani et al., 2019). As proteínas hidrolisadas podem ser produzidas por meio de hidrólise química (hidrólise ácida e alcalina) e/ou enzimática de matérias-primas animais e vegetais (Colla et al., 2015). Os hidrolisados estão disponíveis tanto na forma líquida quanto solúvel, e são fornecidos às plantas por pulverização foliar ou aplicação direta às raízes de plantas que crescem em hidroponia (Colla & Rouphael, 2015; Ertani et al., 2019). No entanto, devido a complexidade e as potenciais interações de seus diferentes constituintes, o mecanismo pelo qual os bioestimulantes estimulam as respostas fisiológicas nas plantas não é completamente compreendido (Ertani et al., 2019).

Nos últimos anos, o potencial das microalgas como biofertilizantes ou bioestimulantes vegetais tem sido investigado (Mógor et al., 2018) devido à identificação de várias substâncias sintetizadas por esses organismos (Singh et al., 2016), se tornando uma alternativa promissora para o desenvolvimento de novos produtos que visam à estimulação do crescimento das plantas.

Garcia-Gonzalez and Sommerfeld (2016) relataram que o uso de *Acutodesmus dimorphus*,

o extrato celular e a biomassa seca, aplicados como bioestimulante, pulverização foliar e biofertilizante, respectivamente, promoveram uma germinação mais rápida e aumentaram o crescimento da planta e a produção floral em tomateiros “Roma”. Estudos de Castro et al. (2020) demonstram os impactos ambientais do uso de biofertilizante a base de biomassa de microalgas produzidas em meio efluente, destacando a importância da produção ser conduzida em meio efluente e a comparação com fertilizante químico. Ademais Marks et al. (2017) apresenta que biofertilizantes produzidos de biomassa de microalgas provenientes de tratamento de efluentes podem afetar positivamente a dinâmica e a biologia dos nutrientes do solo.

A importância do uso de microalgas no cultivo de tomate já vem sendo estudada em co-cultivos em sistemas hidropônicos mostrando o benefício para a formação das raízes (Barone et al., 2019; Supraja et al., 2020). Recentemente o uso direto de resíduos de biomassa de *Chlorella* sp., and *Scenedesmus* sp. após etapa de extração de lipídios foi realizado também para o cultivo de tomates com melhorias no plant growth (Silambarasan et al., 2021).

Outro estudo, conduzido por Mógor et al. (2018), investigou as propriedades bioestimulantes da biomassa hidrolisada de *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*). Neste estudo, os autores concluíram que o uso do hidrolisado (com 4 h de reação) demonstrou ser

um promotor de crescimento natural da planta e que pode ser usado como matéria-prima para bioestimulantes.

A *A. platensis* também é um destaque por ser uma fonte rica em macro e micronutrientes para plantas (Godlewska et al., 2019). Sobre a biomassa desta microalga tem-se relatos de conter altos teores de proteínas (60%) sendo possível utiliza-la para obter hidrolisados proteicos ricos em biocompostos valiosos (Akgül, 2019; Mógor et al., 2018).

Nesse contexto, dada à importância dos bioestimulantes na agricultura e a importância dos hidrolisados, o objetivo dessa pesquisa visou produzir um hidrolisado a partir da biomassa de *A. platensis* e avaliar o seu potencial como bioestimulante em relação à aceleração do tempo de germinação e ao desenvolvimento das plântulas.

MATERIAL E MÉTODOS

PRODUÇÃO DE HIDROLISADOS A PARTIR DA *A. Platensis*

Para a produção de hidrolisados, empregou-se a biomassa de *A. platensis*. O cultivo de *A. platensis*, bem como a colheita e secagem da biomassa estão descritas por Werlang et al. (2020). A biomassa obtida foi armazenada em freezer até o seu processamento. Para isso, a biomassa foi mantida em refrigerador a 4 °C por 24 h até o completo descongelamento; após procedeu-se a liofilização a -40 °C por 48 h. Por

fim, a biomassa seca foi coletada e armazenada em um refrigerador e mantida a 4 °C.

A partir dessa biomassa, os hidrolisados foram obtidos através de hidrólise ácida foram empregado para otimizar as condições de hidrólise ácida a fim de avaliá-los como bioestimulantes na germinação de sementes de tomate. Para isso, empregou-se um planejamento fatorial com ponto central, o qual a resposta avaliada foi o número de sementes germinadas e, a massa de plântulas e de raízes. O uso de réplicas foi empregado visando evitar erros atípicos associados a determinadas combinações de níveis.

As variáveis em estudo foram à concentração de ácido sulfúrico e o tempo de hidrólise em autoclave. Como pode ser visto na Tabela 1, no total foram gerados 5 experimentos distintos os quais os níveis -1 e +1 para a concentração de ácido e tempo de hidrólise foram 1 e 2% (v/v) e 30 e 90 min, respectivamente. A concentração de biomassa de 5% (m/v), em água destilada, e a temperatura de 121 °C na hidrólise foram mantidas constantes em todos os ensaios do planejamento. Após a hidrólise, os hidrolisados permaneceram em repouso até atingir à temperatura ambiente (± 25 °C), em seguida foram filtrados a vácuo e corrigidos a pH 7 com solução de hidróxido de sódio 10%; e por fim diluídos a 10% (v/v) em água destilada.

Novas hidrólises foram realizadas baseadas nos ensaios do planejamento T1, T2 e T3 da Tabela 1, modificando apenas a quantidade

de massa de biomassa e diluição para 10% (m/v) e 20% (v/v), respectivamente.

Tabela 1. Ensaios gerados por planejamento fatorial com ponto central (PC) para a otimização de hidrólise ácida.

Variáveis	Níveis	
	-1	+1
(A) Concentração de H ₂ SO ₄ (% ,v/v)	1	2
(B) Tempo de hidrólise (min)	30	90

Ensaio	Variáveis	
	A (%)	B (min)
T1	1,0	30
T2	1,0	90
T3	2,0	30
T4	2,0	90
T5 (PC)	1,5	60

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE *A. platensis* E DE HIDROLISADOS

A *A. platensis* foi caracterizada em termos de sua composição elementar (C, N, H e S) e determinação de proteínas, lipídios, ácidos graxos, cinzas e carboidratos total conforme metodologia descrita por Martini et al. (2019).

Os hidrolisados foram caracterizados quanto à análise elementar, seguindo o mesmo método empregado para a caracterização da biomassa (Fetter et al., 2020; Martini et al., 2019). Também, empregou-se a determinação multielementar na qual os hidrolisados foram analisados por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES, do inglês *inductively coupled plasma optical*

emission spectrometry) com equipamento Perkin Elmer, seguindo a metodologia SMEWW 3120B descrita no *Standard Methods*. Antes da quantificação as amostras foram filtradas em filtro hidrofílico 0,44 µm e diluídas conforme faixa de análise do equipamento. Os elementos analisados foram: K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe, todos em mg L⁻¹. Os padrões multielementos de análise foram obtidos da *High-purity Standards*, preparados com materiais certificados.

TESTE DE GERMINAÇÃO

Os testes de germinação foram conduzidos com sementes de tomate *Solanum lycopersicum* da cultivar tomate gaúcho, seleção referência 0118 da marca Feltrin Sementes, adquiridos em mercado local na cidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. Os ensaios de germinação foram realizados conforme descrito no manual de regras para a análise em sementes (Ministério da Agricultura, 2009).

O procedimento para os ensaios de germinação consistiu no embebedimento das sementes com 0,5 mL do hidrolisado por 24 h e então 54 sementes foram distribuídas em um substrato (papel *germitest*) embebido em água deionizada com volume de 3 vezes a sua massa. As sementes foram dispostas com espaçamento uniforme e suficiente para minimizar a competição e contaminação entre as sementes e plântulas em desenvolvimento. Após foram enroladas em forma de cartucho e acondicionadas em sacos plásticos transparentes, para evitar o

contato e interferências entre os experimentos, posicionadas em caixas plásticas transparentes com tampa e colocadas na câmara germinadora na temperatura de 25 °C durante 7 dias. Cabe salientar que, para uma melhor avaliação da germinação foi realizado um ensaio controle no qual as sementes foram embebidas em água deionizada. Todos os ensaios foram conduzidos em 4 replicatas.

Antes dos testes de germinação com os hidrolisados, avaliou-se o volume necessário para o embebedimento das 54 sementes utilizando volumes de 0,5 e 1 mL de água deionizada por 24 h (n=4). Para estes ensaios as demais etapas de germinação seguiram as descritas anteriormente.

A avaliação dos benefícios do hidrolisado para a germinação foi conduzida conforme Fetter et al. (2020). A germinação foi acompanhada diariamente sendo utilizada a emergência da radícula como critério de germinação. No sétimo dia de incubação foram coletadas as plântulas (radículas e partes aéreas). Individualmente as massas coletadas de radículas e partes aéreas foram armazenadas em recipientes plásticos descartáveis, identificadas e secas em estufa com circulação de ar forçado na temperatura de 48 °C até massa constante. Para avaliar a influência dos hidrolisados na germinação das sementes de tomate, a emergência e a massa final (dia 7) de protrusão da radicular e do coleóptilo foi utilizado como critério para determinar o início do alongamento do eixo embrionário (Bewley & Black, 1994).

Para a avaliação estatística empregou-se os softwares Statistica 8 and Graph Pad Prism 8.4.3 sendo empregado o teste Kruskal-Wallis para a análise de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA DE *A. platensis*

Na análise elementar a biomassa apresentou $38,7 \pm 0,5\%$ de carbono, principal elemento das cadeias proteicas, glicídicas e lipídicas; $6,6 \pm 0,1\%$ de nitrogênio; $7,3 \pm 0,1\%$ de hidrogênio; e $1,4 \pm 0,1\%$ de enxofre, o qual é um macronutriente essencial para plantas, participando de algumas estruturas das proteínas ou metabólitos sendo, portanto, importante ao crescimento das plantas e adaptação ao estresse (Forzani et al., 2018).

Na biomassa de *A. platensis* encontramos o percentual de proteínas, carboidratos, lipídios e cinzas de $31,5 \pm 0,3\%$, $23,0 \pm 3,5\%$, $8,6 \pm 1,2\%$ e $14,1 \pm 0,2\%$, respectivamente. A fração lipídica mesmo sendo baixa, apresentou um teor de ácidos graxos insaturados maior, sendo o teor de ácido linoleico (C18:2) e oleico (C18:1) de 34,6% e 13,0%, respectivamente. De ácidos graxos saturados observa-se a presença de maior teor de ácido palmítico (C16:1) de 38,3%, como mostra a Tabela 1. Para proteína o teor encontrado foi menor que o valor de 60% encontrado por Akgül (2019) e maior que o valor de 24,95% encontrado

por Werlang et al. (2020), a qual utilizou o mesmo sistema de produção porém em períodos diferentes. Em comparação com a biomassa de Werlang et al. (2020) observa-se que há uma grande diferença em carboidratos também, o qual foi significativamente menor ($p < 0.05$). Esta variação encontrada para a mesma cepa se deve as condições de clima que ocorrem no extremo sul e interferem na produção em sistema aberto.

Tabela 2. Perfil dos ácidos graxos encontradas na biomassa de *A.platensis* considerando a área relativa dos picos identificados nos cromatogramas (n=3).

Ácido graxo	Média (%)	Desvio Padrão
C14:0	0,3±0,0	0,0
C16:0	38,3±1,1	1,1
C16:1n-7	9,1±0,1	0,1
C17:0	0,4±0,1	0,1
C18:0	4,2±0,3	0,3
C18:1n-9	13,0±0,3	0,3
C18:2n-6	34,6±0,3	0,3
Saturados	43,04	-
Insaturados	56,7	-

3.3 Uso de planejamento experimental para a otimização das condições da hidrólise ácida considerando a taxa de germinação

Inicialmente testou-se o volume de embebedimento das 54 sementes com 0,5 e 1 mL de

água deionizada a fim de verificar o número de semestres germinadas em cada volume. Não foram observadas diferenças estatísticas desde os primeiros dias de incubação das sementes. Além disso, devido ao tamanho da semente percebeu-se que com 0,5 mL todas ficavam totalmente embebidas no hidrolisado, permitindo que este volume fosse escolhido para o embebedimento.

Na Figura 1 podem ser vistos os gráficos de Pareto em que A e B apresentam a resposta em número de sementes germinadas em 1 e 2 dias, respectivamente. Este gráfico permite visualizar de forma rápida e clara os efeitos que são estatisticamente importantes na hidrólise ácida. Na Fig 2A observa-se que somente a variável tempo e na Fig 2B o tempo e a combinação de tempo e concentração da solução de ácido exercem influência negativa no número de sementes germinadas, ou seja, levam a redução da taxa germinativa.

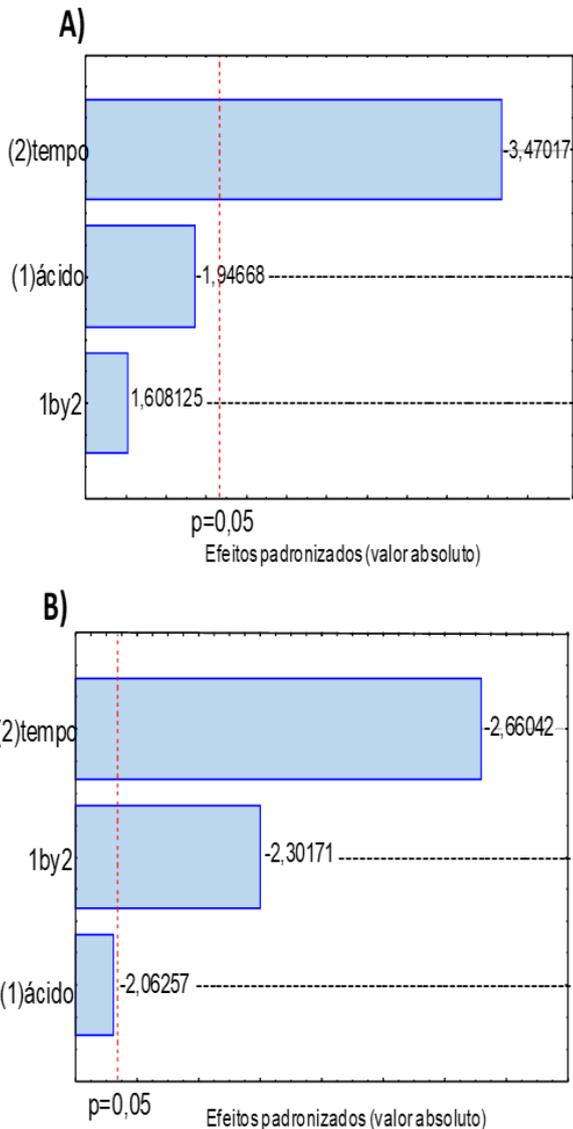


Fig. 1. Gráficos de Pareto gerados com as respostas em número de sementes germinadas dos ensaios a partir dos ensaios do planejamento fatorial. A) primeiro dia de germinação e B) segundo dia de germinação.

Os gráficos das médias marginais representado pela Figura 2, apresenta a estimativa dos efeitos de interação da concentração de ácido com o tempo de hidrólise, sobre o número de sementes germinadas (variável resposta) nos dias 1 (Fig. 2A), 2 (Fig. 2B) e 6 (Fig. 2C). Nestes gráficos pode-se observar a falta de paralelismo das curvas do gráfico demonstrando que o efeito

de interação é significativo e que maiores respostas foram obtidas no nível mais baixo da concentração de solução de ácido sulfúrico e tempo de hidrólise. Assim, pode-se concluir que o tempo e a concentração de ácido influenciaram significativamente ($p < 0,05$) na composição química dos hidrolisados e que as condições de hidrólise 1% (v/v) ácido sulfúrico e 30 min de hidrólise em autoclave (T1) indicam uma maior taxa germinativa quando comparado às demais condições.

Ademais, comparando as taxas de germinação, os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) na taxa de germinação levando a um número maior de sementes germinadas quando comparado ao controle. Já no segundo dia houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas nos tratamentos T1 com 89% de sementes germinadas e T3 apresentando 91% com relação ao controle, nos dias seguintes de germinação não foram observadas diferenças estatísticas entre as condições estudadas.

Na Figura 3 é possível visualizar a média do número de sementes germinadas com os hidrolisados T1, T2 e T3 do planejamento experimental e o controle (água) nos 7 dias de avaliação da taxa germinativa. Como após o quinto dia não houve diferença estatística em nenhum dos experimentos, as contagens das sementes dos experimentos a partir de 10% de biomassa na hidrólise (T1_10%, T2_10%, T3_10%) foram realizadas nos dias 2, 3 e 5.

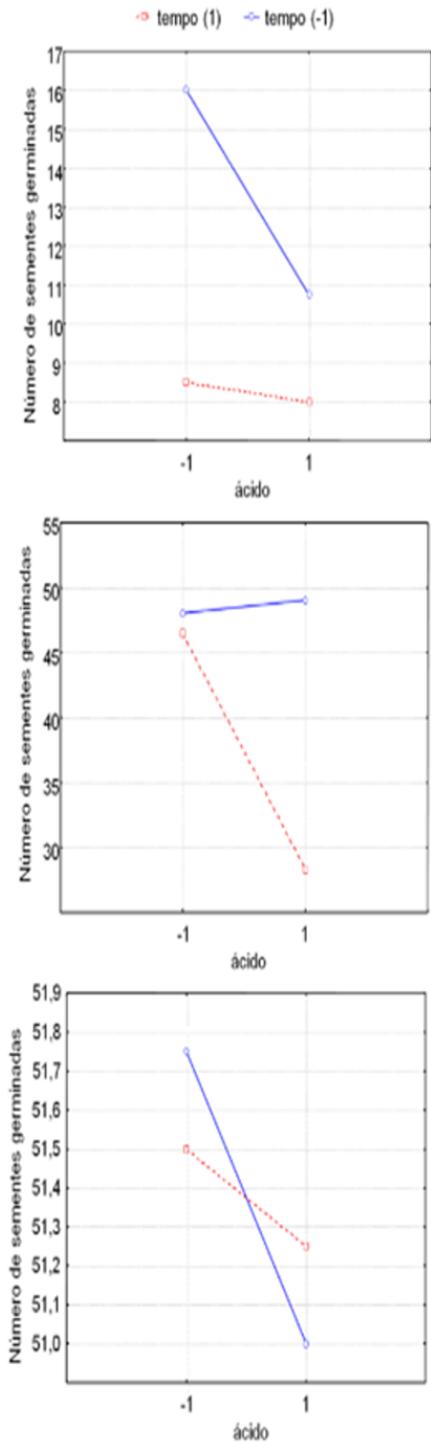


Fig. 2. Gráficos das médias marginais dos números de sementes germinadas obtidas a partir dos ensaios do planejamento experimental.

Estes ensaios foram realizados visando comparar se o aumento da concentração de biomassa

influenciaria na germinação, bem como na avaliação das massas das plântulas a ser discutido em sequencia.

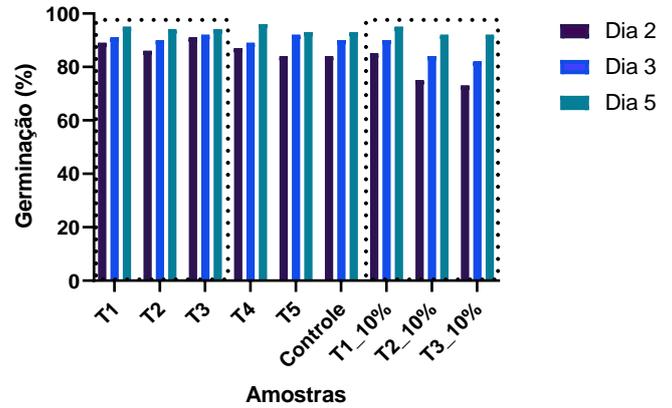


Fig. 3. Resultados de taxa de germinação (média) obtida nos ensaios de planejamento experimento.

No terceiro dia apenas os hidrolisados T2_10% e T3_10% apresentam uma menor taxa germinativa. Contudo, a partir do quinto dia de germinação as taxas germinativas de todos os tratamentos do planejamento e do controle foram similares não havendo diferença significativa ($p > 0,05$) e os experimentos T4 e T5 por utilizarem mais tempo de hidrólise e não apresentarem diferença significativa com relação aos outros experimentos, não foram replicados para 10% de biomassa. Assim, na produção dos hidrolisados a avaliação do percentual de biomassa para 10% (m/v) com diluição de 20% (v/v) não se observou uma melhora na taxa germinativa. Resultados similares foram encontrados por Garcia-Gonzalez and Sommerfeld (2016) em sementes de tomate utilizando a microalga *A. dimorphus*, em que também obtiveram resultados significativos na

taxa germinativa nos dois primeiros dias de germinação. Da mesma forma, Fetter et al. (2020) encontraram aceleração da germinação de sementes de arroz e milho nos primeiros dois dias, porém a partir de hidrolisados de caules e raízes de tabaco ocorrendo um alongamento do eixo embrionário da semente de milho nas primeiras 48 h, com diferença significativa entre hidrolisados e água.

INFLUÊNCIA DOS HIDROLISADOS QUANTO AO DESENVOLVIMENTO DAS PLÂNTULAS

Na Figura 4, é possível visualizar a influência dos hidrolisados quanto ao desenvolvimento das plântulas. Como pode ser visto na Fig. 4 A, a avaliação da parte aérea não teve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os hidrolisados. Em relação ao desenvolvimento da radícula (Fig. 4 B), observou-se um aumento na massa de radícula utilizando os hidrolisados com 10% de biomassa; no entanto, diferença significativa ($p < 0,05$) com o tratamento T1_10% foi identificada uma vez que influenciou positivamente a nutrição da radícula. Diante disto, é possível afirmar que quando é fornecido maiores quantidades de biomassa, com o mesmo tempo de hidrólise e concentração do ácido, a composição de nutrientes presentes no hidrolisado melhora desenvolvimento da radícula.

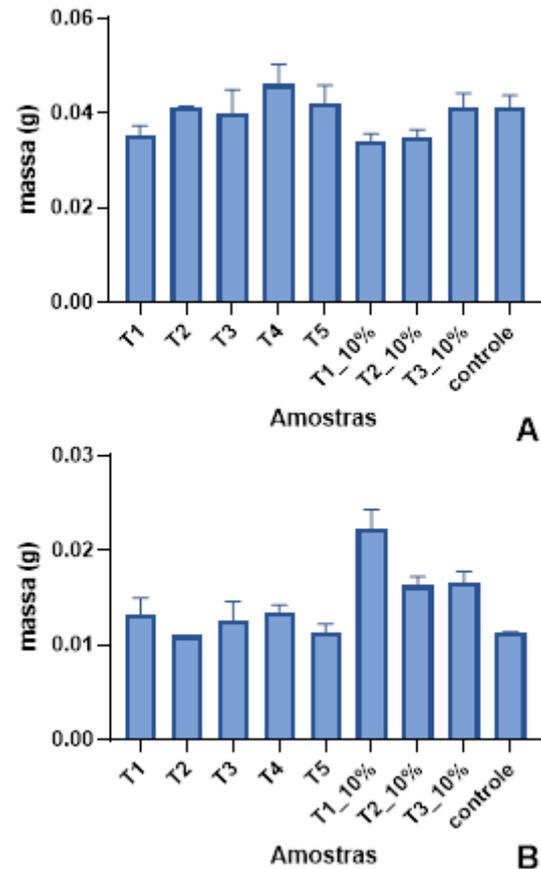


Fig 4. Influência dos hidrolisados na formação de plântulas. A) Massa da parte aérea. B) Massa da radícula.

Nos estudos elaborados por Garcia-Gonzalez and Sommerfeld (2016) em sementes de tomate utilizando a biomassa da microalga *A. dimorphus* também observaram efeitos positivos na nutrição da radícula quando oferecido mais percentual de biomassa, o autor destaca a importância do desenvolvimento da radícula para a planta, devido a capacidade de adquirir água e nutrientes assim podem obter maior biomassa vegetal e resultar em maiores rendimentos de culturas.

CARACTERIZAÇÃO ELEMENTAR DOS HIDROLISADOS

Na tabela 2, podem ser visualizados os elementos encontrados para os hidrolisados T1, T2 e T3 do planejamento e os mesmos ensaios utilizando 10% (m/v) de biomassa. O hidrolisado T1_10% se destaca entre os demais em função dos altos teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro. Os teores de potássio, cálcio, magnésio aumentaram proporcionalmente a quantidade de biomassa disponibilizada para a hidrólise.

Tabela 2. Composição elementar dos hidrolisados ácidos.

Elementos	T1	T2	T3	T1_10 %	T2_10 %	T3_10 %
Carbono (%)	0,77	0,86	0,56	n.a.	n.a.	n.a.
Hidrogênio (%)	3,19	3,02	2,96	n.a.	n.a.	n.a.
Nitrogênio (%)	0,16	0,21	3,02	n.a.	n.a.	n.a.
Enxofre (%)	0,72	0,75	3,19	n.a.	n.a.	n.a.
Potássio (mg L⁻¹)	739,0	776,2	656,2	16000	1296,20	1334,20
Cálcio (mg L⁻¹)	67,92	51,76	43,32	105,42	80,42	86,50
Magnésio (mg L⁻¹)	47,38	45,90	38,84	97,20	79,12	84,28
Cobre (mg L⁻¹)	0,24	0,21	0,05	0,44	<0,02	0,32
Zinco (mg L⁻¹)	1,60	1,27	1,08	2,17	1,96	1,82
Manganês (mg L⁻¹)	0,52	0,30	0,39	1,15	0,91	0,94
Ferro (mg L⁻¹)	0,59	0,69	1,30	1,55	0,82	1,53

n.a.: Não avaliado.

Colla et al. (2015) enfatiza que a composição química de hidrolisados de acordo com a fonte de proteínas e o método de hidrólise

utilizado, pode resultar em melhor absorção e transporte de nutrientes e os efeitos no metabolismo primário e secundário, assim como os processos bioquímicos e fisiológicos que conferem tolerância ao estresse abiótico. Além disso, a composição que pode ter influenciado a nutrição da semente está relacionada com a presença de aminoácidos no hidrolisado, uma vez que a biomassa de *Spirulina* utilizada tem 31,54% de proteínas.

Mutale-joan et al. (2020) investigaram os efeitos bioestimulantes de 18 bioextratos brutos, extraídos por hidrólise ácida, obtidos de microalgas e cianobactérias no crescimento do tomate. Os autores deste estudo, através da análise de componentes principais, identificaram que os níveis de P e K foram associados positivamente ao comprimento da raiz, indicando que a melhor absorção de nutrientes observada em plantas tratadas também pode ser atribuída ao aumento do tamanho da raiz.

É conhecido que os nutrientes, tais como, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro são elementos essenciais para a cultura de tomate. A concentração desses elementos, e possivelmente a presença de outros nutrientes no hidrolisado T1_10% confirmam que esta condição de hidrólise levou a maiores benefícios na formação da plântula, sendo que para beneficiar a taxa de germinação, uma vez que se observou um maior desenvolvimento da radícula nesse ensaio.

selecionadas de produção de hidrolisados podem ser levadas para estudos à campo e reconhecimento destes produtos como alternativas para a nutrição da planta no período inicial de crescimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de planejamento experimental permitiu através da avaliação dos efeitos das variáveis, por gráfico de pareto e médias marginais, identificar as variáveis significativas na hidrólise ácida com a biomassa de *A. platensis* 5% (m/v). A condição de hidrólise que apresentou melhor taxa de germinação foi utilizando 1% (v/v) de ácido sulfúrico e 30 min em autoclave. Quando aumentamos a proporção de biomassa de 5 para 10% (m/v) obteve-se resultados promissores para a aceleração de germinação das sementes. Essa condição de 10% (m/v) de biomassa e 20% (v/v) de diluição do hidrolisado com as condições definidas pelo planejamento experimental proporcionou um aumento da massa da radícula. Além disso, este hidrolisado apresentou elevada concentração dos nutrientes: potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro demonstrando a potencialidade do uso deste hidrolisado para auxiliar na germinação e desenvolvimento de plântulas em tomate.

Portanto, os estudos de germinação permitiram identificar as condições de produção de hidrolisado que levaram a um comportamento melhor que da água na taxa de germinação e na formação das plântulas. Estas condições

REFERÊNCIAS

- AKGÜL F. 2019. Effect of *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler Extract on Seed Germination of Wheat and Barley, Vol. 34, Alinteri Journal of Agriculture Sciences, pp. 148-153.
- BARONE V, PUGLISI I, FRAGALÀ F, PIERO ARL, GIUFFRIDA F, BAGLIERI A. 2019. Novel bioprocess for the cultivation of microalgae in hydroponic growing system of tomato plants. Journal of Applied Phycology, 31(1): 465-470. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1518-y>
- BEWLEY, JD, BLACK M. 1994. Seeds. in: Seeds, Springer, pp. 1-33.
- CASTRO JDS, CALIJURI ML, FERREIRA J, ASSEMANY PP, RIBEIRO VJ. 2020. Microalgae based biofertilizer: A life cycle approach. Science of The Total Environment,

- 724: 138138.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138138>
- COLLA G, NARDI S, CARDARELLI M, ERTANI A, LUCINI L, CANAGUIER R, ROUPHAEL Y. 2015. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 28-38.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037>
- COLLA G, ROUPHAEL Y. 2015. Biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196: 1-2.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
- ERTANI A, NARDI S, FRANCIOSO O, SANCHEZ-CORTES S, FOGGIA MD, SCHIAVON M. 2019. Effects of Two Protein Hydrolysates Obtained From Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Spirulina platensis* on *Zea mays* (L.) Plants. *Frontiers in Plant Science*, 10: 954.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00954>
- FETTER PR, GASSEN M, HOEHNE L, HOELTZ M, BENITEZ LB, SCHNEIDER, RCS. 2020. Tobacco waste hydrolysate of stem and root of the tobacco plant for biostimulation in rice and corn seed germination. *Ciência Rural*, 50.
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190932>
- FORZANI C, DUARTE GT, MEYER C. 2018. The Plant Target of Rapamycin Kinase: A connector between Sulfur and Growth. 23(6): 472-475.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.03.010>
- GARCIA-GONZALEZ J, SOMMERFELD M. 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Journal of Applied Phycology*, 28(2): 1051-1061.
[10.1007/s10811-015-0625-2](https://doi.org/10.1007/s10811-015-0625-2)
- GODLEWSKA K, MICHALAK I, PACYGA P, BAŚLADYŃSKA S, CHOJNACKA K. 2019. Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrates and homogenates in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35(6): 80. [10.1007/s11274-019-2653-6](https://doi.org/10.1007/s11274-019-2653-6)
- MARKS EAN, MIÑÓN J, PASCUAL A, MONTERO O, NAVAS LM, RAD C. 2017. Application of a microalgal slurry to soil stimulates heterotrophic activity and promotes bacterial growth. *Science of The Total Environment*, 605-606: 610-617.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.169>

- MARTINI FA, RUBERT A, DE SOUZA MP, KIST LT, HOELTZ M, BENITEZ LB, RIZZETTI TM, GRESSLER PD, SCHNEIDER RCS. 2019. Periphytic biomass composition and exploitation from algae turf scrubber system. *SN Applied Sciences*, 1(7): 765. [10.1007/s42452-019-0802-z](https://doi.org/10.1007/s42452-019-0802-z)
- Ministério da Agricultura, P.e.A. 2009. Regras para análise de sementes, MAPA/ACS Brasília.
- MÓGOR AF, ÖRDÖG V, LIMA GPP, MOLNÁR Z, MÓGOR G. 2018. Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology*, 30(1): 453-460. [10.1007/s10811-017-1242-z](https://doi.org/10.1007/s10811-017-1242-z)
- MUTALE-JOAN C, REDOUANE B, NAJIB E, YASSINE K, LYAMLOULI K, LAILA S, ZEROUAL Y, HICHAM EA. 2020. Screening of microalgae liquid extracts for their bio stimulant properties on plant growth, nutrient uptake and metabolite profile of *Solanum lycopersicum* L. *Scientific Reports*, 10(1): 2820. [10.1038/s41598-020-59840-4](https://doi.org/10.1038/s41598-020-59840-4)
- SILAMBARASAN S, LOGESWARI P, SIVARAMAKRISHNAN R, INCHAROENSAKDI A, CORNEJO P, KAMARAJ B, CHI NTL. 2021. Removal of nutrients from domestic wastewater by microalgae coupled to lipid augmentation for biodiesel production and influence of deoiled algal biomass as biofertilizer for *Solanum lycopersicum* cultivation. *Chemosphere*, 268: 129323. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129323>
- SINGH JS, KUMAR A, RAI AN, SINGH DP. 2016. Cyanobacteria: A Precious Bio-resource in Agriculture, Ecosystem, and Environmental Sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 7: 529. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00529>
- SUPRAJA KV, BEHERA B, BALASUBRAMANIAN P. 2020. Performance evaluation of hydroponic system for co-cultivation of microalgae and tomato plant. *Journal of Cleaner Production*, 272: 122823. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122823>
- WERLANG EB, JULICH J, MULLER MVG, DE FARIAS NEVES F, SIERRA-IBARRA E, MARTINEZ A, SCHNEIDER, RCS. 2020. Bioethanol from hydrolyzed *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) biomass using

ethanogenic bacteria. *Bioresources and
Bioprocessing*, 7(1): 27. 10.1186/s40643-020-
00315-9