

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - LINHA DE FORMAÇÃO EM
AGROECOLOGIA

INAIANA MARIA CAETANO DOS SANTOS

ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE MACRÓFITA
AQUÁTICA *AZOLLA PINNATA* R.Br.

LARANJEIRAS DO SUL

2024

INAIANA MARIA CAETANO DOS SANTOS

**ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DA MACRÓFITA
AQUÁTICA *AZOLLA PINNATA* R.BR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Agronomia da Universidade
Federal da Fronteira Sul (UFFS), como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Agronomia..

Orientador: Prof^a. Dr^a Josimeire Aparecida Leandrini

LARANJEIRAS DO SUL

2024

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

, Inaiana Maria Caetano dos Santos
ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DA
MACRÓFITA AQUÁTICA *Azolla pinnata* R.Br. / Inaiana Maria
Caetano dos Santos . -- 2024.
62 f.:il.

Orientadora: Doutora Josimeire Aparecida Leandrini

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Laranjeiras do Sul, PR, 2024.

1. *Azolla pinnata*. 2. Alface. 3. Adubação. 4.
Substrato. 5. Orgânico. I. Leandrini, Josimeire
Aparecida, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

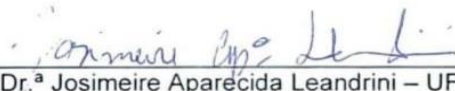
INAIANA MARIA CAETANO DOS SANTOS

**ALTERNATIVAS PARA O APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE AZOLLA
PINNATA R.BR.**

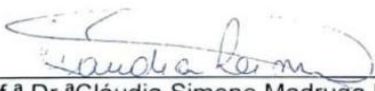
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS) do Campus
Laranjeiras do Sul como requisito parcial
para obtenção do grau de bacharel em
Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 01/07/2024.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Josimeire Aparecida Leandrini – UFFS
Orientadora



Prof.^a Dr.^a Cláudia Simone Madrugá Lima – UFFS
Avaliadora



Dr. André Martins - UFFS
Avaliador

Quero dedicar esta monografia à minha avó Maria Carolina de Paula (*in memoriam*), que com seu carinho e dedicação, plantou em mim as sementes da curiosidade e do desejo de aprender. Sua vida foi um exemplo de coragem e resiliência, e seu legado de amor e sabedoria continuam a guiar meus passos. Sua partida deixou um vazio imenso, mas suas lições de vida permanecem comigo. Dedico este trabalho a você, avó, com gratidão eterna por tudo que fez por mim. Este trabalho é uma pequena homenagem a quem tanto fez por mim, em agradecimento por seu amor incondicional e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e por colocar pessoas incríveis em meu caminho. Aos meus pais Patrícia de Paula e Valdeir dos Santos, por todo apoio e carinho.

Agradeço às minhas irmãs Samy Alaene e Taiane Santos, por todo apoio, força, carinho, compreensão e por sempre estarem ao meu lado. Aos meus sobrinhos Elise Borges, Ravi Medeiros e ao pequeno Isaac Borges, por serem sempre luz na minha vida e por me alegrarem. Sem dúvida alguma essa conquista não é apenas minha, é de todos vocês.

Agradeço aos meus amigos Natália Santos, Bruno Bonfim e Andrey Sanches, pela amizade, por me apoiarem, me distraírem nos momentos em que mais precisei, sempre serei grata a vocês.

Agradeço especialmente ao meu amigo Luis Fernando Petters, por todo o apoio, por toda a ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho e pelos momentos de distrações, saiba que sempre terá minha gratidão.

Agradeço também ao Guilherme Ceolato, por todo o apoio, pela ajuda no desenvolvimento prático do experimento e por sempre estar ao meu lado.

Agradeço ao professor Luciano Tormen, pela ajuda na análise da macrófita. Ao técnico André Martins, por todo o tempo empregado para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora, professora Josimeire Leandrini, por toda a ajuda durante a graduação, por ter me dado a oportunidade de aprender mais sobre plantas que eu nem sabia que existiam e por todo o conhecimento passado nesses anos.

Agradeço a todos os professores que tive no decorrer da graduação, por todo o conhecimento compartilhado e pelas oportunidades de evoluir tanto como pessoa como em conhecimento científico.

Por fim, agradeço a todos que não foram citados, mas que estiveram presentes em minha vida durante a graduação.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo investigar o desenvolvimento de *Azolla pinnata* em cultivo, sua composição parcial e seus efeitos em diferentes concentrações quando incorporada como substrato na produção de mudas de alface. Este trabalho atualiza o conhecimento científico e prático acumulado, com ênfase nas características morfológicas e fisiológicas dos simbioses, destacando sua capacidade de fixar nitrogênio e sua bioquímica. Adicionalmente, o teor proteico de 26,1%, evidencia esse potencial significativo como uma fonte proteica sustentável e eficiente. Os conteúdos de sódio de 2,69 g/Kg, potássio de 47,5 g/Kg, cálcio de 2,16 g/Kg, lítio de 282 mg/Kg, e fósforo de 17,6 mg/Kg, torna esta planta valiosa para uma ampla gama de aplicações, desde a biotecnologia, nutrição animal até a melhoria da fertilidade do solo, realçando seu potencial como um recurso multifuncional em práticas agrícolas e ecológicas sustentáveis. Por fim, a *Azolla pinnata*, com um teor de enxofre de 3,54 g/Kg, mostra uma consistência razoável na sua composição química. O experimento foi desenvolvido no período de agosto de 2023 a junho de 2024, na Universidade Federal da Fronteira Sul, no campus Laranjeiras do Sul. Sendo realizado em 2 etapas, a primeira sendo o cultivo da *A. pinnata* e a segunda seu uso incorporada como substrato em bandejas de plástico. O delineamento experimental utilizado foi o DIC (delineamento inteiramente casualizado), com quatro tratamentos: T1: 100% vermiculita; T2: 80% *Azolla* e 20% vermiculita; T3: 60% *Azolla* e 30% vermiculita; e T4: 30% *Azolla* e 70% vermiculita, sendo realizada 11 repetições. As mudas foram avaliadas 25 dias após a semeadura, sendo avaliadas as seguintes características: comprimento da parte aérea, comprimento radicular, massa fresca da parte aérea e radicular e massa seca consecutivamente, em cada tratamento avaliou-se seis plantas. Com bases nas características avaliadas o tratamento que apresentou melhor resultado foi o T4, apresentando melhor resultado em massa fresca da raiz e parte aérea e melhor resultado em massa seca da raiz, seguido pelo T3 que ficou em segundo lugar no quesito massa fresca da parte aérea.

Palavras-chave: *Azolla pinnata*; alface; adubação; substrato; orgânico.

ABSTRACT

The present work aims to investigate the development of *Azolla pinnata* in cultivation, its partial composition and its effects at different concentrations when incorporated as a substrate in the production of lettuce seedlings. This work updates accumulated scientific and practical knowledge, with emphasis on the morphological and physiological characteristics of symbionts, highlighting their ability to fix nitrogen and their biochemistry. Additionally, the protein content of 26.1% highlights this significant potential as a sustainable and efficient protein source. The contents of sodium of 2.69 g/Kg, potassium of 47.5 g/Kg, calcium of 2.16 g/Kg, lithium of 282 mg/Kg, and phosphorus of 17.6 mg/Kg, make this plant valuable for a wide range of applications, from biotechnology, animal nutrition to improving soil fertility, highlighting its potential as a multifunctional resource in sustainable agricultural and ecological practices. Finally, *Azolla pinnata*, with a sulfur content of 3.54 g/kg, shows a reasonable consistency in its chemical composition. The experiment was carried out from August 2023 to June 2024, at the Federal University of Fronteira Sul, on the Laranjeiras do Sul campus. It is carried out in 2 stages, the first being the cultivation of *A. pinnata* and the second its use incorporated as a substrate in plastic trays. The experimental design used was the DIC (completely randomized design), with four treatments: T1: 100% vermiculite; T2: 80% Azolla and 20% vermiculite; T3: 60% Azolla and 30% vermiculite; and T4: 30% Azolla and 70% vermiculite, with 11 repetitions. The seedlings were evaluated 25 days after sowing, with the following characteristics being evaluated: shoot length, root length, fresh mass of the shoot and root and dry mass consecutively; in each treatment, six plants were evaluated. Based on the characteristics evaluated, the treatment that presented the best result was T4, presenting the best result in fresh mass of the root and aerial part and best result in dry mass of the root, followed by T3, which came in second place in terms of fresh mass of the aerial part.

Keywords: *Azolla pinnata*; lettuce; fertilizing; substrate; organic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Visualização da <i>Azolla pinnata</i> -----	18
Figura 2 - <i>Trichormus azollae</i> -----	20
Figura 3 - Mudas de <i>Azolla pinnata</i> -----	22
Figura 4 - Mudas de <i>Azolla pinnata</i> -----	22
Figura 5 - Crescimento e taxa de ocupação <i>Azolla</i> -----	27
Figura 6A - Diferença na multiplicação da <i>Azolla</i> em 4 dias-----	27
Figura 7B - Diferença na multiplicação da <i>Azolla</i> em 3 dias-----	28
Figura 8 - Larvas-----	29
Figura 9 - Macrófita <i>Oedogonium</i> sp.-----	29
Figura 10 - Disposição dos tratamentos utilizados nas bandejas -----	48
Figura 11 - Proporção de macerado de <i>Azolla</i> e vermiculita utilizada nos tratamento -----	49
Figura 12-As plântulas amostradas no experimento nos diferentes tratamentos-----	54
Figura 13- Massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da parte radicular, nos diferentes tratamentos -----	43
Gráfico 1- Número de sementes de alface (<i>L. sativa</i>) germinadas-----	51
Gráfico 2-Comprimento da parte aérea do alface (<i>L. sativa</i>) nos diferentes tratamentos-----	52
Gráfico 3- Comprimento da raiz de alface (<i>L. sativa</i>) nos diferentes tratamentos-----	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Média da temperatura máxima e mínima. em graus Celsius, nos meses do cultivo da <i>Azolla pinnata</i> -----	26
Tabela 2- Resultado da Análise Parcial da <i>Azolla pinnata</i> -----	30

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.2 Taxonomia e ecologia do gênero <i>Azolla</i>	17
2.2.1 A morfologia e anatomia de <i>Azolla pinnata</i> R. BR.....	18
2.3 <i>Trichormus azollae</i> (Strasb.) Komárek & Anagn.....	19
2.4 Fatores que influenciam o cultivo de <i>Azolla</i>	21
2.4.1 Umidade (água).....	21
2.4.2 Temperatura.....	21
4 METODOLOGIA.....	21
4.1 Cultivo da <i>Azolla pinnata</i>	22
4.2 Análises químicas e produção da massa seca.....	23
4.2.1 Determinação de nitrogênio e de proteínas.....	23
4.2.2 Digestão para análise elementar.....	24
4.2.3 Determinação de Li, K, Na e Ca.....	24
4.2.4 Determinação de fósforo.....	24
4.2.5 Determinação de enxofre.....	25
5. Resultados e Discussão.....	25
6. Conclusão.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
Capítulo II - GERMINAÇÃO DE <i>LACTUCA SATIVA</i> L. EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE <i>AZOLLA PINNATA</i> R. BR COMO SUBSTRATO.....	40
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	41
2.1 Produção de Mudanças e os Substrato.....	41
2.2 Cultura da Alface (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	42
2.3 Principais Cultivares Plantadas no Brasil.....	44
2.4 Tipos de Cultivo Utilizados na Cultura.....	45
2.5 Manejo da Cultura.....	46
3. METODOLOGIA.....	47
4. Resultados e Discussão.....	50
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

Capítulo I - Análise nutrientes encontrados em *Azolla pinnata*

1 INTRODUÇÃO

A alface destaca-se economicamente na produção mundial de hortaliças folhosas, com o Brasil se destacando como o maior consumidor na América do Sul (Pinto *et al.*, 2010). O cultivo da alface é amplamente difundido devido a suas características agronômicas favoráveis, como ciclo curto, baixo custo de produção, resistência a pragas e doenças, e comercialização segura (Limberger, 2012).

Um aspecto crucial do sistema produtivo da alface é a produção de mudas de alta qualidade, que influenciam diretamente o desempenho das plantas no campo, tanto em termos nutricionais quanto no tempo de produção e, conseqüentemente, na quantidade de ciclos produtivos anuais (Filgueira, 2003). A produção de mudas depende significativamente do uso de insumos, e o substrato tem ganhado destaque nesse contexto, devido à sua ampla aplicação na produção de mudas. No Brasil, o uso de substratos é significativo e indispensável em vários segmentos da horticultura.

Atualmente, estão sendo adotadas técnicas e produtos promotores do crescimento e desenvolvimento de hortaliças, contribuindo para a obtenção de produtos de alta qualidade (Izidorio *et al.*, 2015). A produção de mudas de hortaliças deve atender às necessidades dos produtores rurais, fornecendo material viável para a produção de alimentos com qualidade e quantidade adequadas ao mercado consumidor, o que tem impulsionado a demanda por substratos (Kratz *et al.*, 2011).

A função do substrato é criar um ambiente propício para o crescimento das plantas, portanto, deve possuir características favoráveis de retenção de umidade, densidade de partículas, porosidade e granulometria (Zorzeto, 2011). A utilização de substratos alternativos na produção de mudas é uma prática inovadora na agricultura. A diversificação da matéria-prima, incluindo materiais orgânicos descartáveis, amplia as opções para o desenvolvimento das plantas nessa fase (Da Ross *et al.*, 2015).

Em geral, utiliza-se somente o que há disponível nos mercados e por sua facilidade de obtenção outros recursos são poucos explorados. Por outro lado, em ambientes aquáticos e regiões úmidas há um excesso de produção de biomassa que muitas vezes não é utilizado, e que poderiam servir como material a ser incorporado em áreas de produção como hortas ou mesmo para a produção de mudas. Assim, resíduos orgânicos provenientes de macrófitas

aquáticas de açudes, lagos ou de cultivos podem ser uma alternativa viável e de baixo custo para garantir o sucesso na produção de mudas.

Diversas variedades de plantas aquáticas macrófitas têm sido empregadas para enriquecer a fertilidade do solo. Entre os países que mais adotam essa técnica, destacam-se as nações asiáticas, que fazem uso das seguintes espécies como as principais: *Pistia stratiotes* L. *Hydrilla verticillata*, *Salvinia* sp. e *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. (Edwards, 1980).

A *Azolla pinnata* é uma macrófita aquática, pertencente à divisão Monilophyta (antiga Pteridophyta), um tipo de samambaia que flutua livremente na água (Mooventhan *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2020), caracterizada por seus ramos e raízes ramificadas, cobertas por pequenas folhas sobrepostas (Smith, 1979). Vive em simbiose com a cianobactéria *Trichormus azollae*, que tem a capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico (Raja *et al.*, 2012).

Amplamente distribuída, *Trichormus azollae* (Strasb.) Komárek & Anagn¹fixa nitrogênio em taxas elevadas, resultando em um conteúdo de 3-5% de N e 22-37% de proteína bruta com base no peso da planta seca. De acordo com Pillai *et al.* (2002) tem potencial para ser uma alternativa sustentável de alimentação animal, como também a serem usadas como componentes em biofertilizantes, entre outros. No Brasil, as pesquisas envolvendo a *Azolla* sp. tiveram início em 1978 sob a liderança de Malavolta, com o objetivo de estudar sua biologia, sua capacidade de fixação de N₂ e o impacto da deficiência de nutrientes (Fiore & Ruschel, 1981, 1982). Todo este interesse nesta planta se justifica conforme relatam Katole *et al.* (2017) que *Azolla* tem muitas vantagens, como baixos custos de insumos, facilidade de crescimento na natureza e em condições de cultivo regulamentadas e produção rápida de grandes quantidades de forragem verde.

¹ *Anabaena azollae* Strasb. é sinônimo de *Trichormus azollae* (Strasb.) Komárek & Anagn

Objetivo Geral

Estudo do desenvolvimento de *Azolla pinnata* em cultivo e seus efeitos em diferentes concentrações incorporados como substrato na produção de mudas de alface.

Objetivos específicos

- Estabelecer quanto de produção de biomassa de *Azolla pinnata* em cultivo nas condições ambientais nos meses de dezembro a maio de 2025;
- Determinar a composição química deste espécime;
- Determinar a matéria verde e matéria seca na alface; e
- Tamanho da planta (raiz e parte aérea).

Justificativa

A utilização da *Azolla* tem como vantagem oferecer uma forma não poluente de aumentar a produção agrícola com a redução da fertilização artificial (reduzindo os custos utilizados com a adubação nitrogenada), incluindo a emissão de gases de efeito estufa como N_2O e a lixiviação de NO_3 para os lençóis freáticos (Shen *et al.*, 1963).

O presente trabalho é também uma atualização do conhecimento científico e prático acumulado, enfatizando as características morfológicas e fisiológicas dos simbiontes em relação à atividade fixadora de nitrogênio e sua bioquímica.

Por fim, destaca-se a importância do sistema simbiótico como biofertilizante, sendo capaz de fixar 103-162 Kg N/ha/ano, o que, aliado ao seu rápido crescimento e possibilidade de utilização como adubo verde ou em cultivo simultâneo, constitui um complemento ou alternativa aos fertilizantes sintéticos industriais (Becking, 1978). Da mesma forma, o conteúdo de substâncias carbonáceas e nitrogenadas na associação a torna uma forte candidata à produção de biogás.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Macrófitas Aquáticas

As macrófitas aquáticas (macro = grande; fita = planta) são formas macroscópicas de vegetação aquática (Wetzel, 1993), são plantas herbáceas que crescem na água, em solos cobertos por água ou em solos somente saturados de água e podem ser encontradas tanto em ambientes de água salgada como em água doce (Martins, 2009).

Dentre as macrófitas aquáticas há uma grande diversidade de organismos podemos encontrar as macroalgas, como por exemplo o gênero *Chara* L., musgos *Ricciocarpos natans* (L.) Corda como e angiospermas como o gênero *Typha* L. Todos estes táxons são observados no município de Laranjeiras do Sul, Paraná e seu entorno.

São plantas que no decorrer de sua evolução retornaram do ambiente terrestre para o aquático, apresentando algumas características dos vegetais terrestres, como a presença de cutícula e estômatos, sendo este último não funcional na maioria das espécies. Apresentam uma grande capacidade de adaptação, possibilitando que uma mesma espécie colonize os mais diferentes tipos de ambientes.

Devido a grande heterogeneidade filogenética e taxonômica do grupo das macrófitas, estas plantas são classificadas de acordo com o seu biótipo (Pompêo, 2017). Sendo os principais grupos e macrófitas:

- Macrófitas aquáticas emersas: plantas enraizadas no sedimento e com folhas fora da água. Ex.: *Typha* L., *Pontederia* L., *Echinodorus* Rich. ex Engelm. e *Eleocharis* R.Br. e *Eichhornia azurea* (Sw.) Kunth.
- Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: plantas enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água. Ex.: *Nymphaea* Cas., *Vitoria* Lindl e *Nymphoides* Ség.
- Macrófitas aquáticas submersas com folhas enraizadas: plantas enraizadas no sedimento, que crescem totalmente submersas na água. Podendo crescer, geralmente, até 11 cm de profundidade, dependendo da disponibilidade de luz. A maioria tem seus órgãos reprodutivos flutuando na superfície ou aéreos. Ex.: *Myriophyllum* L., *Elodea* Michx. e *Mayaca* Aubl..
- Macrófitas aquáticas submersas livres: são plantas que contém rizoides pouco desenvolvidos e permanecem flutuando submergidas na água em locais de pouca turbulência. Normalmente ficam presas aos pecíolos e talos das macrófitas aquáticas flutuantes e nos caules das macrófitas emersas. Durante o período de reprodução

emitem flores emersas (exceto o gênero *Ceratophyllum*). Ex.: *Utricularia gibba* L. e *Ceratophyllum* Gray

- Macrófitas aquáticas flutuantes: são aquelas que flutuam na superfície da água. Comumente seu desenvolvimento máximo ocorre em locais protegidos pelo vento. Ex.: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Salvinia* sp., *Pistia stratiotes* L, *Lemna* L. e *Azolla* Lam.

2.2 Taxonomia e ecologia do gênero *Azolla*

O gênero *Azolla* pertence a divisão Monilophyta (Pteridophyta), classe Filicopsida, subclasse Polypodiidae, ordem Salviniaceae, família Azollaceae, contendo cerca de sete espécies com distribuição mundial: *Azolla caroliniana*, *Azolla filiculoides*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, *Azolla nilotica*, *Azolla pinnata* e *Azolla rubra*. Dentre as espécies, até o momento apenas três foram encontradas no Brasil, sendo elas, *Azolla caroliniana*, *A. filiculoides* e *A. pinnata* (Van Hove; Lejeune, 2002).

São samambaias aquáticas, conhecidas samambaia mosquito, samambaia lentilha-d'água, musgo-fada e samambaia-d'água, são flutuantes, com rizomas flexuosos, enraizados por nós. Apresentam folhas numerosas, bilobadas; lobo superior espesso com atividade fotossintética, contendo algas verde-azuladas (*Trichormus azollae*) em uma cavidade central; lobo inferior submerso e fino, contendo megasporocarpos e microsporocarpos, cada um contendo um único megasporos. Microsporocarpos geralmente com muitos microsporângios, cada um contendo 4 ou mais grupos (Short & Dixon, 2011).

As folhas geralmente exibem uma coloração verde, mas em condições de estresse ambiental, o lobo dorsal desenvolve uma tonalidade avermelhada devido à presença de pigmentos como as antocianinas. O caule é ramificado, prostrado e delgado, medindo cerca de 1 cm de diâmetro e dotado de pequenas raízes filamentosas. A reprodução ocorre tanto por meio de esporos quanto por meios vegetativos. Esta planta é conhecida popularmente por diversos nomes, tais como almíscar-vegetal, samambaia-aquática, *Azolla*, feto-mosquito, âmbar-vegetal, musgo-da-água e tapete-da-água (Carrapiço *et al.*, 2001).

Por ser espécie aquática flutuante, a *Azolla* não sobrevive em ambiente seco e, quando fora da água, morre em poucas horas. De modo geral, aconselha-se cultivá-la em uma lâmina de água em torno de 10 cm.

A temperatura ótima para o desenvolvimento e fixação de nitrogênio atmosférico pela *Azolla* situa-se entre 20 °C e 30 °C (FAO, 1978). Quanto aos nutrientes o seu requerimento é igual ao de outros vegetais. Porém, o fósforo é o elemento mais limitante ao seu crescimento.

Em meio deficiente de fósforo, a *Azolla* apresenta-se com uma coloração avermelhada e suas raízes sofrem um enrolamento (Lumpkin; Plucknett, 1982). Os mesmos autores ainda citam que quando há uma intensidade luminosa muito forte, as plantas também podem ficar avermelhadas. Short e Dixon (2011) afirmam que as plantas são geralmente vermelhas ou marrom-avermelhadas quando crescem em águas abertas e esverdeadas em locais sombreados. Contudo, de acordo com Lumpkin e Plucknett (1980); Talley e Rains (1980), a *Azolla* desenvolve-se melhor e obtém maior atividade de nitrogenase quando está sob condições de 50 % do máximo de luz dos raios solares.

2.2.1 A morfologia e anatomia de *Azolla pinnata* R. BR.

São plantas flutuantes, regularmente ramificadas, de contorno um pouco triangular, com até 3 cm de comprimento, as raízes de plantas de plantas maduras são emplumadas (Fig. 01). As folhas contém lóbulos com 1 mm de comprimento; lobo superior verde ou avermelhado, superfícies superiores papiladas, exceto pelas margens um tanto membranosas; lobo inferior acastanhado e semelhante a escamas. Geralmente se multiplicam por fragmentação .

Figura 1- Visualização da *Azolla pinnata* em lupa, no aumento de 4x.



Fonte: Autora (2023).

2.3 *Trichormus azollae* (Strasb.) Komárek & Anagn

Cianobactéria e sua capacidade de fazer associações, neste caso tratando-se de uma simbiose, entre uma alga procariota e uma samambaia, tanto *Azolla* como a cianobactéria beneficiam desta associação. De acordo com Sampaio (2022) “*Cianobactérias têm uma enorme plasticidade para estabelecer associações, de maior ou menor dependência, com organismos filogeneticamente distantes.*” Vários outros casos podem ser citados como *Nostoc* sp. a gimnospermae *Cycas revoluta*, ou Synechococcales e Ascídios (Raven *et al.*, 2014; Bergman *et al.*, 2007).

A primeira fornece aos endossimbiontes, em particular *Anabaena azollae*, compostos carbonados resultantes da fotossíntese, enquanto que esta, assegura ao hospedeiro, o fornecimento de nitrogênio essencial ao seu desenvolvimento graças à existência de um complexo enzimático (nitrogenase) capaz de converter o N² atmosférico em amônia, existente em células especiais do filamento denominadas heterocistos (Carrapiço, 2001).

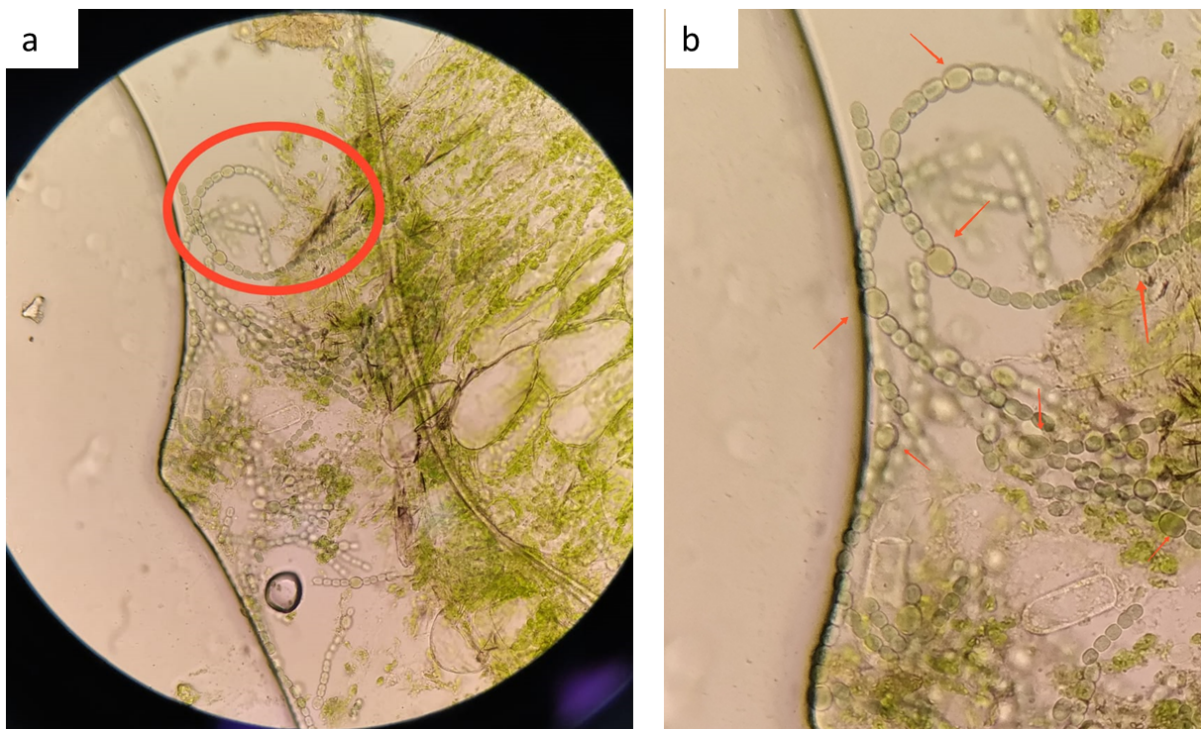
Estes organismos representam o único grupo de algas que inclui espécies capazes de fixar nitrogênio. Esses microrganismos fotossintéticos procariotos possuem pigmentos como clorofila *a*, carotenos, xantofilas, ficocianina e ficoeritrina, que combinados conferem a coloração azul-esverdeada característica do grupo (Stewart *et al.*, 1978).

A morfologia das cianobactérias é diversificada, abrangendo desde formas unicelulares ou coloniais, como é o caso das Chroococcales, até estruturas ramificadas com filamentos multisseriados como é o caso da ordem Stigonematales. Cada célula apresenta uma forma distintiva, envolta por uma parede celular robusta e frequentemente revestida por uma camada de mucilagem, que auxilia na movimentação ou flutuação dos indivíduos. Os tricomas são um conjunto de células que se organizam em linha, quando na presença de mucilagem chamamos de filamentos a *Trichormus azollae* (Figura 2) pertence a esse grupo de algas e possui, ao longo do tricoma, podemos observar células especializadas chamada heterocisto (Figura 2b), em geral dizemos que estes organismos são heterocitados.

Este heterocisto desempenha o papel crucial na fixação de nitrogênio, protegendo a enzima nitrogenase da inativação causada pelo oxigênio. Essa proteção ocorre devido à ausência de fotossíntese nessas células e a constituição de uma barreira mecânica contra a difusão de oxigênio (Haselkorn, 1978).

Algumas algas filamentosas, que apresentam heterocistos (Fig. 2b), podem realizar a fixação de nitrogênio em ambientes aeróbicos, anaeróbicos e microaerofílicos. Em condições anaeróbicas, a fixação de nitrogênio também pode ocorrer nas células vegetativas (Stewart, 1973).

Figura 2- *Trichormus azollae* (circulada em vermelho), lado a. Setas em vermelho apontando para o heterocito, lado b.



Fonte: Autora (2023).

A redução do N_2 a amônia, é catalisada pela nitrogenase a qual consiste de duas diferentes proteínas (1 Molibdênio-Ferro proteína e 1 ferro-proteína), que são desativadas pela ação do oxigênio. Como *T. azollae* reduz nitrogênio em condições atmosféricas normais, supõe-se que o sítio de fixação de N sejam os heterocistos presentes na alga, já que estas células apresentam as paredes espessas o suficiente para proteger a enzima nitrogenase tanto do oxigênio atmosférico quanto do oxigênio intracelular, produzido pela fotossíntese (Peters e Calvert, 1983). Segundo Peters (1975), o fato de não haver fixação de CO_2 nos heterocistos da alga *Trichormus azollae* confirma esta hipótese.

2.4 Fatores que influenciam o cultivo de *Azolla*

Em estudos realizados por Peters & Mayne (1979), para verificar quais fatores mais interferiram no crescimento de *Azolla*, verificaram que ela era dependente do ar, luz, água e elementos minerais, com exceção do N mineral, uma vez que todo nitrogênio necessário à este táxon provém da fixação do N₂ atmosférico através da cianobactéria.

2.4.1 Umidade (água)

A umidade é o fator primordial para o cultivo da *Azolla*. Um nível de umidade relativa inferior a 60% resulta na dessecação da planta, enquanto que um nível ótimo de umidade relativa situa-se entre 85% e 90%. O crescimento da *Azolla* é considerado rápido em condições hídricas adequadas, preferencialmente em profundidades de água entre 2,5 e 10 cm abaixo desta faixa, a nutrição desta alga não é favorecida (Becking, 1979; Lumpkim e Pluckenett, 1982).

2.4.2 Temperatura

A temperatura do ar representa outro fator crucial para o crescimento e desenvolvimento da *Azolla*. A temperatura ideal do ar é de 25°C, e quando mantida por 3-5 dias, a capacidade de fixação de nitrogênio também é elevada. Temperaturas superiores a 30°C resultam em uma redução no crescimento, e um aumento para 40°C leva à mortalidade das plantas de *Azolla* (Lumpkim e Pluckenett, 1982; Watanabe e Birja, 1983).

Lumpkim e Pluckenett (1982), afirmam ainda que o teor de nitrogênio da *Azolla* é normalmente na faixa de 3,5-4,0%. Ainda segundo esses autores, em condições de cultivo normal, os fatores que mais influenciam o teor de N na planta são a disponibilidade de fósforo e a temperatura.

4 METODOLOGIA

Medir a temperatura da água

O experimento foi realizado na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), bloco 03 de Laboratórios - lab. de Botânica, localizada no município de Laranjeiras do Sul - PR, Latitude 25° 26' 41" S e Longitude 52° 26' 32" W e altitude média de 900 m, o clima é classificado como Cfb (clima subtropical úmido), segundo a classificação de Köppen.

4.1 Cultivo da *Azolla pinnata*

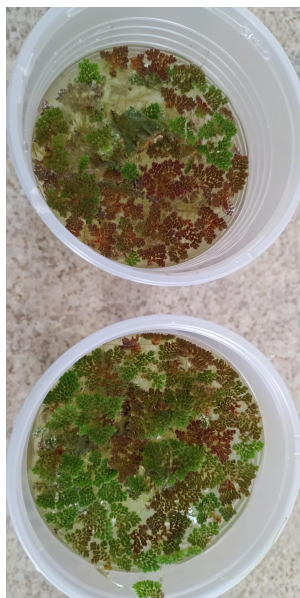
As mudas de *A. pinnata* foram retiradas da Horta Mandala, da área experimental da UFFS *campus* Laranjeiras do Sul, no dia 28 de agosto de 2023, e foram levadas para uma caixa d'água atrás do Laboratório 3.

Na caixa d'água, recipiente onde ocorreu o experimento, com área total de 0,4185 m², foram adicionados 180 litros de água trazida de uma nascente próxima ao laboratório. Optou-se por utilizar água sem adição de cloro, para evitar que a planta pudesse apresentar resposta à presença desta substância. Logo após foi incorporada 250g de cama de aviário (1% de nitrogênio). Após a adição, procedeu-se a agitação com bastão total da cama de aviário, em seguida foram adicionadas às mudas de *Azolla*.

As plantas foram colocadas na caixa, e à medida que a água evaporava devido a temperatura e ao processo de respiração da planta, novas adições de água iam ocorrendo, para evitar a redução da superfície da água, através da evaporação.

No total foram colocadas 182 mudas (individuais) de *A. pinnata* (Figura 3) e transplantadas na caixa de água preparada para ocorrer o experimento (Figura 4), a cor escura da água se deve ao revolvimento do fundo da caixa para a circulação dos nutrientes.

Figura 3 - Mudas de *Azolla pinnata*.



Fonte: Autora (2023).

Figura 4- Mudas de *Azolla pinnata* transplantada.



Fonte: Autora (2023).

4.2 Análises químicas e produção da massa seca

Conforme os indivíduos se multiplicavam e desenvolviam-se, e cobriam toda a lâmina de água, era realizada a colheita manual, com o auxílio de uma peneira, que também servia para retirar o excesso de água. O material coletado era levado ao laboratório de botânica, passava por um processo de limpeza, com a separação de qualquer elemento estranho, em seguida o mesmo era levado a estufa para secagem. Para a realização da análise química, o material foi colocado em estufa de ventilação forçada a 105°C, até atingir o peso constante, para a obtenção da matéria seca definitiva.

Para a produção da matéria seca para a adubação realizou-se a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C por 24 horas, até atingir o peso constante. Após a secagem do material, realizou-se a maceração utilizando almofariz. A quantidade produzida era pesada e armazenada em embalagens plásticas até o momento do uso na adubação. Devido a grande quantidade de água presente no material colhido, o volume de matéria seca produzida era bem inferior ao da biomassa colhida.

4.2.1 Determinação de nitrogênio e de proteínas

O teor de nitrogênio e de proteínas foi determinado pelo método de Kjeldahl, descrito por Cecchi (2003). Aproximadamente 0,5 g da amostra foi medida, em tubo de digestão micro com 3,0 g de mistura catalítica (0,3:0,3: 6 em dióxido de titânio, sulfato de cobre e sulfato de potássio respectivamente), com de 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi aquecida lentamente até alcançar 350 °C e mantida sob aquecimento até a mudança de coloração de escuro para verde claro ou incolor.

A mistura resultante da digestão foi transferida para um tubo macro Kjeldahl, adaptado ao sistema de destilação, e enquanto vapor de água era introduzido ao tubo contendo a amostra digerida, foi transferido hidróxido de sódio a 40% (m/v) até a mistura tornar-se marrom escura. O nitrogênio foi destilado e coletado em Erlenmeyer, contendo 20 mL da solução de ácido sulfúrico 0,05 mol/L (previamente padronizado), com 5 gotas do indicador vermelho de metila. Após a destilação o excesso de ácido sulfúrico foi retro titulado com hidróxido de sódio 0,1 mol/L (previamente padronizado), até o aparecimento da coloração amarela. O mesmo procedimento foi realizado para a prova do branco.

O conteúdo de nitrogênio, das diferentes proteínas é de aproximadamente 16%. Após determinado o teor de nitrogênio, o teor de proteínas foi determinado usando fator de correção de 6,25. As análises foram realizadas em triplicata.

4.2.2 Digestão para análise elementar

A digestão das amostras foi realizada de acordo com procedimento descrito por Da Silva (2009) com modificações. Aproximadamente 0,4 g da amostra foi medida em triplicata em tubos de digestão micro e adicionado 15 mL de mistura ácido nítrico e ácido perclórico (3:1). A mistura foi deixada em repouso por uma noite e posteriormente aquecida lentamente até 140 °C e mantida até o completo desprendimento de vapores marrons. Posteriormente a temperatura foi aumentada lentamente até 180 °C e mantida até o completo desprendimento de vapores brancos. Paralelamente foi preparado o branco contendo em triplicata. A solução resultante foi diluída para 50 mL em tubo de polipropileno.

4.2.3 Determinação de Li, K, Na e Ca

A determinação de Li, K, Na e Ca foi realizada em fotômetro de chama com filtro para esses elementos. Após a calibração com solução padrão de cada elemento foi introduzida a amostra após diluição apropriada. A análise foi realizada em triplicada.

4.2.4 Determinação de fósforo

A determinação de fósforo foi realizada de acordo com procedimento descrito por Frandoloso *et al.* (2010). Foi preparado 50 mL solução de molibdato de amônio diluído 2 g do reagente em água destilada. Outra solução foi preparada pela dissolução de 0,1 g de carbonato básico de bismuto juntamente com 20 mL de água destilada e 13,9 mL de ácido sulfúrico concentrado. A solução de carbonato básico de bismuto foi transferida cuidadosamente sobre a solução de molibdato e de amônio e o volume foi aferido para 100 mL (solução A).

A solução reativa para a determinação de fósforo foi preparada pela mistura de 0,35 g de ácido ascórbico e 40 mL de solução A e completado o volume para 250 mL. Em balões volumétricos de 10 mL foi adicionado 2 mL de solução digerida da amostra (previamente diluída), 6 mL da solução reativa para determinação de fósforo e volume foi completado com água. Após 30 minutos foi realizada medida de absorbância em 725 nm em espectrofotômetro. A calibração foi realizada por meio de curva padrão de fósforo (usando fosfato monobásico de potássio) nas concentrações de 0,0; 0,05, 0,1; 0,2; 0,4 e 0,6 mg L⁻¹ nas mesmas condições que as soluções da amostra foram preparadas. A análise foi realizada em triplicata descontando a absorbância do branco.

4.2.5 Determinação de enxofre

A determinação de enxofre foi realizada de acordo com procedimento descrito por Frandoloso, *et al.* (2010), na prática 25. Foi preparada solução de ácido clorídrico na concentração de $6,0 \text{ mol L}^{-1}$ contendo enxofre (a partir de sulfato de potássio) na concentração de 20 mg L^{-1} . Em tubos de ensaio foi adicionado na sequência 5 mL de solução digerida da amostra (previamente diluída), 0,5 mL da solução de ácido clorídrico contendo enxofre, 0,25 g de cloreto de bário dihidratado (granulometria entre 20 e 60 mesh) e homogeneizado em vortex por 30 segundos. Em até 8 minutos após a adição do cloreto de bário foi realizada a medida de absorbância da amostra em 420 nm em espectrofotômetro.

A calibração foi realizada por meio de curva padrão de enxofre (usando sulfato de potássio) nas concentrações de 0,0; 1,0; 5,0; 10,0; 20; 30,0 e 50 mg L^{-1} nas mesmas condições que as soluções da amostra foram preparadas. A análise foi realizada em triplicata descontando a absorbância do branco.

5. Resultados e Discussão

Ao observar o crescimento e multiplicação da *A. pinnata* verificou-se que a diminuição da temperatura, provavelmente levou à redução do desenvolvimento das plântulas. A temperatura foi medida a cada coleta, e as medidas da área ocupada eram verificadas. Os registros de temperatura média máxima e mínima de cada mês estão listados na Tabela 1, os dados foram obtidos através da estação metereológica da UFFS.

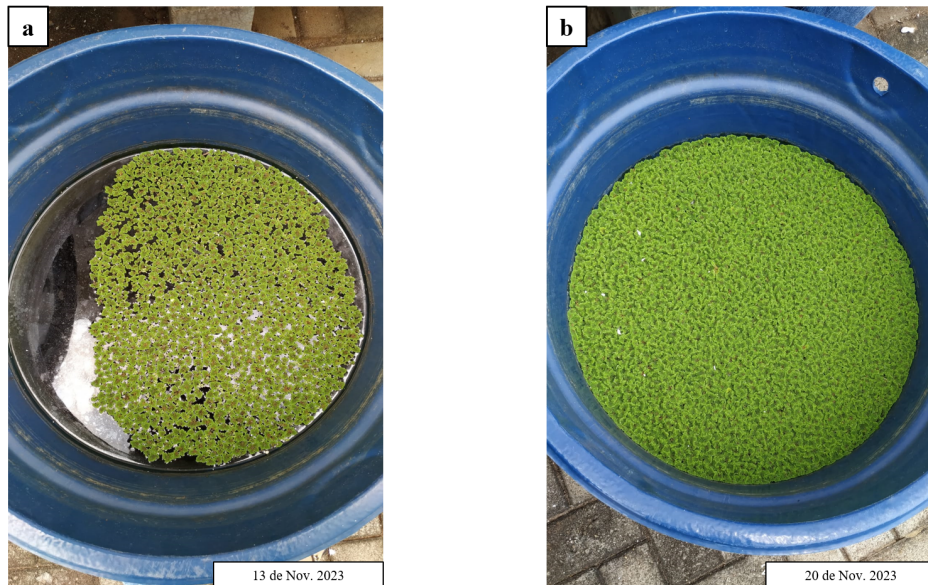
Tabela 1- Média da temperatura máxima e mínima em graus Celsius, nos meses do cultivo da *Azolla pinnata*.

Mês	T° média max.	T° média min.
ago/23	24,1	14,1
set/23	25,9	16
out/23	26	16,7
nov/23	26	19,7
dez/23	29,2	19,5
jan/24	28,7	18,9
fev/24	29,9	20,1
mar/24	29,5	19,7
abr/24	26,5	18,3

Fonte: Autora (2024). Adaptado, Estação Meteorológica do Campus da UFFS, Laranjeiras do Sul.

Nos dias quentes, em 7 dias a área da caixa d'água estava toda coberta (Figura 5). Já na época de clima ameno a multiplicação era um pouco mais lenta, ou seja o tempo para cobrir toda a lâmina de água era em média 14 dias, sendo o mesmo resultado observado por Parthasarathy et al. (2001).

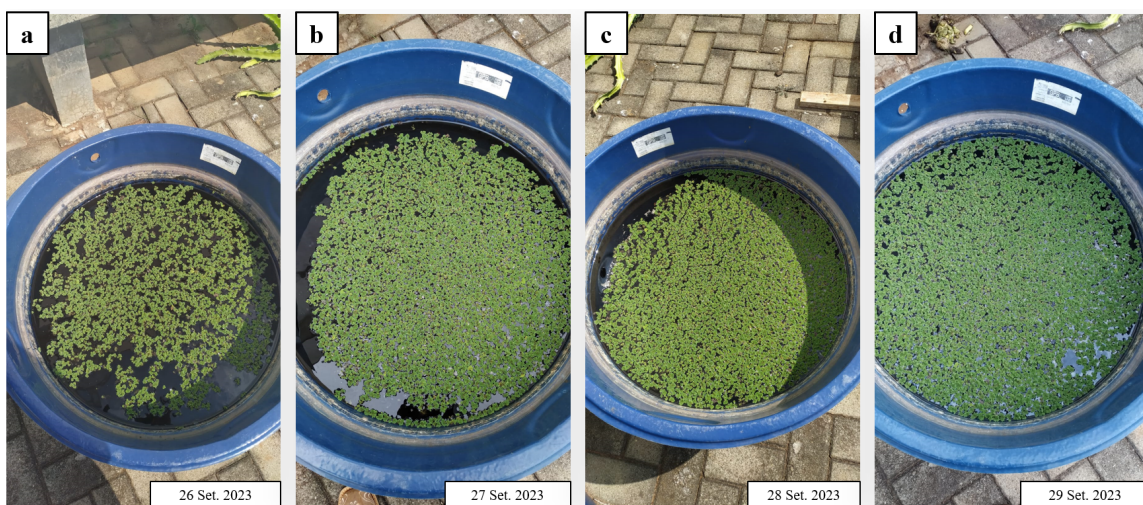
Figura 5 - Crescimento e taxa de ocupação *Azolla* em 7 dias de cultivo em caixa de 250 L. (a) imagem foi capturada no dia 13 de novembro de 2023; (b) imagem capturada em 20 de novembro de 2023.



Fonte: Autora (2023).

A multiplicação e o desenvolvimento da macrófita aquática, podem ser visualizadas a partir da observação a olho nu, na Figura 6A caixa de 250 L, entre os dias de 26 a 29 de setembro de 2023.

Figura 6A - Diferença na multiplicação da *Azolla* em 4 dias seguidos, na caixa de 250 L.

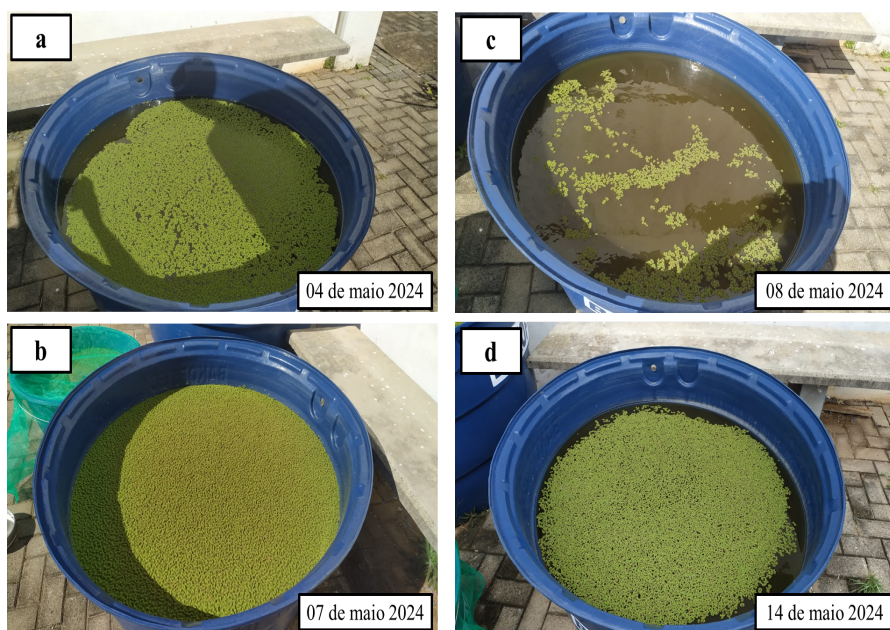


Fonte: Autora (2023).

A caixa d'água de 250 L com uma área de 0,4185 m² e os valores de 300 a 600 Kg de matéria seca de *Azolla* por hectare (Brouwer *et al.*, 2018) podemos concluir que o tanque quando preenchido por completo, proporciona entre 0,012555 Kg e 0,02511 Kg de matéria seca de *Azolla*.

Na caixa com 500 L (Fig. 7B), temos um total de 11 dias, de 04 a 14 de maio de 2024, o tempo de ocupação parece maior, mas o recipiente também tem metragem maior.

Figura 7B - Diferença na multiplicação da *Azolla* em 3 dias seguidos, sendo as imagens a, b e c na caixa de 500L. A imagem d foi registrada 6 dias após a imagem c.

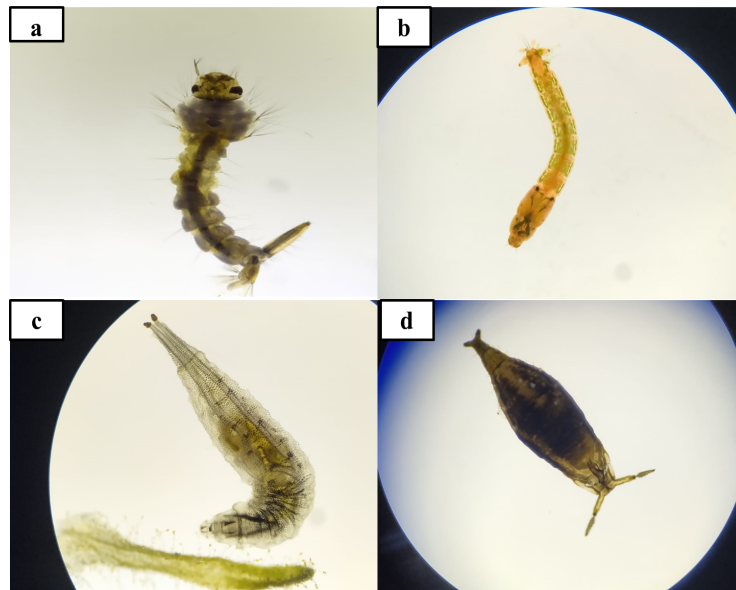


Fonte: Autora (2023).

Para a caixa d'água de 500L com uma área de 1,1690 m² e os valores de 300 a 600 Kg de matéria seca de *Azolla* por hectare (Brouwer *et al.*, 2018) podemos concluir que o tanque quando preenchido por completo, proporciona entre 0,03507 Kg e 0,07014 Kg de matéria seca de *Azolla*.

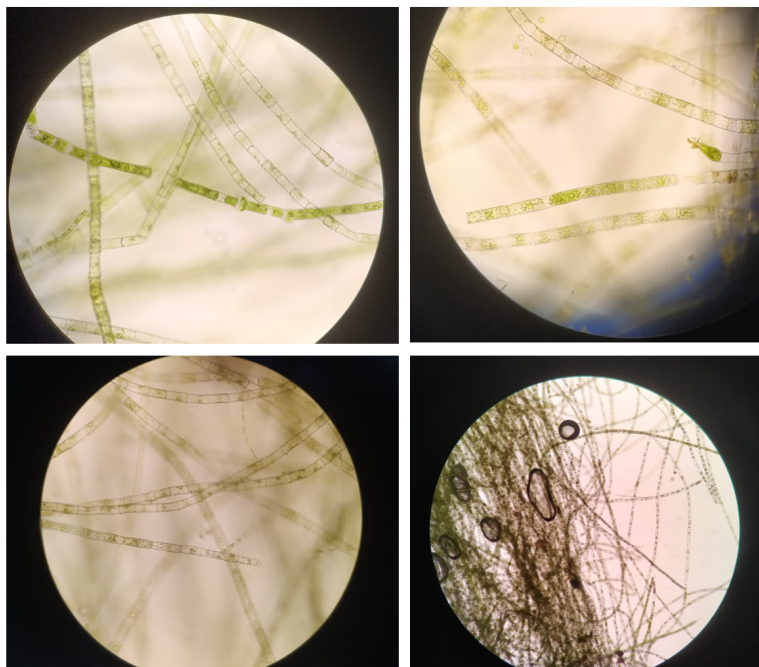
No cultivo da *Azolla*, na caixa 250 L foram observados a presença de larvas da família Culicidae, Stratiomyidae e Chironomidae (Figura 8) e outras espécies de macrófitas aquáticas (Figura 9), foram observados filamentos da alga *Oedogonium* sp., pertencente à divisão Chlorophyta, este táxon é considerado exigente, já que em geral só ocorre em águas limpas, com alta transparência, levando a tomar a decisão de esvaziar parcialmente a caixa, colocar sombrite, para evitar insetos, foi adicionado novamente 250g de cama de aviário e seu revolvimento para melhor mistura dos nutrientes.

Figura 9 - Larvas na imagem a, pertence à família Culicidae, na imagem b a família é Chironomidae



Fonte: Autora (2024).

Figura 10 - Macroalga *Oedogonium* sp.



Fonte: Autora (2024).

Após esse processo não foi mais observada a presença de larvas de insetos, somente a

presença da macroalga *Oedogonium* sp. que é filamentosa e formava uma biomassa significativa, outras algas microscópicas foram vistas como Bacillariophyceae, algumas Desmidiaceae algas microscópicas, isto ocorre pois os propágulos desses indivíduos se encontram na água que vem da mina (fonte natural) possivelmente estejam aderidas às raízes da *Azolla pinnata*. O zooplâncton desenvolvido (Fig. 9) em altas densidades poderia ser utilizado como alimento para alevinos.

De acordo Pillai *et al.* (2002) devem ser removidos cerca de 300 a 350 gramas de *Azolla* por metro quadrado e por dia, evitando superpopulação e mantendo as plantas em altas taxas de multiplicação. Tendo em mente esses valores a caixa d'água de 0,4185 m² poderia fornecer de 125,55 a 146,475 gramas por dia. Mas por se tratar de um valor muito pequeno a colheita da macrófita era realizada 1 vez por semana, sendo realizada a limpeza das mesmas retirando excesso de raiz e qualquer indivíduo indesejado. Já a caixa d'água de 1,1690 m² poderia fornecer de 350,7 a 409,15 gramas por dia. Sendo colhida 1 vez a cada 2 semanas em dias frios, já em dias quentes era realizada 1 vez na semana.

A análise detalhada da composição química (Tab. 2) foi realizada para *Azolla pinnata*. Cada dado inclui o valor médio seguido pelo desvio padrão, demonstrando a precisão das medições realizadas.

Tabela 2- Resultado da Análise Parcial da *Azolla pinnata*. Fonte: Autora (2023)

N (% m/m)	Proteínas (% m/m)	Na (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Li (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)
4,18 ± 0,04	26,1 ± 0,3	2,69 ± 0,07	47,5 ± 1,7	2,16 ± 0,05	282 ± 3	17,6 ± 0,5	3,54 ± 0,10

A análise revelou que a planta contém 4,18% de nitrogênio em relação à sua massa total (massa por massa). O valor de 4,18% indica que, em cada 100 gramas de *A. pinnata* seca, aproximadamente 4,18 gramas são constituídos por nitrogênio. O desvio padrão de ± 0,04 significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é muito pequena, sugerindo uma alta consistência na concentração de nitrogênio. Esta precisão é crucial para assegurar a confiabilidade dos dados ao considerá-la para aplicações comerciais e de pesquisa.

O nitrogênio é um dos nutrientes mais essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ele é um componente fundamental dos aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos (DNA e RNA) e clorofila. A alta concentração de nitrogênio na biomassa

analisada de *Azolla* indica que a mesma é uma excelente fonte desse nutriente vital. Assim, pode ser sugerido a sua utilização como biofertilizante, já que pode enriquecer o solo e melhorar a produtividade das culturas. O fato é que a sua capacidade de fixar nitrogênio, se deve à associação com cianobactérias, particularmente benéfica para a agricultura sustentável. A incorporação de *Azolla* no solo pode aumentar a disponibilidade de nitrogênio para as plantas cultivadas, melhorando a saúde do solo e a eficiência do uso de nutrientes.

A introdução da macrófita em sistemas agrícolas pode influenciar positivamente o ciclo do nitrogênio no solo, aumentando a disponibilidade deste nutriente e reduzindo a lixiviação e perda de nitrogênio. Além disso, a capacidade da *Azolla pinnata* de acumular nitrogênio pode refletir sua adaptação a diferentes condições ambientais, incluindo áreas com baixa fertilidade de solo. Isso pode ser relevante para sua utilização em projetos de restauração de ecossistemas e de reabilitação de solos degradados.

Segundo o Boletim de Solos da FAO (1978), a simbiose *Azolla*-*Anabaena* pode produzir 103 Kg de massa verde/ha/dia, contendo 3 Kg de nitrogênio fixado, o que equivale a 15 Kg de sulfato de amônio, ou 7 kg de uréia.

A análise revelou que a planta contém 26,1% de proteínas em relação à sua massa total (massa por massa). O valor de 26,1% indica que, em cada 100 gramas de *Azolla pinnata* seca, aproximadamente 26,1 gramas são constituídas por proteínas. Teores de proteína bruta na casa de 21,40% (Alalade; Iyayi, 2006), 22,79% (Khursheed *et al.*, 2019) e 23,49% (Cherryl *et al.*, 2014) foram encontrados em farinha de *Azolla*. O desvio padrão de $\pm 0,3$ significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é muito pequena, sugerindo uma consistência alta no teor de proteínas.

Os resultados obtidos indicam que *Azolla pinnata* é uma planta com elevado teor de proteínas, que são macromoléculas essenciais formadas por aminoácidos, que desempenham uma variedade de funções críticas nos organismos vivos. Elas são componentes fundamentais das estruturas celulares, enzimas, hormônios e anticorpos. Assim, devido ao seu alto conteúdo proteico, pode ser considerada uma fonte promissora de proteínas para uso em alimentação animal e humana. Em particular, pode ser utilizada como suplemento protéico na alimentação de peixes, na aquicultura, na alimentação de aves e outros animais, bem como em suplementos alimentares para humanos, especialmente em regiões onde há deficiência proteica.

De acordo com Giehl (2020), devido ao seu alto valor nutritivo, a inclusão da *Azolla* na nutrição animal despertou interesse, e o potencial de utilização de sua biomassa na alimentação animal (in natura ou desidratada na forma de suplemento) foi avaliado, tanto

para ruminantes quanto para não ruminantes (Albertoni; Palma-Silva; Veiga, 2005; Bhaskaran; Kannapan, 2015).

Diversos autores destacaram a utilização da *Azolla* como fonte proteica na dieta de coelhos (Gualtieri; Rapaccini; Balloni, 1988; Sadek *et al.*, 2010), suínos (Duran, 1994; Leterme *et al.*, 2010), peixes (Souza *et al.*, 2008; Arnauld *et al.*, 2017; Méndez-Mártinez *et al.*, 2018; Méndez-Mártinez *et al.*, 2019) e bovinos (Khare *et al.*, 2014). Adicionalmente, Pott e Pott (2000) destacaram a utilização dessas plantas como forrageiras para aves (Rai *et al.*, 2012; Sinha; Kumar; Chudhary, 2018).

Embora exista uma série de estudos realizados com galinhas poedeiras (Subudhi; Singh, 1978; Alalade; Iyayi; Alalade, 2007; Sujatha *et al.*, 2013), patos (Bacerra; Preston; Ogle, 1995), frangos (Basak *et al.*, 2002; Balaji *et al.*, 2009; Prabina; Kumar, 2010; Naghshi; Khojasteh; Jafari, 2014; Ara *et al.*, 2015; Kashyap *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2018) e codornas japonesas (Paraselli, 2013; Shamna *et al.*, 2013; Rathod *et al.*, 2013; Parvez *et al.*, 2018; Tugiyanti; Heriyanto, 2018), esses estudos se referem principalmente à inclusão de outras espécies de *Azolla* na dieta, com destaque a *Azolla pinnata*.

A análise da *Azolla pinnata* revelou que a planta contém 2,69 gramas de sódio por quilograma de massa seca. O valor de 2,69 g/Kg indica que, em cada quilograma de *Azolla* seca, há aproximadamente 2,69 gramas de sódio. O desvio padrão de $\pm 0,07$ significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é relativamente pequena, indicando uma consistência alta na concentração de sódio.

O sódio é um elemento essencial para muitos processos fisiológicos, tanto em plantas quanto em animais. Em plantas, o sódio pode desempenhar um papel secundário na osmorregulação e na manutenção do equilíbrio iônico celular, especialmente em ambientes salinos onde o sódio pode ser mais abundante (Mello; Mendonça, 2017). Na alimentação animal, sendo sua presença crucial para a manutenção do equilíbrio eletrolítico e para funções fisiológicas normais, como a transmissão de impulsos nervosos e a contração muscular (Stivanin, 2014). A macrófita em questão, com a quantidade de sódio apresentada, pode contribuir para a dieta de animais fornecendo uma fonte adicional deste elemento essencial.

No uso como biofertilizante ou cobertura verde, o teor de sódio é relevante, pois influencia a salinidade do solo. Solos com alto teor de sódio podem afetar negativamente o crescimento de certas culturas sensíveis à salinidade. Portanto, o conhecimento preciso do conteúdo de sódio é crucial para a aplicação agrícola eficiente da *Azolla*. A presença de sódio, pode indicar uma adaptação potencial a ambientes salinos. Podendo, ser relevante para

estudos ecológicos e para a utilização da planta em programas de biorremediação de solos salinos.

A análise da *A. pinnata* revelou que a planta contém 47,5 gramas de potássio por quilograma de massa seca. O desvio padrão de $\pm 1,7$ significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é moderada, sugerindo uma consistência razoável na concentração de potássio. O potássio é um macronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ele desempenha várias funções críticas, incluindo a regulação do equilíbrio osmótico e hídrico, a ativação de enzimas, a síntese de proteínas e a fotossíntese (Mello; Mendonça, 2017).

Sendo esse nutriente igualmente importante na nutrição animal e humana, contribuindo para a função muscular, a condução nervosa e o equilíbrio de fluidos. A macrófita, com seu elevado teor de potássio, pode ser considerada uma adição valiosa às dietas de animais, especialmente em sistemas de produção sustentável de base ecológica/orgânico, como aquicultura e agropecuária. Além do mais, sua utilização em sistemas agrícolas pode influenciar os ciclos de nutrientes no solo e na água. O potássio, sendo altamente móvel no solo, pode beneficiar as plantas cultivadas subsequentes e melhorar a produtividade agrícola geral.

Em cada quilograma de *A. pinnata* seca, há aproximadamente 2,16 gramas de cálcio. O desvio padrão de $\pm 0,05$ significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é muito pequena, sugerindo alta concentração de cálcio. O cálcio é um nutriente essencial para o desenvolvimento e crescimento das plantas. Ele desempenha várias funções críticas, incluindo a formação da parede celular, a estabilização das membranas celulares e a regulação da atividade enzimática.

A análise da *Azolla pinnata* revelou a presença de 282 miligramas de lítio por quilograma de massa seca, com um desvio padrão baixo de ± 3 , indicando alta consistência na concentração do elemento. O lítio, embora não seja essencial para a maioria das plantas, pode afetar processos fisiológicos como a síntese de clorofila e o metabolismo de nutrientes. O conteúdo de lítio na planta pode ser importante para estudos de fitorremediação e bioacumulação, tornando-a útil na remediação de solos e águas contaminadas (Mello; Mendonça, 2017).

A presença na *Azolla pinnata* pode ser um indicador ambiental para monitorar a contaminação em ecossistemas aquáticos e terrestres, abrindo oportunidades para aplicações biotecnológicas, como a engenharia de plantas para a bioacumulação de metais e estratégias

de biorremediação. A análise precisa do conteúdo de lítio é crucial para garantir a segurança do solo e dos alimentos.

Na análise da *A. pinnata* para fósforo, a planta apresentou 17,6 miligramas de fósforo por quilograma de massa seca. O desvio padrão de $p \pm 0,5$ significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é pequena, sugerindo uma alta quantidade de fósforo.

O fósforo é um nutriente essencial para todos os organismos vivos, desempenhando um papel crucial em processos biológicos fundamentais como a fotossíntese, a respiração celular e a transferência de energia. Em plantas, o fósforo é um componente vital dos ácidos nucleicos, fosfolipídios e ATP (adenosina trifosfato) (Mello; Mendonça, 2017).

A presença significativa de fósforo indica que a planta pode contribuir para a nutrição de outras plantas quando utilizada como fertilizante ou adubo verde. O fósforo é frequentemente um nutriente limitante em muitos solos agrícolas, e sua adição pode melhorar significativamente o crescimento das culturas (Mello; Mendonça, 2017).

O uso da *Azolla* como fonte de fósforo, e sua aplicação pode ajudar a enriquecer o solo com fósforo, melhorando a disponibilidade deste nutriente para as plantas cultivadas. Além do mais, sua introdução em sistemas agrícolas pode influenciar o ciclo do fósforo no solo, aumentando a disponibilidade deste nutriente e potencialmente melhorando a saúde e a produtividade das culturas. Isso pode ser particularmente importante em sistemas de cultivo integrados e sustentáveis (Mello; Mendonça, 2017).

Por fim, a análise desta espécie mostrou que *Azolla* contém 3,54 gramas de enxofre por quilograma de massa seca. O desvio padrão de $p = \pm 0,10$ significa que a variação observada entre diferentes amostras analisadas é moderada, indicando uma consistência razoável na concentração de enxofre. O enxofre é componente crítico dos aminoácidos cisteína e metionina, bem como de várias vitaminas e coenzimas. Desempenhando papéis importantes na síntese de proteínas, no metabolismo de carboidratos e na resposta de defesa das plantas.

A introdução da *Azolla* em sistemas agrícolas pode influenciar o ciclo do enxofre no solo, melhorando a disponibilidade deste nutriente e promovendo um ambiente mais equilibrado para o crescimento das plantas. Isso pode ser particularmente importante em áreas com histórico de depleção de enxofre devido ao manejo intensivo.

6. Conclusão

Nas condições de clima apresentadas em Laranjeiras do Sul, Paraná, *Azolla pinnata* apresentou um bom desempenho no seu desenvolvimento, mesmo em condições adversas de chuvas e variação de temperatura.

Os estudos com aproveitamento desta espécie como potencial na produção N, P e proteínas, sugere mais estudos quanto ao seu aproveitamento e calibração para o uso.

A *Azolla pinnata*, com um teor de nitrogênio de $4,18\% \pm 0,04$, demonstra ter potencial de usos e o teor de nitrogênio é altamente relevante para aplicações na nutrição animal bem como para considerações agrônômicas e ecológicas. Os dados corroboram com a literatura quanto ao potencial como uma fonte significativa de nitrogênio em práticas agrícolas e ambientais sustentáveis. Adicionalmente, o teor proteico de $26,1\%$, com $p = \pm 0,3$, evidencia esse potencial significativo como uma fonte proteica sustentável e eficiente. Os conteúdos de sódio de $2,69 \text{ g/Kg}$, $p = \pm 0,07$, potássio de $47,5 \text{ g/Kg}$, $p = \pm 1,7$, cálcio de $2,16 \text{ g/Kg}$, $p = \pm 0,05$, lítio de 282 mg/Kg , $p = \pm 3$, e fósforo de $17,6 \text{ mg/Kg}$, $p = \pm 0,5$ torna esta planta valiosa para uma ampla gama de aplicações, desde a biotecnologia, nutrição animal até a melhoria da fertilidade do solo, realçando seu potencial como um recurso multifuncional em práticas agrícolas e ecológicas sustentáveis.

Por fim, a *Azolla pinnata*, com um teor de enxofre de $3,54 \text{ g/Kg} \pm 0,10$, mostra uma consistência razoável na sua composição química. Esse teor de enxofre é relevante tanto para a nutrição vegetal quanto para considerações agrônômicas e ecológicas, sublinhando o seu potencial como uma fonte útil de enxofre em práticas agrícolas e ambientais sustentáveis.

Os estudos referentes a sua utilização tem volume na década de 1970 a 80 em seguida há um espaço sem muito material publicado ao menos no Brasil (vácuo) quanto às suas aplicações o que sugere a necessidade de mais estudos. Esta lacuna, aparentemente, se dá pela dificuldade em calibrar seu uso, mesmo assim não fica claro se este é o real motivo.

Entretanto, a sua produção para pequenos produtores não é muito rentável, pois demanda mão de obra e a necessidade de uma grande quantidade de macrófita.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. et al. Morfologia da raiz de plantas com sementes. (**Coleção Botânica, 1**) Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo, 2014. 71 p.
- Aquatic weeds in Victoria: Where and why are they a problem, and how are they being controlled. **Plant Protection Quarterly**, v. 28, n. 2, p. 35- 41, 2013.
- BECKING, J. H. Environmental requirement of Azolla use in tropical production. p. 315-374, 1979.
- BROUWER, P.; SCHLUEPMANN, H.; NIEROP, K.G. J.; ELDERSON, J.; BIJL, K. P.; VAN DER MEER, I.; DE VISSER, W.; REICHART, G.; SMEEKENS, S.; VAN DER WERF, A. Growing Azolla to produce sustainable protein feed: the effect of differing species and CO₂ concentrations on biomass productivity and chemical composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**.v.98, p.4759-4768, 2018. 10.1002/jsfa.9016.
- CALABI-FLOODY, M.; MEDINA, J.; RUMPEL, C.; CONDRON, L. M.;HERNANDEZ, M.; DUMONT, M.; DE LA LUZ MORA, M. Smart fertilizers as a strategy for sustainable agriculture. **Advances in agronomy**, v. 147, p. 119-157, 2018.
- CARRAPIÇO, F., ANTUNES, T., SEVINATE-PINTO, I., TEXEIRA, G., SERRANO, R., BAIOA, V., PEREIRA, A.L., ELIAS, F., BASTOS, M., CAIXINHAS, R., RAFAEL, T.E FALCÃO, M. Azolla em Portugal. Ficha técnica. ISBN:972-9412-50-8, p. 16, 2001.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Núcleo Regional Sul, 376 p. 2016.
- DA ROSS, C. O.; REX, F. E.; RIBEIRO, I. R.; KAFER, P. S.; RODRIGUES, A. C.; SILVA, R. F. da; SOMAVILLA, L. Uso de substrato compostado na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p.549-558, 2015.
- DANTAS, RT.;ESCOBEDO, JF. Índices morfo-fisiológicos e rendimento da alface (*Lactuca sativa* L.) em ambientes natural e protegido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 1998.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.
- GIEHL, D.Z. Farinha de samambaia d'água (*Azolla filiculoides*) na dieta de codornas japonesas/ Diciane Zeni Giehl; Eduardo Gonçalves Xavier, orientador ; Victor Fernando Büttow Roll, Débora Cristina Nichelle Lopes, coorientadores.- Pelotas, 2020. 85 f.:il.

Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

IRGANG, B.E., Gastal Jr, C.V.S., 1996. **Macrófitas Aquáticas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 290p.

IZIDÓRIO, T. H. C.; LIMA, S. F.; VENDRUSCULO, E. P.; ÁVILA, J.; ALVAREZ, R. C. F. Bioestimulante via foliar em alface após o transplântio das mudas. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 2, n. 2, p. 49-56, abr./jun. 2015. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/257>. Acesso: 30 abril 2024.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N.; FERMINO, M. H. **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênesis, 2000. p. 139-145.

KRATZ, D. **Substratos renováveis para produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Mimosa scabrella* Benth.** 2011. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; RICHARD, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e de tecido vegetal: metodologias analíticas**. 1º ed. – Cascavel, PR: Editora Edunioeste, 2010.

LIMBERGER, Pâmela Andressa; GHELLER, Jorge Alberto. Efeito da aplicação foliar de extrato de algas, aminoácidos e nutrientes via foliar na produtividade e qualidade de alface crespa. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 1, p. 148-161, 2012. Disponível em: https://www.fag.edu.br/novo/arquivos/revista/rbe/1-2011/Artigo_12_2011.pdf. Acesso em: 30 abril 2024.

LIRA, J. L.C. de B. **Produtividade, índice de equivalência de área e incidência de espontâneas em cultivo consorciado de alface**. Brasília. 2013. Monografia (graduação em agronomia) - Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013.

LUMPKIN, T A. and PLUCKNETT, D. L. Azolla as a green manure: use and management in crop production. p. 123-146, 1982.

MARQUELLI, W.A.; ABDALLA, R.P.; MADEIRA, N.R.; OLIVEIRA, A.S.; SOUZA, R.F. Eficiência do uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.369-375, 2010.

MARTINS, A.T. DIQUAT no manejo de aguapé *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. e seu impacto sobre fatores limnológicos.: Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP, 2009.

MELLO, S. C.; MENDONÇA, J. A. **Nutrição de olerícolas** / Simone da Costa Mello [e] Jéssika Angelotti Mendonça – Curitiba : SENAR-PR., 2017. – 80 p. Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0329-Nutricao-de-Hortalicas_web.pdf . Acesso em 23 Jun 2024.

PARTHASARATHY, R.; KADIRVEL, R.; KATHAPERUMAL, V. Chemical evaluation of Azolla as poultry feed ingredient. **Cheiron**, v.30, n.1e2, p.35-37, 2001.

PILLAI, K. P.; PREMALATHA, S.; RAJAMONY, S. Azolla - A sustainable feed substitute for Livestock. **LEISA INDIA**, v.4, p.15-17, 2002.

Personal Weather Station Dashboard | Weather Underground. Disponível em: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/ILARAN1/table/2023-08-5/2023-08-5/monthly>. Acesso em: 6 jul. 2024.

PINTO, PAC; SANTOS, NGN; GERMINO GFS; DEON, TD; SILVA, AJ. Eficiência agrônômica de extratos concentrados de algas marinhas na produção da alface em Neossolo Flúvico. 2010. **Horticultura Brasileira** 28: S3980-S3986. Disponível em: http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_4/A3074_T5112_Comp.pdf Acesso em: 30 abril 2024.

PLUMECOCQ, G.; T. DEBRIL.; M. DURU.; M. B. MAGRINI.; J. SARTHOU.; O.THEROND. The plurality of values in sustainable agriculture models: diverse lock - in and coevolution patterns. **Ecology and Society**, n. 23, v.21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5751/ES-09881-230121>. Acesso em: 17 abril 2024.

POMPÊO, M. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. São Paulo ; Instituto de Bio-ciências da USP, 2017. 138 p.

POMPÊO, M.L.M., MOSCHINI-CARLOS, V., 2003. **Macrófitas Aquáticas e Perifiton, Aspectos Ecológicos e Metodológicos**. São Carlos-SP. Rima. 134p.

RICCI MSF. **Crescimento e teores de nutrientes em cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adubados com vermicomposto**. Viçosa: UFV. 1993

SAIDELLES, F. L. F. et al. Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, p. 1173-1186, 2009. Suplemento.

SALA FC.; COSTA, CP. ‘Gloriosa’: cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, 2008.

SHEN, C. S., Lu, K. C. e Ge, S., 1963. **The initial experiment of Azolla's nitrogen fixing ability**. Turang Tongbao (PedologyBull.), Peking. v.4: p. 46-48.

SHORT, P. S.; DIXON, D.J. Ferns and allied plants. In Short, P.S. & Cowie, I.D. (eds), Flora of the Darwin Region. (**Northern Territory Herbarium, Department of Natural Resources, Environment, the Arts and Sport**), v. 1, 2011.

STIVANIN, S.C.B. Desequilíbrio eletrolítico: sódio, potássio e cloro. Seminário apresentado na disciplina Transtornos Metabólicos dos Animais Domésticos, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 10p.

VAN HOVE, C.; LEJEUNE, A. Cyanobacteria in symbiosis. **Biology and Environment**, v. 102, n. 1, p. 23-26, 2002.

WATANABE E BIRJA. The growth of four species of Azolla as affected by temperature. **Aquatic botanic plant**. v. 15(2): 175-186, 1983.

WETZEL, R.G. 1993. Limnologia. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 1129 p.

WILLER, H.; SCHAACK, D.; LERNOUD, J. Organic farming and market development in Europe and the European Union. Bonn: Ifoam – **OrganicsInternacional**, 2019.

ZORZETO, T. Q. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.)** 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2011.

Capítulo II - GERMINAÇÃO DE *LACTUCA SATIVA* L. EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE *AZOLLA PINNATA* R. BR COMO SUBSTRATO.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) é amplamente difundida no Brasil e é considerada a hortaliça folhosa mais consumida no país, representando uma cultura de significativa importância econômica e alimentar (Lopes *et al.*, 2005). Devido à sua alta perecibilidade, é comum que seja cultivada próximo aos centros consumidores, tornando-se necessário o cultivo em diversas regiões brasileiras ao longo do ano.

As mudas de alface são geralmente produzidas em bandejas, proporcionando um melhor rendimento operacional em termos de quantidade de sementes, uniformização das mudas, manuseio no campo e controle fitossanitário, condições que permitem colheitas precoces (Favarato *et al.*, 2017). A produção de mudas de hortaliças constitui-se numa das etapas mais importantes do sistema produtivo, uma vez que o desempenho final das plantas depende dessa fase (Freitas *et al.*, 2013).

Os produtores procuram adquirir mudas de melhor qualidade, com bom enraizamento e desenvolvimento de folhas, visando permitir um maior período de transplante das bandejas para o campo. Portanto, o tamanho das células dos recipientes e o tipo de substrato são aspectos cruciais a serem considerados para a obtenção de mudas de qualidade, pois influenciam diretamente o desenvolvimento e a arquitetura do sistema radicular, assim como o fornecimento de nutrientes às mudas (Echer *et al.*, 2000).

No Brasil, a produção de mudas demanda um volume expressivo de substratos, um insumo essencial em diferentes segmentos da horticultura. Embora grande parte desses substratos seja produzida com turfa como componente principal, esforços crescentes estão sendo direcionados para substituir esse material devido a preocupações ambientais (Baumgarten, 2002).

O substrato deve apresentar propriedades físicas (umidade, macroporos e microporos), físico-químicas (condutividade elétrica e pH), químicas (nutrientes e capacidade de troca catiônica) e biológicas (ausência de patógenos) (Nadai *et al.*, 2015). Essas características garantem a obtenção de mudas de qualidade superior, que, ao serem transplantadas ao campo,

exibem elevados índices de pegamento devido à formação de raízes robustas e torrão íntegro, permitindo a formação de estandes mais uniformes e resultando em ganhos na produtividade final (ANTUNES et al., 2018).

Vários materiais orgânicos e inorgânicos são utilizados como substrato na produção comercial de mudas de hortaliças, incluindo turfa, resíduos de madeira, casca de pinus, casca de arroz carbonizada, vermiculita, entre outros (Carrijo, Setti de Liz e Makishima, 2002). A casca de arroz carbonizada, por exemplo, tem sido destacada devido à sua disponibilidade nas regiões produtoras de arroz e à sua capacidade de melhorar as condições físicas do substrato. No entanto, a escassez desse material em algumas regiões pode limitar sua utilização, outra demanda nos últimos anos, que para o agricultor para ter a certificação de produtor agroecológico/orgânico e entregar para o PNAE a produção da muda deve desde o substrato até a semente ser de origem orgânica ou seja sem a aplicação de agrotóxicos.

A busca por materiais naturais, que tenham uma boa disponibilidade de N e P são fundamentais, estudos indicam (Santos, 2024 Cap. anterior) que *Azolla pinnata* pelas análises químicas realizadas apresentaram bom potencial.

Estudos têm demonstrado a eficácia de substratos alternativos em comparação com substratos comerciais na produção de mudas de alface. A combinação de húmus de minhoca e casca de arroz carbonizada, por exemplo, mostrou-se superior para várias características avaliadas (Medeiros *et al.*, 2001). O uso de substratos à base de casca de coco verde e coco maduro também tem se mostrado uma alternativa viável para a produção de mudas de berinjela (Oliveira, Hernandez e Assis Júnior, 2008).

Este trabalho tem como objetivo avaliar a produção de mudas de alface utilizando diferentes combinações de *Azolla pinnata*, macerado da planta e vermiculita em bandejas de plástico de 200 células, sob cultivo protegido. Ainda contribuir com o desenvolvimento de novas tecnologias no campo da olericultura e para a sustentabilidade do setor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de Mudas e os Substrato

A produção de mudas tem sido um gargalo na agricultura de forma geral, principalmente na produção de mudas para a agricultura de base agroecológica/orgânica, devido às últimas exigências das mudas, sejam produzidas a partir de sementes e substratos de base ecológica/orgânico, ou seja sem o uso de adubos e agrotóxicos sintéticos em sua produção.

Para a produção de mudas, o tamanho das partículas do substrato deve ser adequado, pois, se forem muito pequenas, podem compactar-se facilmente, dificultando a oxigenação das raízes das mudas. Por outro lado, partículas excessivamente grandes também são inadequadas, pois o substrato não estabelecerá um bom contato com as raízes (Reis, 2007). Falhas na etapa de produção das mudas podem resultar em plantas com problemas de formação, tornando-se debilitadas e acarretando problemas futuros, como o alongamento do ciclo produtivo ou até mesmo perdas na produção (Nascimento; Silva; Cantliffe, 2016).

Alcançar o equilíbrio entre aeração e retenção de água pelo substrato é um grande desafio, uma vez que ele, além de fornecer fixação para as mudas, deve disponibilizar nutrientes e permitir trocas gasosas pelas raízes (Leskovar; Sharma, 2016). No mercado, existe uma grande variedade de substratos comerciais, recomendados para diferentes espécies. No entanto, suas formulações, propriedades e desempenho no cultivo das espécies são, geralmente, pouco conhecidos.

Segundo Ugarte *et al.* (2008), a vermiculita é um silicato de alumínio, ferro e magnésio, com uma estrutura micácea-lamelar. Define-se a vermiculita como um grupo comercial de minerais micáceos formado por aproximadamente dezenove variedades de silicatos hidratados de magnésio, alumínio, ferro e outros elementos. De acordo com Martins *et al.*, (2011) a vermiculita poderia até ser usado como teste teste padrão de germinação, devido às vantagens como: fácil obtenção, uniformidade na composição química e granulométrica, porosidade, capacidade de retenção de água e baixa densidade (Figliolia *et al.*, 1993; Martins *et al.*, 2009). Adicionalmente, é um produto estéril, devido ao processo de expansão que é realizado entre 800 e 900 °C (Isolantes, 2009; Ugarte *et al.*, 2008).

A vermiculita pode ser encontrada em diferentes formas, como expandida, de textura superfina, fina e média, cada uma com características especiais que a tornam um elemento importante na composição de fertilizantes e na formação do solo, especialmente em períodos de estiagem. Esses aspectos fazem da vermiculita um importante aliado no plantio e produção de mudas, em grandes áreas de reflorestamento, jardinagem e horticultura, atuando como inibidor de macro e micronutrientes de adubos, estimulando a germinação de sementes e estacas, entre outros benefícios (Ugarte *et al.* 2008).

2.2 Cultura da Alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface (*Lactuca sativa* L.) é originária da Europa e da Ásia Ocidental. Pertence ao Reino Plantae, Divisão Magnoliophyta, Classe Magnoliopsida, Ordem Asterales, Família

Asteraceae (antiga Compositae), Gênero *Lactuca* e Espécie *Lactuca sativa* Carl Linnaeus. Esta hortaliça possui folhas presas a um pequeno caule, cuja coloração varia do verde ao roxo (Maldonade; Mattos; Moretti, 2014).

A haste floral, gerada quando a planta está madura, termina em uma inflorescência ramificada com numerosas flores hermafroditas, normalmente autofecundadas (Schafer, 2009). A raiz é superficial, explorando apenas os primeiros 25 cm do solo. Trata-se de uma planta anual, que floresce sob dias longos e altas temperaturas, preferindo condições de dia curto e temperaturas amenas para o crescimento vegetativo (Filgueira, 2003).

Segundo Camargo Filho e Mazzei (2001), a larga adaptação da alface às condições climáticas, a possibilidade de cultivos sucessivos ao longo do ano, o baixo custo de produção, a baixa suscetibilidade a pragas e doenças e a segurança na comercialização tornam esta a hortaliça mais cultivada pelos pequenos produtores, conferindo-lhe grande importância econômica e social.

O cultivo de alface é intensivo e predominantemente realizado pela agricultura familiar, gerando cinco empregos diretos por hectare (Costa; Sala, 2005). Schafer (2009) ressalta que a alface é uma excelente fonte de vitamina A e também contém vitaminas B1, B2, C e os minerais cálcio e ferro. Em média, cem gramas de folhas de alface contém 95% de água, 1,2 g de proteínas, 38 mg de cálcio, 2,3 g de carboidratos, 42 mg de fósforo e 1,1 mg de ferro, além de 4.259 UI de vitamina A, 15 µg de tiamina, 0,9 mg de ácido ascórbico, 125 µg de riboflavina e 0,23 mg de niacina do complexo B. Por ser consumida crua, suas propriedades nutritivas são preservadas (Casali *et al.*, 1980; Ricci, 1993).

O ciclo de produção da alface é curto (45 a 60 dias), permitindo produção contínua ao longo do ano e rápido retorno de capital (Maldonade *et al.*, 2014).

Apesar de ser cultivada em todas as regiões brasileiras, a alface apresenta sensibilidade às condições adversas de temperatura, umidade do ar e precipitação pluvial (Gomes *et al.*, 2005). Condições meteorológicas desfavoráveis, como baixas temperaturas (inferiores a 10 °C) e chuvas prolongadas, retardam seu crescimento e podem danificar as plantas. Por outro lado, altas temperaturas (acima de 20 °C) e intensa radiação solar favorecem o pendoamento precoce, podendo causar queima das bordas das folhas externas, formação de cabeças pouco compactas e contribuir para a ocorrência de deficiência de cálcio conhecida como "tipburn" (Turini *et al.*, 2011 *apud* Brezinski, 2017).

2.3 Principais Cultivares Plantadas no Brasil

As cultivares de alface disponíveis no mercado brasileiro podem ser agrupadas em cinco tipos morfológicos principais, com base na formação de cabeça e tipo de folhas (Henz *et al.*, 2009):

1. Repolhuda Lisa: Folhas lisas, delicadas e macias, com nervuras pouco salientes, formando uma cabeça típica e compacta. Ex.: 'Áurea', 'Aurélia', 'Aurora', 'Babá de Verão', 'Boston Branca', 'Brasil 202', 'Brasil 303', 'Carla', 'Carolina AG 576', 'Crioula Branca', 'Elisa', 'Floresta', 'Glória', 'Kagraner de Verão', 'Karina', 'Lívia', 'Luisa', 'Marina', 'Maravilha de Inverno', 'Maravilha de Verão', 'Minie', 'Piracicaba 65', 'Rainha de Maio'.

2. Repolhuda Crespa ou Americana: Folhas crespas, consistentes e crocantes, cabeça grande e bem compacta. Ex.: 'América Delícia', 'Bounty Empire', 'Crespa Repolhuda', 'Grandes Lagos', 'Great Lakes', 'Great Lakes 659-700', 'Hanson', 'Iara', 'Lorca', 'Lucy Brown', 'Madona AG 605', 'Mesa 659', 'Nabuco', 'Raider', 'Salinas', 'Summertime', 'Tainá'.

3. Solta Lisa: Folhas lisas e soltas, relativamente delicadas, sem formação de cabeça compacta. Ex.: 'Babá', 'Babá de Verão', 'Monalisa AG 819', 'Regina', 'Regina 71', 'Regina 440', 'Regina 579', 'Regina de Verão', 'Vitória de Verão'.

4. Solta Crespa: Folhas grandes e crespas, textura macia, mas consistente, sem formação de cabeça; pode ter coloração verde ou roxa. Ex.: 'Black Seeded Simpson', 'Brisa', 'Elba', 'Grand Rapids', 'Grand Rapids Nacional', 'Grand Rapids TBR', 'Grande Rápida', 'Hortência', 'Itapuã 401', 'Marianne', 'Marisa AG 216', 'Mimosa (Salad Bowl)', 'Salad Bowl', 'Simpson', 'Vanessa', 'Verônica', 'Vera (AF-470)'.

5. Tipo Romana: Folhas tipicamente alongadas, duras, com nervuras claras, formando uma cabeça fofa e alongada, em forma de cone. Ex.: 'Branca de Paris', 'Ideal Cos', 'Romana Balão'.

Nos últimos anos, aumentou o interesse de produtores e consumidores pela alface tipo "repolhuda crespa ou americana", já ofertada regularmente em todos os mercados brasileiros. Além de ser apreciada in natura, esta cultivar é amplamente utilizada pela indústria de processamento mínimo devido à sua resistência ao processamento, conservação pós-colheita e resistência ao transporte e manuseio. A alface "americana" é também muito utilizada por redes de "fast food" como ingrediente de sanduíches devido à sua crocância, textura e sabor (Henz *et al.*, 2009). A alface "romana" de folhas roxas é a menos conhecida no Brasil, mas

seu cultivo pode ser interessante para nichos de mercado, especialmente consumidores mais sofisticados (Henz *et al.*, 2009).

O mercado brasileiro de sementes oferece um número expressivo de cultivares de alface, muitas importadas com nomes fantasia em português (Gizele, Hortência, Marisa, Red Fire) ao invés do nome original (Henz *et al.*, 2009). As cultivares nacionais são produzidas principalmente por instituições de ensino e pesquisa, eventualmente em parceria com empresas de sementes, visando ofertar cultivares adaptadas às condições prevalentes na maior parte do território nacional, incluindo genótipos com tolerância ou resistência a doenças (Costa; Sala, 2005; Ledo *et al.*, 2000; Sala; Costa, 2008).

2.4 Tipos de Cultivo Utilizados na Cultura

De acordo com Filgueira (2003) e Resende *et al.* (2007), existem pelo menos quatro sistemas de produção de alface no Brasil: cultivo convencional e sistema orgânico em campo aberto; cultivo protegido no sistema hidropônico e no solo. Esses sistemas diferenciam-se em vários aspectos de manejo da cultura e no manuseio pós-colheita.

O cultivo de alface em campo no sistema tradicional é o mais usado em termos de área e produção, geralmente concentrado perto dos grandes centros urbanos. Alguns produtores especializados produzem alface de forma contínua na mesma área durante o ano, com ou sem rotação de culturas, enquanto pequenos produtores têm apenas alguns canteiros de alface juntamente com outras hortaliças. O custo da alface em cultivo tradicional é relativamente baixo quando comparado a outras hortaliças, como o tomate, o pimentão e o pepino híbrido (Henz *et al.*, 2009).

Em campo, a alface pode ser cultivada diretamente nos canteiros ou com mulching, técnicas de cobertura do solo. Aplicações de mulching, com coberturas opacas à luz solar de diferentes refletâncias (preto, branco, aluminizado), visam, entre outros aspectos, diminuir a competição com plantas invasoras, proporcionar um microclima mais favorável ao desenvolvimento da cultura e evitar o contato direto das folhas com o solo. Dentre as formas frequentemente utilizadas de mulching estão as coberturas com plástico preto e cobertura morta ou palhada. As amplitudes térmicas tendem a ser menores sob solo descoberto, enquanto as temperaturas médias para as plantas podem ser maiores ou menores dependendo das propriedades físicas do mulching (Henz *et al.*, 2009).

A alface também é cultivada a campo aberto no sistema orgânico, seguindo os preceitos básicos de adubação orgânica, como compostos e adubos verdes, e manejo de

doenças, insetos, artrópodes e plantas espontâneas de acordo com as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) ou de certificadoras (Resende *et al.*, 2007). O acompanhamento da produção e a auditoria pelas certificadoras são ferramentas importantes que garantem a origem e a qualidade dos produtos orgânicos, inclusive com um selo e rastreabilidade (Henz *et al.*, 2009).

Devido às limitações da produção em campo aberto, o cultivo protegido vem ganhando importância (Gualberto *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2014). Segundo Segovia *et al.* (1997), o cultivo em ambiente protegido é uma técnica que proporciona produção alta e de excelente qualidade, em comparação com o cultivo em campo aberto, devido às condições climáticas mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura ao longo do ciclo. Dantas e Escobedo (1998) verificaram que o cultivo de alface em ambiente protegido, tipo túnel, ofereceu melhores condições para o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura quando comparado ao sistema de cultivo em campo aberto.

Entretanto, para obter sucesso com o sistema de cultivo adotado, é fundamental escolher o cultivar adequado, já que o potencial produtivo da alface depende da interação genótipo x ambiente (Gualberto *et al.*, 2009). Segundo Yuri *et al.* (2004), os melhores cultivares são aqueles adaptados às condições da região de produção, pois cada um requer condições especiais de temperatura e fotoperíodo para a obtenção das características qualitativas desejáveis e de produtividade.

2.5 Manejo da Cultura

A alface caracteriza-se por ser uma planta de ciclo anual, florescendo (pendoamento) em dias longos e temperaturas altas, enquanto a fase vegetativa é favorecida por dias curtos e temperaturas amenas ou baixas. Quando cultivada em casa de vegetação, durante a primavera e o verão, beneficia-se do efeito guarda-chuva, que controla a quantidade de água na cultura, proporcionando redução considerável do ciclo e obtenção de folhas mais macias (Filgueira, 2007; Silveira, 2016).

A alface possui ampla área foliar e evapotranspiração intensa, além de um sistema radicular delicado e superficial, com alta capacidade de produção, tornando-a altamente exigente em água. Recomenda-se manter o teor de água útil do solo acima de 80%. A cobertura sobre o solo ajuda a manter o solo úmido e as temperaturas amenas, condições benéficas para a alface. O controle de plantas daninhas pode ser feito manualmente ou mecanicamente, atentando-se para a preservação do sistema radicular (Filgueira, 2007). O

uso de mulching também pode prevenir o ataque de fungos do solo e a competição com plantas daninhas (Hortifruti, 2014).

A condição ideal de temperatura para a produção de alface está entre sete e 24 °C, embora algumas cultivares sejam resistentes a geadas leves. Cultivares de inverno são recomendados para plantio de fevereiro a agosto, enquanto cultivares de verão podem ser plantadas durante todo o ano (Paula Júnior & Venzon, 2007). A alface adapta-se a solos de textura média e pH 6,0 (CQFS-RS/SC, 2016).

Para a produção de mudas, recomenda-se a semeadura em bandejas de isopor, com posterior transplante quando as mudas apresentarem quatro a seis folhas. O transplante através de raiz nua é desfavorável. O espaçamento utilizado para o transplante em canteiros é de 25-30 × 25-30 cm entre plantas; para o tipo Americana, recomenda-se espaçamento de 35 × 35 cm (Filgueira, 2007).

3. METODOLOGIA

O experimento foi realizado nas instalações da casa de vegetação da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), situadas no campus Laranjeiras do Sul, Paraná, localizado na BR 158. O município de Laranjeiras do Sul está enquadrado na zona climática identificada pela letra C, com o subtipo climático Cfb, de acordo com a classificação climática de Köppen. Este subtipo climático é caracterizado por apresentar um clima subtropical úmido. Os meses com as temperaturas mais elevadas na cidade são dezembro, janeiro e fevereiro, com uma média de 24,9°C, enquanto os meses mais frios são junho e julho, com uma média de 14,3°C.

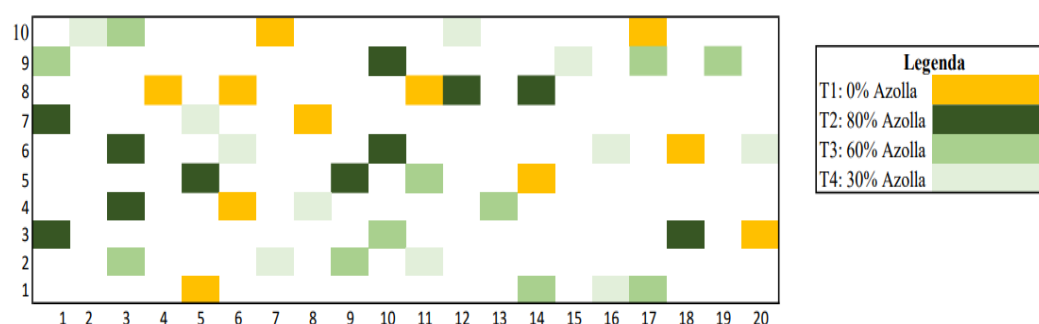
Para o experimento foi utilizada sementes de alface crespa Grand Rapids - TBR, da ISLA, com taxa de germinação de 98%, com análise realizada em 22/05/2023, comprada em estabelecimento de produtos agropecuários, e diferentes proporções de *Azolla pinnata* e como substrato inerte a vermiculita como substrato para a produção.

A cultura escolhida para o experimento foi alface devido ao curto período de germinação, facilidade na obtenção de sementes e de qualidade, alta capacidade de germinação, cultura de manejo conhecido.

O delineamento experimental adotado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro tratamentos e onze repetições, resultando em um total de 44 parcelas (Figura 10). Em cada tratamento, foram avaliadas seis plantas. As misturas de substratos

avaliados foram: Tratamento 1 (T1): 100% vermiculita; Tratamento 2 (T2): 80% *Azolla* e 20% vermiculita; Tratamento 3 (T3): 60% *Azolla* e 30% vermiculita e Tratamento 4 (T4): 30% *Azolla* e 70% vermiculita expandida.

Figura 10 - Disposição dos tratamentos utilizados nas bandejas, em experimento realizado de 09 de maio de 2024 a 03 de de junho de 2024, realizado na casa de vegetação na UFFS, campus Laranjeiras do Sul, PR.

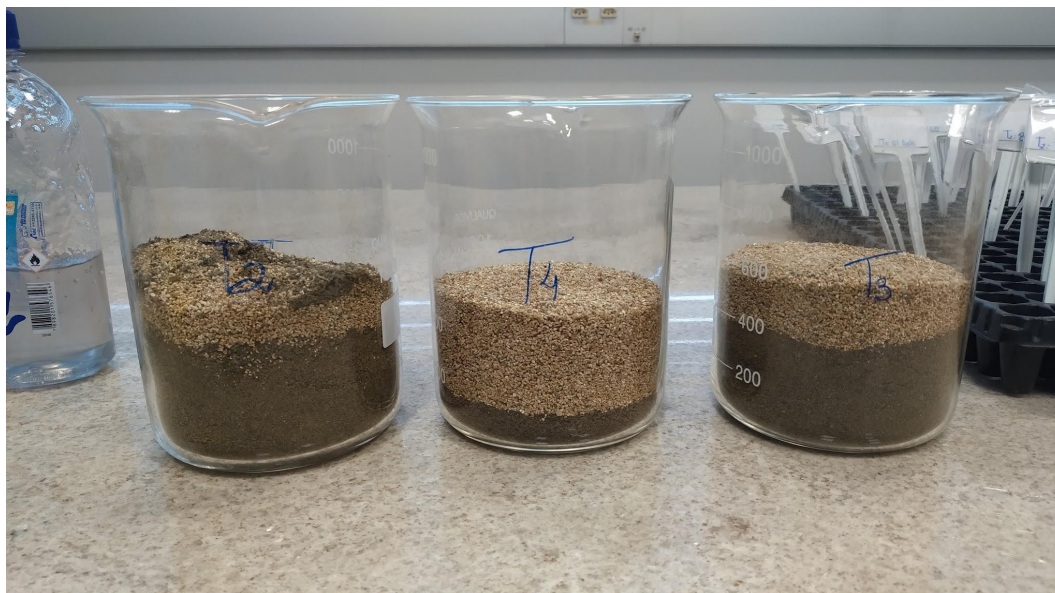


Fonte: Autora (2024).

Para realizar a proporção de porcentagem de vermiculita e *Azolla*, uma célula da bandeja foi preenchida com vermiculita, sendo pesada em balança analítica. Obtendo-se um valor de 2,76 g de vermiculita na célula, foi multiplicado por 11, sendo o resultado 30,36 g. Ou seja, em cada tratamento, se fosse composto apenas por vermiculita, seria necessário 30,36 gramas de vermiculita.

Com esse resultado foi realizado uma regra de 3, onde 30,36 g seria os 100% de cada tratamento, multiplicando 30,36 g por 80% e dividindo por 100%, obtivemos o valor de 24,28 g de *Azolla* para o tratamento 2. Para o tratamento 3, multiplicou-se 30,36 g por 60% e dividindo o resultado por 100%, tivemos o valor de 18,22 g de *Azolla*, para o tratamento. Já no tratamento 4 multiplicamos 30,36 g por 30% e dividindo o resultado por 100% obtivemos 9,11 g de *Azolla* para o tratamento (Figura 11).

Figura 11 - Proporção de macerado de *Azolla* e vermiculita utilizada nos tratamentos T2, T4 e T3, observe que a *Azolla* é a parte mais escura do Becker (fundo do Becker) e a vermiculita é a porção mais clara (superfície).



Fonte: Autora (2024).

A homogeneização do substrato foi realizada manualmente com auxílio de uma espátula, para compor o substrato. O tratamento 1, foi utilizado somente vermiculita, este foi considerado o testemunha. Para a produção das mudas foram semeadas três sementes de alface em cada célula na bandeja de poliestireno expandido de 200 células.

As mudas foram avaliadas aos 25 dias após a semeadura (DAS). Os parâmetros avaliados foram: comprimento de raiz (CR), comprimento da parte aérea (CA), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca radicular (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca radicular (MSR).

A medição da altura das mudas foi realizada com paquímetro digital em milímetros. A parte aérea foi separada das raízes e pesada em balança analítica eletrônica com precisão de 0,001 g. As massas secas da parte aérea e das raízes foram obtidas após secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingirem massa constante, sendo então pesadas em balança analítica eletrônica com precisão de 0,001 g.

O programa estatístico utilizado foi o Sisvar (versão 5.8, 2018) em que os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

4. Resultados e Discussão

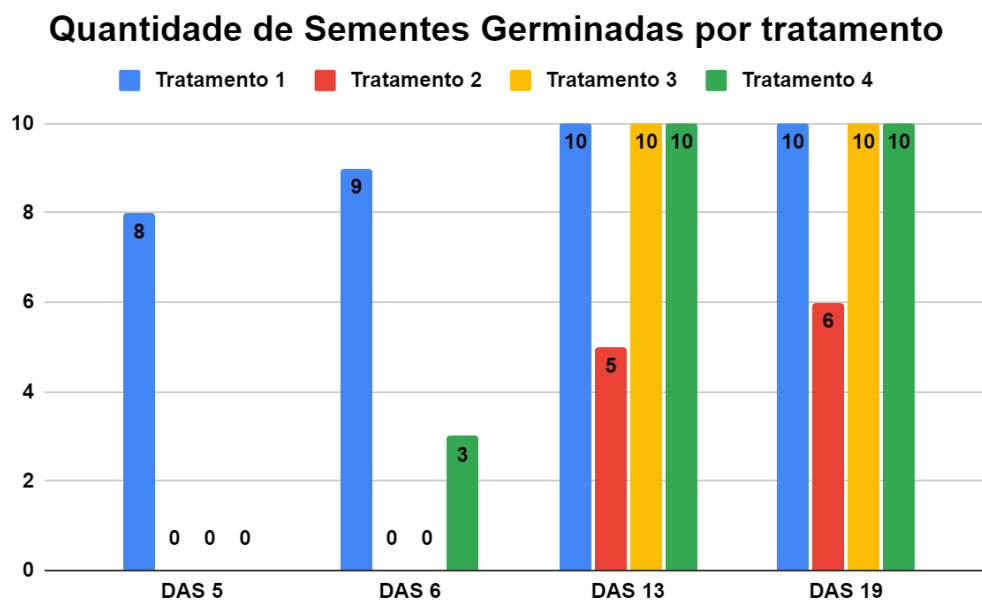
A compra de sementes é sempre uma preocupação, pois a forma de armazenamento e o tempo que esta semente está disponível pode alterar a sua qualidade, e consequentemente a formação das mudas é uma etapa fundamental e importante na produção de plantas, não só de hortaliças, mas de outras espécies, sendo que se mal formadas e debilitadas acabam prejudicando o seu ciclo, muitas vezes até tornando-se impróprias para o consumo (Nascimento *et al.*, 2016).

Para Tomio *et al.* (2021) o equilíbrio entre a qualidade da muda e os aspectos operacionais da produção em bandejas, estão relacionados a seleção do recipiente a utilizado, pois está ligado a condição nutricional da planta, desenvolvimento radicular, número de plântulas e pode diminuir o tempo de produção se bem planejado. Podemos considerar que produção de muda exige sementes de alta de germinação, substratos com qualidade nutricional capaz de dar suporte a jovem plântula em desenvolvimento e bandejas que permitam o melhor espaço de desenvolvimento.

Neste experimento a semente tinha como indicativo a taxa de germinação de 98% o que é considerado de excelente padrão. O tratamento 2 (80% *Azolla* e 20% vermiculita) apresentou o menor número de sementes germinadas (Gráfico 1).

Os valores de germinação obtidos no tratamento 2 indicam que o excesso de nitrogênio pode, nas fases iniciais, inibir o crescimento das raízes e, posteriormente, o desenvolvimento das folhas. A escassez de nitrogênio nos solos é o principal fator limitante na produção agrícola. No entanto, a adição desse elemento ao substrato utilizado para a produção de mudas pode provocar alterações na capacidade de troca catiônica (CTC) e, consequentemente, no pH. Essas mudanças podem criar condições desfavoráveis para a formação das plântulas (Barros *et al.*, 1999).

Gráfico 1- Número de sementes de alface (*Lactuca sativa*) germinadas, em dias após a semeadura (DAS).

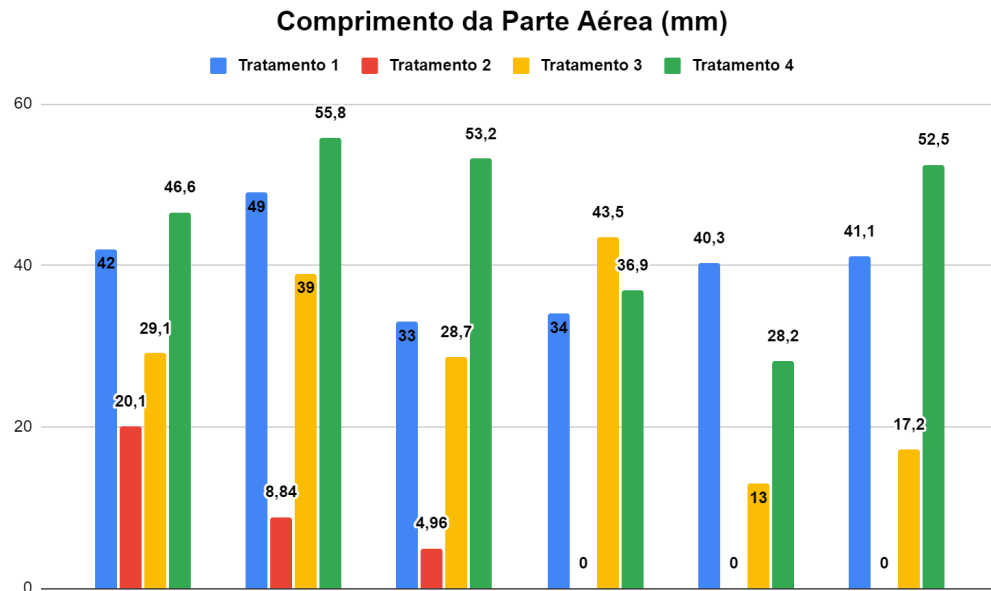


Fonte: Autora (2024).

Os parâmetros para uma boa muda estão relacionados ao vigor das raízes, saúde parte aérea que pode ser observada pela cor e tamanho e número de folhas. Em geral, as sementes em sua maioria não necessitam de adubação para germinar, pois utilizam a reserva para esta finalidade, a necessidade por nutrientes vem após esta fase, a mesma só precisará de nutrientes quando surge a primeira folha verdadeira, o ideal é que o substrato não retenha água e drene facilmente (Nascimento *et al.*, 2016).

Na coleta de dados ao longo experimento verificou-se que o alface no T4 seguido do T1 e T3 apresentaram os maiores tamanhos de folhas (Gráfico 2).

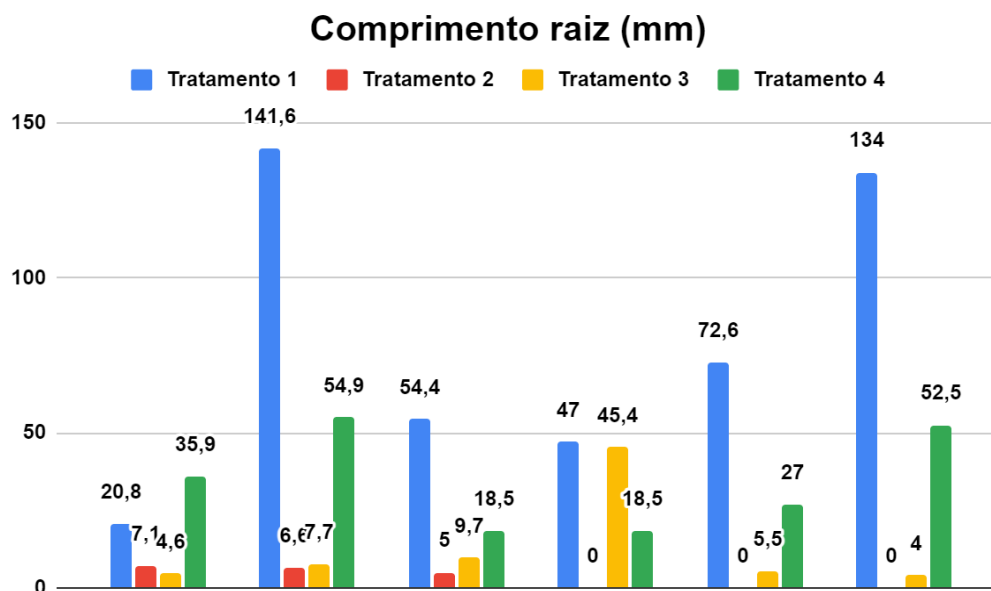
Gráfico 2- Comprimento da parte aérea do alface (*Lactuca sativa*) nos diferentes tratamentos, em experimento realizado de 09 de maio de 2024 a 03 de de junho de 2024, realizado na casa de vegetação na UFFS, campus Laranjeiras do Sul, PR.



Fonte: Autora (2024).

Para os dados de enraizamento (Gráfico 3) os maiores comprimentos foram observados para o T1, seguido do T4. Ao observarmos os tratamentos T2 e o T3 podemos verificar que em T2 o crescimento da raiz foi bem reduzido, (T2): 80% *Azolla* e 20% vermiculita. Oliveira *et al.* (2008) observaram que mudas de pimentão e alface apresentaram maiores quantidades de matéria seca quando foi utilizada vermiculita pura ou em uma proporção de 50% em mistura com substrato comercial. Negreiros *et al.* (2004) e Costa *et al.* (2009) destacaram as propriedades da vermiculita como um excelente condicionador do sistema radicular das mudas, devido à sua alta capacidade de retenção de água, resultante de sua elevada porosidade, promovendo assim um melhor desenvolvimento das mudas.

Gráfico 3- Comprimento da porção radicular de alface (*Lactuca sativa*) nos diferentes tratamentos, em experimento realizado de 01 de maio de 2024 a 28 de de junho de 2024, realizado na casa de vegetação na UFFS, campus Laranjeiras do Sul, PR.



Fonte: Autora (2024).

Ao observarmos as plântulas em desenvolvimento (Figura 12) podemos verificar que em T1 há um estiolamento do caule e alongamento das raízes, característico de plantas que se desenvolvem em água sem adição de nutrientes. O T2 e T3 tanto as folhas como as raízes apresentam-se reduzidas, contudo no T4 observa-se uma muda robusta com um bom número de raízes desenvolvidas aparentemente como melhores características para o tipo “mudão”. Entretanto as mudas do T3 seriam consideradas boas para serem utilizadas como mudas convencionais, assim como as do T1, mas não seriam adequadas para a categoria do tipo “mudão”. Segundo Backes *et al.* (1988), um elevado teor de sais solúveis pode causar queimaduras ou necrose das raízes, sendo essas condições resultantes das características intrínsecas do próprio substrato ou do excesso de adubação. De acordo com Menezes Júnior (1998), deve-se priorizar a adubação foliar, uma vez que a utilização de adubos granulados em substratos não assegura uma boa uniformidade na distribuição desses nutrientes nas células das bandejas. Essa irregularidade pode resultar tanto em deficiências nutricionais quanto em problemas de salinidade e/ou fitotoxicidade.

Figura 12 - As plântulas amostradas no experimento nos diferentes tratamentos T1, T2, T3 e T4, de alface (*Lactuca sativa*), 09 de maio de 2024 a 03 de de junho de 2024, realizado na casa de vegetação na UFFS, campus Laranjeiras do Sul, PR.



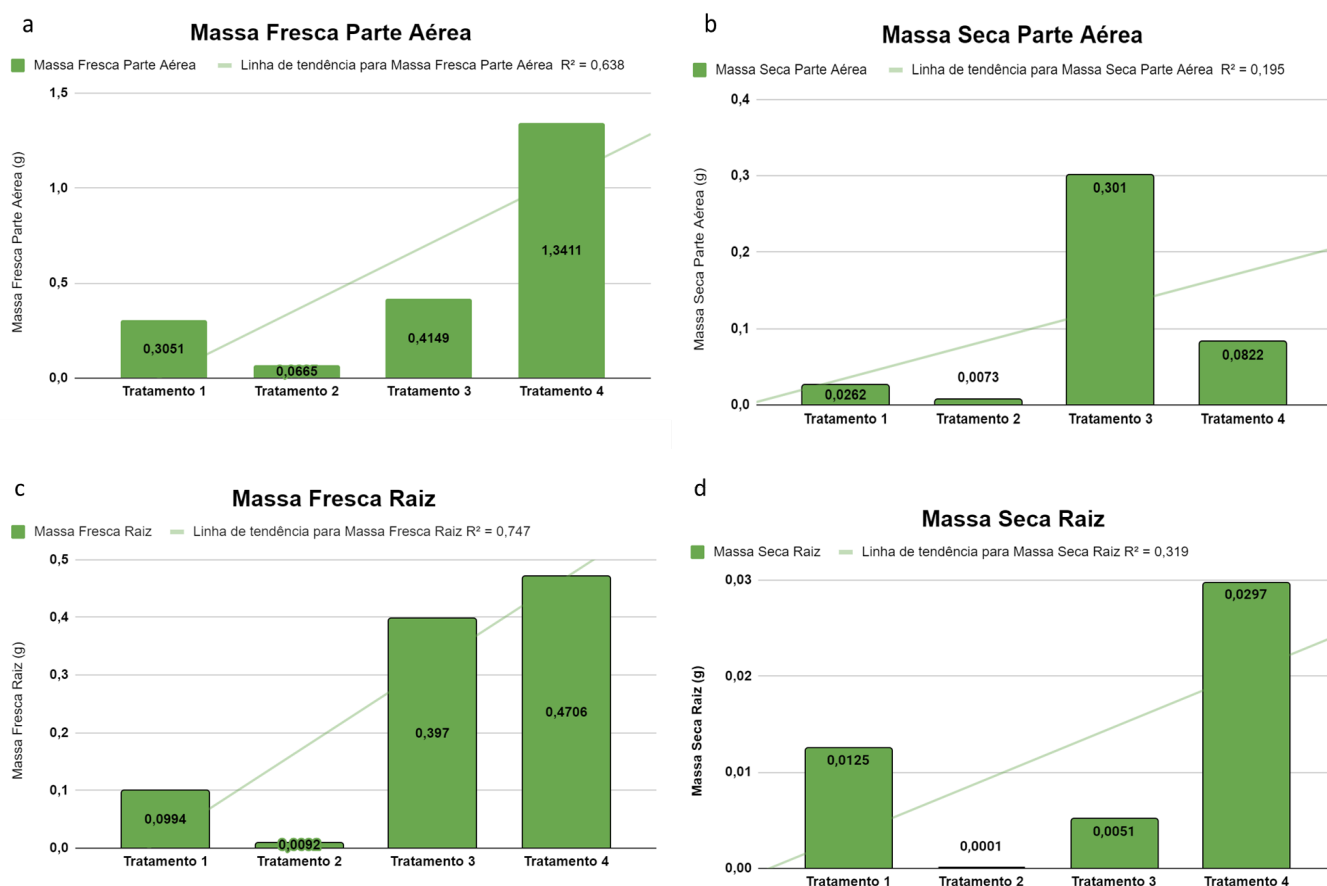
Fonte: Autora (2024).

Os resultados da análise de variância foram inconclusivos já que T2 não apresentou germinação, ainda o número de repetições não foram suficientes, Assim, estatisticamente não têm diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos em todas as características avaliadas. Na análise descritiva dos dados peso fresco e peso seco, tanto para folhas como raízes podemos observar que os T3 e T4 apresentaram os melhores desempenho.

De acordo com Silva Júnior *et al.* (1995), a concentração salina interfere no processo osmótico, o qual é controlado pela relação entre a concentração salina e o teor de água no solo (ou substrato). Conforme Malavolta (1981), uma alta concentração de sais solúveis na solução do solo pode causar a perda de água pelas raízes de uma planta jovem, devido à pressão osmótica do meio (solução do substrato) ser maior do que a do suco celular, o que pode levar à desidratação das raízes, causando danos permanentes e até a morte das plantas. No tratamento T2, o baixo espaço de aeração, proporcionado pela predominância de partículas menores, prejudicou o desenvolvimento radicular, provavelmente devido à dificuldade de difusão de oxigênio às raízes.

Esse fato resultou em menor peso de matéria seca do sistema radicular (Figura 13), o que não foi suficiente para garantir um bom desenvolvimento do sistema aéreo, observando-se menores pesos de matéria seca aérea e radicular. Esses dados estão de acordo com as observações de Handreck (1983), Bordas *et al.* (1988), e Souza *et al.* (1995), que relataram a influência do espaço de aeração das partículas e a necessidade de os substratos possuírem um espaço de aeração entre 10 e 20%, além dos efeitos prejudiciais decorrentes de valores abaixo dos recomendados. O menor vigor das raízes, observado posteriormente, pode ser explicado pela alta porosidade do substrato, que dificultou o armazenamento de água, resultando em uma alta lixiviação de nutrientes. Pois de acordo com, Maas (1984) e Ayers & Westcot (1991), conforme citados por Viana *et al.* (2001), classificam a alface como "moderadamente sensível" à salinidade, indicando que a produção sofre um decréscimo de 13% a cada incremento unitário de condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação acima de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$. Andriolo *et al.* (2005) constataram uma redução no crescimento e na produção de massa fresca de plantas de alface da cultivar Vera quando os níveis de salinidade excederam 2,0 e 2,6 dS m^{-1} , respectivamente.

Figura 13 - (a) Massa fresca parte aérea, (b) Massa Seca parte aérea referente, (c) Massa fresca parte raiz e (d) Massa Seca parte raiz medidos a partir de experimento nos diferentes tratamentos T1, T2, T3 e T4, de alface (*Lactuca sativa*), 09 de maio de 2024 a 03 de junho de 2024, realizado na casa de vegetação na UFFS, campus Laranjeiras do Sul, PR.



Fonte: Autora (2024).

A vermiculita é geralmente um excelente agente para melhorar as condições físicas do solo. Além disso, é quimicamente ativa, liberando íons de magnésio (Mg) na solução do solo e absorvendo fósforo e nitrogênio na forma amoniacal (Túllio Júnior *et al.*, 1986). Nesse contexto, o tratamento que obteve um melhor resultado em relação à massa fresca da raiz e da parte aérea foi o T4 (Figura 14), sendo também o que obteve um melhor resultado na massa seca da raiz. Seguido pelo T3, que obteve um resultado superior em massa fresca aérea, seguido pelo T1. Já o tratamento 1, obteve um resultado elevado em relação a matéria seca radicular.

5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Mais estudos são necessários para avançarmos na utilização de *Azolla pinnata*, como fonte de Nitrogênio em culturas.

Como sugestão a novos pesquisadores sugerimos que ao invés de macerar o material a ser incorporado, se macere o mínimo possível, para que a disponibilidade dos nutrientes ocorra lentamente quando usar concentrações maiores;

Que além de estudos de desenvolvimentos sejam feitos estudos morfológicos e químicos nas plantas que receberam tratamento com *Azolla*.

Para se obter uma conclusão mais precisa sobre os resultados obtidos, poderiam ser realizadas medidas de pH dos substratos preparados em diferentes concentrações, CTC (capacidade de troca catiônica) e condutividade elétrica.

Outras proporções entre a quantidade de vermiculita e a *Azolla* devem ser utilizadas e testadas e com outras plantas.

Outra sugestão seria testes em diferentes concentrações como extrato para aplicação foliar. Todavia, podemos observar que o melhor desenvolvimento na produção de mudas de alface está entre 30% e 60 % de *Azolla pinnata* considerando a massa fresca e seca de raiz.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, J.L.; LUZ, G.L.; WITTER MH; GODOI RS; BARROS GT; BORTOLOTO, OC. 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. **Horticultura Brasileira** 23: 931- 934.
- BACKES, M.A.; KÄMPF, A.N.; BORDAS, J.M.C. Substratos para a produção de plantas em viveiros. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 1988, Nova Prata. Anais... Nova Prata, Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul/Prefeitura Nova Prata, 1988. p. 665-675.
- BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de. Eucalipto. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.G.; ALVAREZ V.; V. H. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 303-305.
- BAUMGARTEN, A. Methods of chemical and physical evaluation of substrate for plants. In: FURLANI, A. M. C. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 7- 15. 2002. (IAC. Documentos 70).
- BORDAS, J.M.C.; BACKES, M.A.; KÄMPF, A.N. Características físicas e químicas de substratos comerciais. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 1988, Nova Prata. Anais... Nova Prata: Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul/Prefeitura Nova Prata, 1988. p. 427 - 435.
- BREZINSKI, C.R.; ABATI, J.; GELLER, A.; *et al.* **Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivos**. Disponível em: <
<https://www.scielo.br/j/rceres/a/MBRpyFXpVC3SHX6DPHkSFbh/abstract/?lang=pt>>.
Acesso em 18 de mai. de 2024.
- CAMARGO FILHO, W.P; MAZZEI, A.R. **Mercado de verduras: planejamento e estratégia na comercialização**. Informações Econômicas. 2001.
- CAÑIZARES, K.A.; COSTA, P.C.; GOTO, R.; VIEIRA, A.R.M. Desenvolvimento de mudas de pepino em diferentes substratos com e sem uso de solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.227-229, 2002.
- CARRIJO, D. A.; SETTI de LIZ, R.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.
- CASALI, V.W.D.; SILVA, R.F.; RODRIGUES, J.J.V.; *et al.* **Anotações sobre produção de alface**. Viçosa: UFV. 24p. FERREIRA PV. 2000. Estatística experimental. 1980
- COSTA, C.P.; SALA, F.C. A evolução da alfaticultura brasileira. **Horticultura Brasileira** 23. 2005.

COSTA E. et al. Efeitos da ambiência, recipientes e substratos no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-amarelo em Aquidauana - MS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 01, p. 236-244, 2009.

ECHER, M.M.; ARANDA, A.N.; BORTOLAZZO, E.D.; BRAGA, J.S.; TESSARIOLI NETO, J. Efeito de três substratos e dois recipientes na produção de mudas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, suplemento, p.509-511, 2000.

FAVARATO, L. F.; GUARÇONI, R. C.; SIQUEIRA, A. P. (2017). Produção de alface de primavera/verão sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Científica Intelecto**, v. 02, p. 16-28, 2017.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FILGUEIRA, F. A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3ª ed. ver. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007.

FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; BARROS, H. B.; VAZ-DE-MELO, A.; ABRAHÃO, W. A. P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v 44, p. 159-166, 2013.

GOMES, T.M.; MODOLO, V.A.; BOTREL, TA; et al. Aplicação de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, 2005.

GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, O.S.; GUIMARÃES, A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de alface do grupo crespa em cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, 2009.

HANDRECK, K.A. Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, v. 14, n. 3, p. 209 - 222, 1983.

HENZ, G.P.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. Brasília, **Embrapa Hortaliças**. Comunicado Técnico 75, Brasília, 7 p. 2009.

HORTIFRÚTI. Uso de mulching no controle de plantas daninhas em alface. **Revisa campo e negócios**, 2014. Disponível em: <http://www.revistacampoenegocios.com.br/uso-de-mulching-no-controle-de-plantas-daninhas-em-alface/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

LÉDO, F.J.S.; SOUSA, J.A.; SILVA, M.R. Desempenho de cultivares de alface no Estado do Acre. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, 2000.

LOPES, J. C. *et al.* Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 143-147, 2005.

- MALDONADE, I. R.; MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L. **Manual de boas práticas agrícolas na produção de alface**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2014. 44 p. (Documentos).
- MEDEIROS, L. A. M. et al. Crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa*) conduzida em estufa plástica com fertirrigação em substratos. **Ciência Rural**, v. 31, n. 2, p. 199- 204, 2001.
- MENEZES JÚNIOR, F.O.G. Caracterização de diferentes substratos e seu efeito na produção de mudas de alface e couve-flor em ambiente protegido. Pelotas: UFPel, 1998. 142 p. (Tese mestrado).
- NADAI, F. B.; MENEZES, J. B. C.; CATÃO, H. C. R. M.; ADVÍNCULA, T.; COSTA, C. A. Produção de mudas de tomateiro em função de diferentes formas de propagação e substratos. **Revista Agro@mbiente** On-line, Boa Vista, v. 9, n. 3, p. 261-267, 2015. DOI:<https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2348>. Acesso em: 05 jul. 2024.
- NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P.; CANTLIFFE, Daniel James. Qualidade das sementes e estabelecimento de plantas. In: NASCIMENTO, Warley Marcos; PEREIRA, Ricardo Borges. **Produção de mudas de hortaliças**, ed.1, Brasília, DF, Embrapa, 2016, p. 55 – 86. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212768/1/Producao-de-Mudas-deHortalicas.pdf> . Acesso em: 18 mai. 2024.
- NEGREIROS, J. R. S. *et al.* Diferentes substratos na formação de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Ceres*, v. 51, n. 294, p. 243-249, 2004.
- OLIVEIRA, A. B. de.; HERNANDEZ, F. F. F.; ASSIS JUNIOR, R. N. de. Pó de coco verde, uma alternativa de substrato na produção de mudas de berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 39-44, 2008.
- OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B.; VASCONCELLOS, L.A.B.C. Avaliação de mudas de maracujazeiro em função do substrato e do tipo de bandejas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, n.2, p.261-266, 1993.
- PAULA JUNIOR, T. J, de; VENZON, M. 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas, 38p. **EMBRAPA-CNPSA**. Circular Técnica 16. Belo horizonte, EPAMIG, 2007.
- REIS, M. Material Vegetal e Viveiros. In: MOURÃO, Isabel de Maria, **Manual de horticultura no modo de produção biológico**, Refóios, Portugal, 2007, p. 19 - 52. Disponível em: <https://docplayer.com.br/2821015-Manual-de-horticultura-no-modo-deproducao-biologico.html> . / Acesso em: 18 mai. 2024.
- RESENDE, F.V.; SAMINÊZ, T.C.O.; VIDAL, M.C.; et al. Cultivo de alface em sistema orgânico de produção. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2007. Circular Técnica, 56. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/780841/1/alface-organico-CT56-2007.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2024.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. 'Gloriosa': cultivar de alface americana tropicalizada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, 2008.

SCHAFER, Valdir Francisco. Produção de alface na região mesoclimática de Santa Maria, RS. 2009. 68 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Agronomia, Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-10092009-101726/pt-br.php> . Acesso em: 18 mai. 2024.

SEGOVIA, J. F. O. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 37-41, jan./mar. 1997.

SILVA, B.A; SILVA, A.R.D.; PAGIUCA, L.G. Cultivo protegido: em busca de mais eficiência produtiva. **Hortifruti Brasil**, 2014.

SILVEIRA, F. C. G. Desempenho de genótipos de alface-crespa em diferentes ambientes de cultivos, no município de Igarapava-SP, **Dissertação**. Jaboticabal, 34 p. 2016.

SOUZA, M.M.; LOPES, L.C.; FONTES, L.E.F. Avaliação de substratos para o cultivo de crisântemo (*Chrysanthemum morifolium* Ramat., Compositae) "White Polaris" em vasos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 1, n. 2, p. 71 - 77, 1995

TÚLLIO JR, A.A.; NOGUEIRA, R.R.; MINAMI, K. Uso de diferentes substratos na germinação e formação de mudas de pimentão (*Capsicum annum* L.). O Solo, Piracicaba, n. 78, p. 15-18, 1986.

UGARTE, J. F. O.; JOÃO A. S.; SILVIA, C. A. F. "**Vermiculita**". CETEM/MCTI, 2008.

VIANA SBA; FERNANDES PD; GHEYI HR. 2001. Germinação e formação de mudas de alface em diferentes níveis de salinidade de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 5: 259-264.

YURI, J.E.; RESENDE, G.M.; MOTA, J.H.; *et al.* Comportamento de cultivares de alface americana em Santana da Vargem. **Horticultura Brasileira**, 2004.