

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
ÊNFASE EM GESTÃO AMBIENTAL MARINHA E COSTEIRA**

JANAÍNA SILVEIRA DA ROSA

**DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE CULTIVO DO MUSGO
Sphagnum perichaetiale HAMPE PARA FINS DE FITORREMEDIAÇÃO**

**IMBÉ
2024**

JANAÍNA SILVEIRA DA ROSA

**DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE CULTIVO DO MUSGO
Sphagnum perichaetiale HAMPE PARA FINS DE FITORREMEDIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Profa. Dra. Alice Pita Barbosa

Coorientadora: Profa. Dra. Juçara Bordin

IMBÉ

2024

Catálogo de Publicação na Fonte

R789d Rosa, Janaína Silveira da.
Determinação das condições ótimas de cultivo do musgo *Sphagnum perichaetiale* Hampe para fins de fitorremediação / Janaína Silveira da Rosa. – Imbé, 2024.
28 f.

Orientador: Profa. Dra. Alice Pita Barbosa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) –Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira, Unidade em Osório (Uergs) e Imbé (UFRGS), 2024.

1. Briófitas. 2. Cultivo. 3. Desenvolvimento vegetal. 4. pH. 5. Substrato. 6. Sustentabilidade. I. Barbosa, Alice Pita. II. Título.

JANAÍNA SILVEIRA DA ROSA

**DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE CULTIVO DO MUSGO
Sphagnum perichaetiale HAMPE PARA FINS DE FITORREMEDIAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas, ênfase em Gestão Ambiental Marinha e Costeira na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, convênio Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Profa. Dra. Alice Pita Barbosa

Coorientadora: Profa. Dra. Juçara Bordin

Aprovada em: 06 / 02 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Advânio Inácio Siqueira
Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA

Dra. Cacinele Mariana da Rocha
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

AGRADECIMENTOS

Mãe, sua dedicação incansável, amor incondicional e garra são minha inspiração diária. Sua presença constante foi meu refúgio e força nos momentos desafiadores, sem a tua ajuda e suporte eu jamais conseguiria me formar em uma universidade pública.

Irmã, sua compreensão e cuidado com a mãe durante esses anos em que estive longe foi fundamental, se eu não desisti dessa jornada foi porque tu conseguiu segurar as pontas em casa.

Tiago, meu melhor amigo e amor, sua paciência, carinho e encorajamento foram essenciais para meu equilíbrio emocional. A sua presença torna cada vitória mais doce e cada desafio mais superável.

Família, a base do meu apoio, cada um de vocês contribuiu de maneira única para o meu crescimento e sucesso.

Orientadoras ou “mães científicas”, vocês foram fundamentais no meu caminho acadêmico. Alice, sua presença, suporte (muitas vezes emocional), ensinamento, disponibilidade e confiança foram cruciais para mim em diversos momentos, obrigada por me receber na tua casa desde o início deste trabalho, por me escutar e compartilhar diversos aprendizados. Juçara, o meu despertar científico foi graças a ti, obrigada por me apoiar, confiar e estar comigo do início ao fim da faculdade (inclusive remotamente durante a pandemia de COVID-19). Sou imensamente grata pela oportunidade de aprender com vocês.

Amigos, a alegria compartilhada, risadas partilhadas e apoio mútuo foram essenciais nesta jornada. Cada abraço, palavra e gesto de apoio foram cruciais para meu êxito. Vocês são pilares fundamentais da minha vida.

A conquista que alcancei não teria sido possível sem o amor, apoio e orientação que recebi de cada um. A todos vocês, meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

As briófitas são plantas diminutas avasculares importantes como bioindicadoras das condições ambientais. A família Sphagnaceae se destaca devido a ocorrência de espécies com características histológicas peculiares, que garantem grande capacidade de absorção de água e, conseqüentemente, solutos. Assim, seu potencial como fitorremediadoras também vem sendo estudado. O uso da biomassa seca do musgo *Sphagnum perichaetiale* Hampe (Sphagnaceae, Bryophyta) tem se apresentado como uma possibilidade simples, eficiente e sustentável para a produção de filtros fitorremediadores de uso doméstico e industrial. Porém, a extração de espécimes de seu habitat natural para este fim não é recomendada, visto que pode impactar negativamente as populações, causando seu declínio. Dessa forma, é primordial o desenvolvimento de protocolos de cultivo de *S. perichaetiale* para produção de biomassa seca, possibilitando seu uso em larga escala. Este estudo visou identificar as condições ótimas de cultivo em ambiente interno, mas sob luz difusa natural, do *S. perichaetiale*. Foi conduzido um experimento utilizando diferentes combinações de substratos de cultivo e níveis de pH, sendo realizadas análises de crescimento e micromorfométricas para avaliar quais condições são mais favoráveis para o cultivo. Verificou-se que o substrato de cultivo 'cascalho' propiciou maior incremento da taxa de crescimento absoluto da área de cobertura, em comparação aos demais substratos. O pH, por sua vez, não apresentou efeito significativo sobre o cultivo, nas condições utilizadas. Esse estudo é fundamental para preencher lacunas no conhecimento sobre o cultivo de *S. perichaetiale*, explorando seu potencial na produção sustentável de biomassa fresca com aplicações em fitorremediação e outros processos biotecnológicos.

Palavras-chave: Briófitas. Cultivo. Desenvolvimento vegetal. pH. Substrato. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Bryophytes are tiny avascular plants that serve as important bioindicators of environmental conditions. The Sphagnaceae family stands out due to the occurrence of species with peculiar histological characteristics, ensuring a high capacity for water absorption and, consequently, solutes. Therefore, their potential as phytoremediators is also being studied. The use of dried biomass from the moss *Sphagnum perichaetiale* Hampe (Sphagnaceae, Bryophyta) has emerged as a simple, efficient, and sustainable option for the production of phytoremediation filters for both domestic and industrial use. However, the extraction of specimens from their natural habitat for this purpose is not recommended, as it can negatively impact populations, leading to their decline. Thus, the development of cultivation protocols for *S. perichaetiale* to produce dried biomass on a large scale is crucial. This study aimed to identify optimal cultivation conditions in an indoor environment, but under natural diffuse light, for *S. perichaetiale*. An experiment was conducted using different combinations of growing substrates and pH levels, with growth and micromorphometric analyses to assess the most favorable conditions for cultivation. It was found that the 'gravel' growing substrate led to a greater increase in the absolute growth rate of the coverage area compared to other substrates. pH, on the other hand, did not have a significant effect on cultivation under the conditions used. This study is essential to fill gaps in knowledge about *S. perichaetiale* cultivation, exploring its potential in sustainable biomass production with applications in phytoremediation and other biotechnological processes.

Keywords: Bryophytes. Cultivation. Plant development. pH. Substrate. Sustainability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 COLETA DO MATERIAL BIOLÓGICO	11
3.2 ACLIMATAÇÃO DOS ESPÉCIMES	12
3.3 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	12
3.4 ANÁLISES DE CRESCIMENTO E MICROMORFOMÉTRICAS	15
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	16
4. RESULTADOS	17
5. DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÃO	24
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
APÊNDICE - SCRIPTS DO AMBIENTE ESTATÍSTICO R COM AS ANÁLISES E FIGURAS APRESENTADAS	29

1. INTRODUÇÃO

As briófitas são plantas diminutas e avasculares que podem se desenvolver em diferentes tipos de substratos e habitats, ocorrendo em todos os ecossistemas terrestres (FRAHM *et al.*, 2003), bem como aquáticos. A fase gametofítica é a predominante, de modo que a absorção de água e nutrientes ocorre por toda superfície do gametófito, o qual não possui células epidérmicas cobertas por cutícula (camada hidrofóbica presente em esporófitos de algumas briófitas e traqueófitas, responsável pela proteção contra desidratação). Dessa forma, uma vez em contato com a superfície do gametófito, água e poluentes são absorvidos integralmente, o que faz das briófitas boas bioindicadoras das condições ambientais (FRAHM *et al.*, 2003). As briófitas ocorrem normalmente em ambientes úmidos, por serem poiquilohídricas (não possuem mecanismos que regulam os níveis de hidratação, podendo tolerar variações consideráveis na quantidade de água em seus tecidos) (PROCTOR, 2009) e por possuírem dependência da água para a reprodução sexuada e germinação dos esporos. Nas florestas tropicais são mais abundantes e diversas, porém, podem ser encontradas desde regiões polares até áreas mais áridas, incluindo desertos (GLIME, 2017).

Briófitas representam o segundo maior grupo de plantas terrestres, tendo sido sendo consideradas as primeiras plantas a ocuparam este ambiente e o grupo vivente mais próximo ao ancestral comum de embriófitas (superdivisão Embryophyta). O modelo filogenético atual propõe que plantas dessa superdivisão constituem um grupo monofilético, com duas linhagens irmãs compostas pelas divisões Bryophyta e Tracheophyta (briófitas e traqueófitas, respectivamente) (HARRIS *et al.*, 2022). O grupo das briófitas abrange três divisões do Reino Plantae: Marchantiophyta (hepáticas) (CRANDALL-STOTLER; STOTLER; LONG, 2009), Bryophyta (musgos) (GOFFINET, 2008) e Anthoceroophyta (antóceros) (RENZAGLIA; VILLARREAL; DUFF, 2008; STOTLER; CRANDALL-STOTLER, 2005). Em um contexto global, as briófitas estão representadas por cerca de 18.150 espécies (GOFFINET, 2008) e, segundo a Flora e Funga do Brasil (2024), o território brasileiro abriga 1.612 espécies da brioflora.

A família Sphagnaceae, pertencente à divisão Bryophyta, é monotípica, ou seja, possui um único gênero - *Sphagnum* L., com número estimado entre 150 e 450 espécies no mundo (MICHAELIS, 2019), ocorrendo preferencialmente em ambientes

úmidos e alagados, sendo os principais representantes das turfeiras (CRUM; BUCK, 1988). As turfeiras são mais abundantes em altas latitudes e no hemisfério norte. Diversas espécies de *Sphagnum* são de grande relevância nesse ecossistema, uma vez que são pioneiras na colonização da superfície do solo, o qual se caracteriza por espessas camadas de matéria orgânica (MO) e elevada acidez, onde a produção vegetal excede a decomposição (TURETSKY *et al.*, 2015). Além disso, plantas do gênero *Sphagnum* são fundamentais para sustentar esse ambiente, formando uma turfa ácida, provendo isolamento térmico e lenta permeabilidade à água (ROCHEFORT, 2009). A extração desses musgos das turfeiras pode causar erosão dos solos, descaracterização da paisagem e diminuição no volume de água absorvida e retida na cobertura, enquanto, a longo prazo, podem evoluir para diminuição da recarga de aquíferos e alteração das características químicas da água (de ótima para situações de contaminação) e do microclima. Assim, a atividade de remoção de *Sphagnum* do seu habitat tem fortes consequências sobre a conservação da biodiversidade local (MENDES; DIAS, 2001)

Sphagnum é um gênero representado por musgos que apresentam uma combinação singular de dimorfismo dos filídios (filídios do caulídio e filídios do ramo), dos ramos (ramos rastejantes e ramos pendentes) e das células (células clorofiladas vivas e células hialinas mortas) (MICHAELIS, 2019). Além disso, possuem outra característica peculiar: uma alta eficiência de absorção e armazenamento de água nas células hialinas, as quais possuem grandes poros nas paredes voltadas para a superfície. Isso faz com que, dificilmente, essas espécies se decomponham quando na presença de condições saturadas de água (MICHAELIS, 2019). Essas plantas são de grande importância econômica, uma vez que são encontradas em áreas de turfeiras, podendo ser utilizadas na agricultura, especialmente como aditivos no solo ou substrato para o cultivo de outras plantas e fungos; na produção de energia, como um tipo de biocombustível; e no mercado das plantas, sendo comercializadas para usos diversos incluindo a jardinagem e o uso em aquários e terrários (ROCHEFORT, 2009; GLIME, 2017).

No Brasil ocorrem 79 espécies de *Sphagnum*, das quais 53 são endêmicas (COSTA, 2024). Estudos com a espécie *Sphagnum perichetiale* Hampe vêm se destacando positivamente na aplicação à fitorremediação (SILVEIRA, 2021; TESSER *et al.*, 2021; THOLOZAN *et al.*, 2023). Este é um processo que se refere ao uso de plantas para a descontaminação de ambientes poluídos, a fim de reduzir os

teores dos compostos tóxicos a níveis seguros à saúde humana e do ecossistema. É uma biotecnologia já aplicada em alguns países desenvolvidos, possui baixo custo e grande versatilidade por remediar vários contaminantes simultaneamente (TAVARES, 2013). Recentemente, foi demonstrado que é possível remover cromo, ferro, nitrogênio, fósforo (TESSER *et al.*, 2021) e 17 α -etinilestradiol (SILVEIRA, 2021) de soluções utilizando *S. perichetiale* na forma de biomassa seca ou fresca, na forma de um filtro ou como almofada ou sachê filtrantes. Estes produtos, bem como a técnica utilizada para seu desenvolvimento, geraram um depósito de patente de invenção registrada junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) (número BR 10 2018 071745 6) e um pedido de adição de patente (número BR 13 2022 013934 1).

Visto que as possibilidades de uso de filtros fitorremediadores em residências e indústrias é grande, devido seu baixo custo e alta eficiência, bem como os problemas relacionados à extração de *Sphagnum* de seu habitat natural, torna-se necessário o desenvolvimento de um protocolo de cultivo da espécie *S. perichaetiale* para produção de biomassa seca, que possibilite seu uso em larga escala. Diversos pesquisadores vêm realizando estudos sobre cultivo e desenvolvimento de espécies de *Sphagnum*, dentre os quais destacam-se: Hugron & Rochefort (2018) que cultivaram *Sphagnum* originários de turfeiras naturais do Canadá, a fim de testar se os exemplares cultivados têm o mesmo potencial de regeneração quando revegetados; Krebs *et al.* (2018), que compararam o crescimento de espécies coletadas, através de cortes nos ramos, em áreas geladas da Alemanha, com outras espécies de áreas temperadas, mostrando que não houve variação no crescimento; Silvan *et al.* (2017), que descreveram um método de coleta e monitoramento *in loco* de biomassa de *Sphagnum* spp. na Finlândia, na qual com uma amostra de até 30 cm se garante reservas de musgos para recuperação do solo em até 30 anos.

Considerando-se o potencial do *S. perichaetiale* para a produção de um produto biotecnológico de grande relevância ambiental e econômica e a importância de se determinar as condições ótimas para seu cultivo em ambiente fechado, sob luz difusa natural, este projeto buscou testar a hipótese de que as melhores taxas de crescimento e produção de biomassa seca do musgo *S. perichaetiale* ocorrerão em condições que se assemelham às condições naturais encontradas no local de origem de coleta, isto é, sobre substrato contendo mistura de areia acrescida de matéria orgânica (MO) e pH mais ácido.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar as melhores condições de cultivo em ambiente fechado, sob luz difusa natural, do musgo *S. perichaetiale* em termos de substratos e pH.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar as taxas de crescimento e aspectos anatômicos do musgo *S. perichaetiale* entre os diferentes tratamentos (combinações de substratos e pH).
- Selecionar as melhores condições de substratos e pH que, combinados, garantam o maior crescimento.
- Estabelecer a razão de rendimento para a produção da biomassa seca a partir da biomassa fresca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DO MATERIAL BIOLÓGICO

O estudo foi realizado com a espécie de musgo *S. perichaetiale*, a qual foi coletada no município de Imbé, Rio Grande do Sul, em um fragmento de restinga situado no Centro de Estudos Costeiros Limnológicos e Marinhos - CECLIMAR (29°38'32" Sul e 50°08'15" Oeste). O solo do local foi previamente analisado em laboratório em relação ao pH (TEIXEIRA *et al.* 2017) e teor de MO (ALLEN, 1989). Foram coletadas leivas de 20 x 20 cm, com cerca de 5 cm de solo agregado. Posterior à confirmação da identificação da espécie, um *voucher* foi incorporado ao acervo do Herbário Dr. Ronaldo Wasum da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – Litoral Norte (HERW).

Todos os procedimentos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, em vista do acesso ao Patrimônio Genético, foram devidamente cadastrados junto ao Conselho de Gestão do Patrimônio Genético, sob o nº AD270A0, em atendimento às exigências da Lei nº 13.123/2015.

3.2 ACLIMATAÇÃO DOS ESPÉCIMES

Os espécimes coletados foram separados em leivas de aproximadamente 5 x 5 cm, acondicionados em 36 aquários de medida 20 x 20 cm com substrato natural (originário da coleta) e dispostos na bancada do experimento. Durante o período de 58 dias, os aquários foram movimentados na vertical e horizontal duas vezes a cada 7 dias (conforme a explicação a seguir) (Figura 1). A irrigação foi realizada com 2,50 ml de água deionizada uma vez a cada 7 dias, em cada um dos aquários.

A fim de manter o microclima úmido, os aquários foram individualmente cobertos com plástico de 40 x 35 cm, de modo que os lados com a medida maior eram fixados, possibilitando a troca de gases com o meio externo.

3.3 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

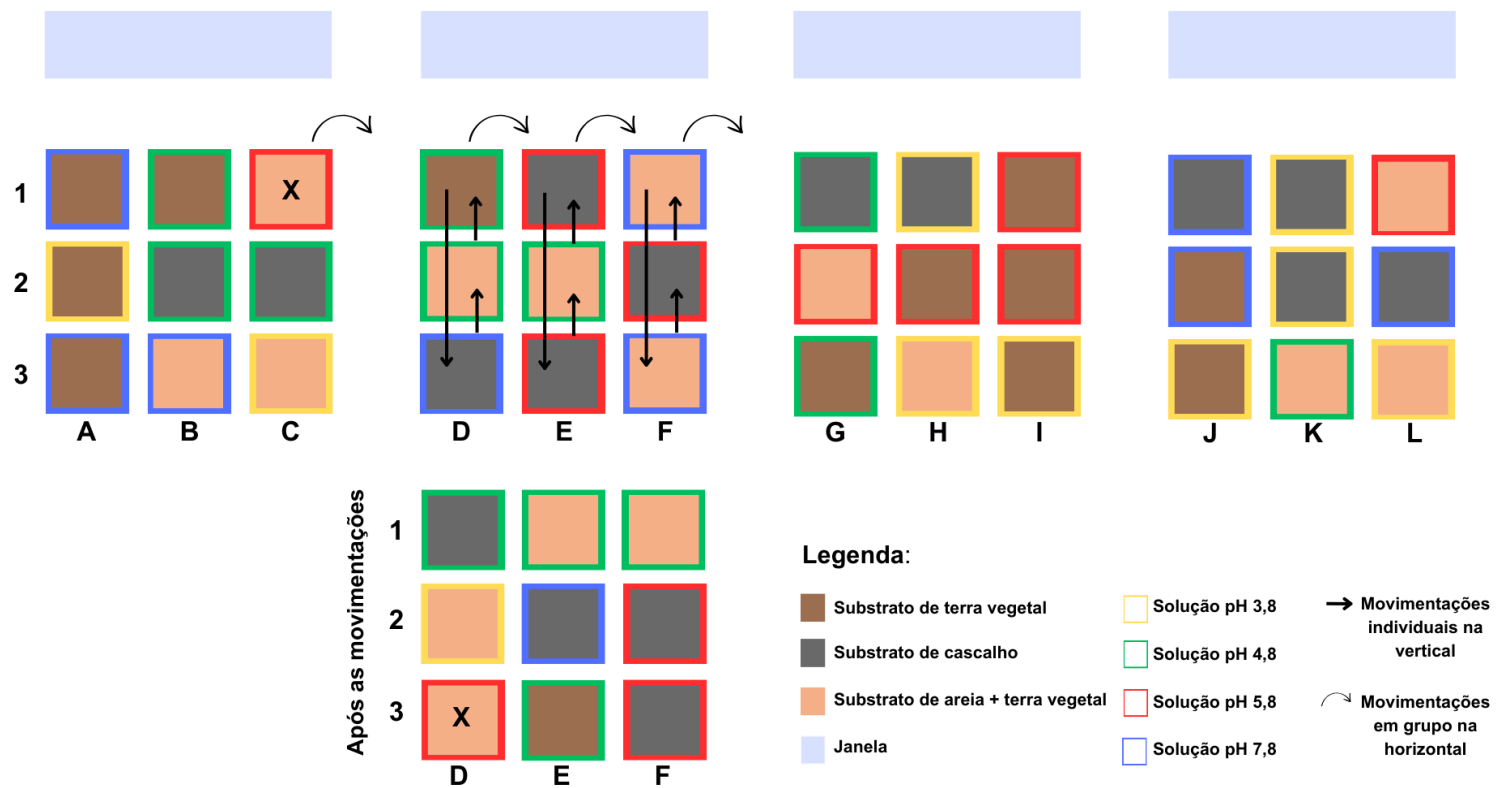
O cultivo foi baseado em Gaudig *et al.* (2014) com modificações. Após o tempo de aclimação, os espécimes do musgo *S. perichaetiale* foram cultivados separadamente nos aquários sob diferentes combinações de substratos e pH.

Foram avaliados três tipos de substrato de cultivo: 1) mistura contendo 75% de areia fina lavada e 25% de substrato de terra vegetal (simulando o ambiente originário da espécie); 2) substrato de terra vegetal pura contendo 81% de MO (ALLEN, 1989) (simulando uma condição de alto teor de MO, conforme encontrado nas turfeiras); 3) cascalho de basalto (simulando uma condição neutra sem MO). Além disso, também foi testado o efeito do pH, por meio da aplicação semanal de solução nutritiva (HOAGLAND; ARNON, 1950) com os diferentes níveis de pH: 1) solução mais ácida com pH 3,8; 2) solução ácida com pH 4,8; 3) controle com pH 5,8; 4) solução alcalina com pH 7,8. A solução nutritiva foi diluída 20 vezes, ajustada com os referidos valores de pH com o auxílio de um pHmetro. Foi aplicado, uma vez a cada sete dias, o volume de 1,50 ml com borrifador.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC). Os aquários foram dispostos de forma aleatória em uma bancada com iluminação natural incidente, por aproximadamente 4 horas, no período da manhã (Figura 2a). A fim de garantir que a radiação luminosa fosse similar entre os tratamentos, houve duas movimentações, tanto na horizontal, quanto na vertical, simultaneamente, repetindo-se essas ações duas vezes no intervalo de sete dias conforme

apresentado na Figura 1. Os tratamentos foram compostos pelas combinações de substrato e pH, resultando em um fatorial 3 x 4 (três níveis de substratos e quatro níveis de pH, totalizando 12 tratamentos), com três repetições por tratamento (cada aquário correspondeu a uma unidade experimental). O experimento teve a duração de 84 dias, tempo suficiente para detectar diferenças no crescimento das plantas.

Figura 1 - Representação esquemática do delineamento experimental. Para exemplificar a movimentação dos aquários, observar o aquário da posição C1 (X) que, após o movimento, ocupará a posição D3. Este mesmo padrão de movimentação se repetiu 23 vezes ao longo de todo experimento, possibilitando uma distribuição homogênea da incidência luminosa sobre as repetições.



Fonte: Autora (2023)

3.4 ANÁLISES DE CRESCIMENTO E MICROMORFOMÉTRICAS

A avaliação do crescimento foi realizada através de medições da área de cobertura das amostras. Para isso, as amostras foram fotografadas no início e ao final do experimento, e analisadas no programa ImageJ (RASBAND, 1997), no qual aferiu-se uma escala e traçado a mão livre um polígono ao redor da cobertura da amostra (Figura 2b). A taxa de crescimento foi calculada de acordo com as fórmulas (BENINCASA, 2003):

$$\text{Taxa de crescimento absoluto (TCA)} = \frac{\text{Final} - \text{Inicial}}{\Delta t}$$

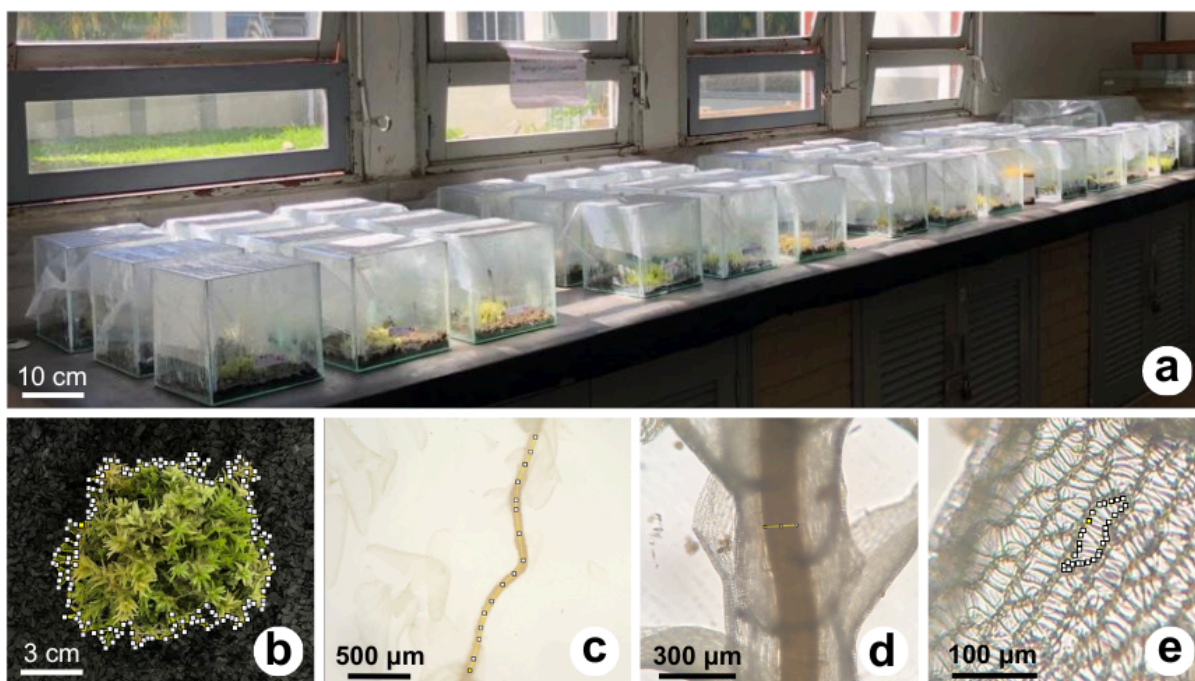
Os termos “Final” e “Inicial” correspondem aos valores de área de cobertura (cm²) no início e término do experimento. Δt corresponde ao intervalo de tempo entre as avaliações.

O rendimento de biomassa seca a partir da biomassa fresca foi realizado através da coleta e pesagem de ramos que não possuíam contaminação por substrato, para a determinação de sua biomassa fresca. Após, as amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 63 °C e pesadas, para obtenção da biomassa seca. A seguir, as amostras eram secas a 105 °C e novamente pesadas. A razão entre a biomassa seca a 63 °C e a biomassa fresca resultou na razão de rendimento para a produção de biomassa seca a partir da biomassa fresca. Os procedimentos de secagem descritos também possibilitaram a determinação do conteúdo de água nos tecidos vegetais, onde: i) a diferença entre a biomassa fresca e a biomassa seca a 63 °C forneceu o teor de água livre (presente no citosol e vacúolos) e ii) a diferença entre a biomassa seca a 63 °C e a 105 °C forneceu o teor de água coloidal (presente nas paredes celulares, principalmente) (TURNER, 1981).

Para as análises anatômicas, três ramos que se desenvolveram durante o experimento foram coletados de cada unidade experimental, fixados em FAA₅₀ durante 48 horas e estocados em etanol 50%. Após esse processo, as amostras foram montadas em água, entre lâmina e lamínula, para obtenção de imagens em microscópio e estereomicroscópio. As imagens foram analisadas com auxílio do *software* ImageJ (RASBAND, 1997) para a determinação da comprimento de

caulídio, onde utilizou-se pinça histológica para remoção de 25 filídios de cada ramo, possibilitando a medição da distância em centímetros do caulídio de cada amostra para obtenção da distância (Figura 2c), além disso, determinou-se o diâmetro do caulídio e área superficial das células hialinas (Figura 2d, 2e), a fim de comparar micromorfologicamente os diferentes tratamentos.

Figura 2 - Condições experimentais e métodos de análises utilizadas para medições de crescimento e micromorfometria de *Sphagnum perichaetiale*



Legenda: **a)** aquários dispostos na bancada com iluminação natural incidente, **b)** medição da área de cobertura da amostra, **c)** medição da distância por 25 filídios, **d)** medição de diâmetro do caulídio, **e)** medição da área das células hialinas.

Fonte: Autora (2023).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as variáveis foram submetidas a testes de normalidade de Shapiro-Wilk e analisadas por meio de análise de variância (ANOVA). Tendo um resultado significativo, o teste de médias de Tukey foi aplicado para identificar as diferenças entre as médias dos grupos em análise. Estes dados numéricos foram tratados

estatisticamente através do *software* Rstudio® versão R 4.3.2® (R CORE TEAM, 2023).

4. RESULTADOS

Após a coleta de *S. perichaetiale* em seu ambiente natural, determinou-se, em laboratório, a análise do pH e teor de MO do substrato onde os espécimes cresciam, os quais apresentaram valores de 4,8 e 25%, respectivamente.

Ao término do experimento, foram realizadas análises de crescimento e micromorfométricas. Ao observar as médias das repetições compondo os diferentes substratos de cultivo, para taxa de crescimento absoluto (TCA) da área de cobertura, foi observada a média de 0,28 cm² dia⁻¹ para o 'cascalho', enquanto areia+terra vegetal e terra vegetal obtiveram 0,20 cm² dia⁻¹ e 0,17 cm² dia⁻¹, respectivamente (Tabela 1). A ANOVA evidenciou que a TCA da área de cobertura apresentou diferença significativa para o fator 'substrato de cultivo' ($p = 0,0221$) (Tabela 2), porém, o fator pH não apresentou influência significativa. Posteriormente, foi realizado o teste de médias, que indicou que dentre os substratos de cultivo utilizados, a que denomina-se 'cascalho' foi a que proporcionou maior incremento na de cobertura de *S. perichaetiale* ($p = 0.0202$), apresentando diferença significativa em relação ao tratamento 'terra vegetal' (Figura 3).

Tabela 1 - Médias seguidas por desvio padrão para as variáveis de crescimento e micromorfometria de *Sphagnum perichaetiale*

Substrato	Tratamento	TCA (cm ² dia ⁻¹)	Distância filídios (cm)	Diâmetro caulídio (mm)	Área células (mm ²)	MS (% em relação à MF)	Água livre (%)	Água coloidal (%)
Cascalho	Cascalho / pH 3,8	0,21 ± 0,07 a	0,37 ± 0,04	0,36 ± 0,03	0,0056 ± 0,006	12,15 ± 2,88	87,85 ± 2,88	0,27 ± 0,07
	Cascalho / pH 4,8	0,25 ± 0,16 a	0,30 ± 0,11	0,26 ± 0,04	0,0063 ± 0,004	10,96 ± 2,82	89,04 ± 2,82	0,24 ± 0,04
	Cascalho / pH 5,8	0,36 ± 0,12 a	0,30 ± 0,04	0,27 ± 0,09	0,0083 ± 0,004	7,63 ± 4,52	92,37 ± 4,52	0,22 ± 0,18
	Cascalho / pH 7,8	0,32 ± 0,16 a	0,35 ± 0,07	0,26 ± 0,07	0,0083 ± 0,004	9,61 ± 1,39	90,39 ± 1,39	0,34 ± 0,11
Terra vegetal	Terra vegetal / pH 3,8	0,14 ± 0,07 b	0,22 ± 0,03	0,37 ± 0,10	0,0083 ± 0,002	12,72 ± 2,08	87,28 ± 2,08	0,31 ± 0,18
	Terra vegetal / pH 4,8	0,17 ± 0,09 b	0,35 ± 0,17	0,37 ± 0,02	0,0080 ± 0,004	11,60 ± 1,06	88,40 ± 1,06	0,29 ± 0,06
	Terra vegetal / pH 5,8	0,21 ± 0,14 b	0,29 ± 0,04	0,30 ± 0,08	0,0063 ± 0,001	12,62 ± 4,23	87,38 ± 4,23	0,35 ± 0,09
	Terra vegetal / pH 7,8	0,14 ± 0,10 b	0,36 ± 0,13	0,33 ± 0,02	0,0110 ± 0,004	12,32 ± 2,14	87,68 ± 2,14	0,36 ± 0,16
Areia + terra vegetal	Areia + terra vegetal / pH 3,8	0,16 ± 0,07 ab	0,31 ± 0,05	0,27 ± 0,02	0,0080 ± 0,000	12,31 ± 1,61	87,69 ± 1,61	0,25 ± 0,03
	Areia + terra vegetal / pH 4,8	0,24 ± 0,07 ab	0,30 ± 0,09	0,29 ± 0,03	0,0083 ± 0,002	10,94 ± 2,49	89,06 ± 2,49	0,28 ± 0,02
	Areia + terra vegetal / pH 5,8	0,23 ± 0,03 ab	0,30 ± 0,07	0,30 ± 0,03	0,0063 ± 0,003	12,04 ± 1,96	87,96 ± 1,96	0,29 ± 0,04
	Areia + terra vegetal / pH 7,8	0,17 ± 0,09 ab	0,41 ± 0,16	0,31 ± 0,06	0,0070 ± 0,003	11,48 ± 3,47	88,52 ± 3,47	0,22 ± 0,05

Legenda: TCA: taxa de crescimento absoluto. MS: biomassa seca, MF: biomassa fresca.

Fonte: Autora (2024).

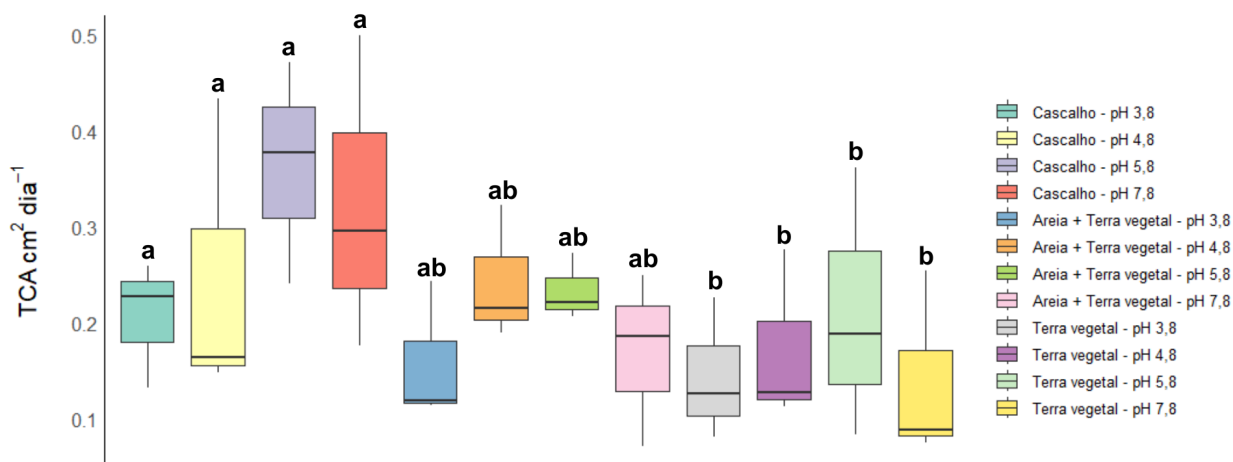
Tabela 2 - Resultados da Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis de crescimento e micromorfometria de *Sphagnum perichaetiale* após 84 dias de cultivo em diferentes substratos de cultivo e condições de pH

<i>Fonte</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>
TCA					
Substrato de cultivo	0,0894	2	0,04469	4,304	0,0221*
pH	0,0063	1	0,00626	0,603	0,4431
Comprimento do caulídio					
substrato de cultivo	0,00450	2	0,002249	0,271	0,765
pH	0,02259	1	0,022589	2,717	0,109
Diâmetro caulídio					
substrato de cultivo	0,02112	2	0,010560	3,085	0,0595
pH	0,00347	1	0,003470	1,014	0,3215
Área das células hialinas					
substrato de cultivo	1,050e-05	2	5,250e-06	0,682	0,513
pH	9,260e-06	1	9,257e-06	1,203	0,281
Biomassa seca em relação à biomassa fresca					
substrato de cultivo	0,003159	2	0,0015797	2,338	0,113
pH	0,000552	1	0,0005519	0,817	0,373
Água livre					
substrato de cultivo	0,003159	2	0,0015797	2,338	0,113
pH	0,000552	1	0,0005519	0,817	0,373
Água coloidal					
substrato de cultivo	3,272e-06	2	1,636e-06	1,846	0,174
pH	5,000e-07	1	5,000e-07	0,564	0,458

Legenda: *SQ*: Soma dos quadrados, *gl*: graus de liberdade, *MQ*: média dos quadrados, *F*: estatística *F*, *valor-P*: valor de probabilidade associado a cada fator. *Indica significância estatística com $p \leq 0,05$.

Fonte: Autora (2024).

Figura 3 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) da área de cobertura de *Sphagnum perichaetiale* após 84 dias de cultivo em diferentes superfícies de cultivo e condições de pH. Letras iguais indicam médias que não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



Fonte: Autora (2024)

As demais variáveis de crescimento e micromorfometria analisadas não apresentaram significância estatística segundo a ANOVA e, portanto, estas não foram submetidas ao teste de médias. Os valores médios observados estão apresentados na Tabela 2.

O rendimento médio de produção de biomassa seca a partir da biomassa fresca total de todos os tratamentos foi de 11,36% (Tabela 1).

5. DISCUSSÃO

O cultivo de *S. perichaetiale* ocorreu de maneira bem sucedida, considerando as condições experimentais e de estrutura física disponível. Entre todas as variáveis analisadas, a taxa de crescimento absoluto (TCA) da área de cobertura se mostrou eficaz para discriminar as diferenças entre os tratamentos de cultivo. Este método de amostragem do crescimento de briófitas utiliza fotografias obtidas no início e no final do experimento, as quais são analisadas com um software de medição de imagens. Assim, tem como vantagens o fato de ser um método não destrutivo e bastante simples, garantindo a integridade das amostras após as observações, além de não

demandar grandes investimentos em termos de preparação de amostras e análises laboratoriais

A análise de TCA da área de cobertura evidenciou que o substrato cascalho foi o mais efetivo para o cultivo de *S. perichaetiale*, enquanto o pH não apresentou influência significativa entre os tratamentos. O cultivo sobre o cascalho resultou em maior valor médio do incremento de área superficial diária em relação aos demais substratos de cultivo, proporcionando produção 39,29% maior em área de cobertura em relação à mistura de areia e terra vegetal, e 28,6% maior em relação ao substrato terra vegetal. Dessa forma, refutamos a hipótese de que o substrato contendo uma mistura de terra vegetal com areia seria o mais vantajoso para *S. perichaetiale*, por simular a condição natural de origem da coleta, contendo MO, bem como as zonas de turfeiras onde são encontradas diversas espécies de *Sphagnum* em regiões temperadas.

Apesar da TCA da área de cobertura ter se mostrado uma variável que possibilitou diferenciar a eficiência dos tratamentos, vale lembrar que uma maior área de cobertura não necessariamente se traduz em maior biomassa seca, uma variável extremamente importante para determinar a produtividade vegetal, especialmente para fins de fitorremediação. Entretanto, não foi possível quantificar a biomassa seca absoluta, uma vez que durante a coleta dos espécimes não foi possível remover por completo o substrato de cultivo dos caulídios e filídios. Isso poderia afetar a precisão da análise, uma vez que a quantidade de biomassa fresca das repetições desse experimento é consideravelmente reduzida, fazendo com que pequenas contaminações por substrato pudessem ser suficientes para superestimar os dados. Dessa forma, optamos por não analisar a biomassa fresca e seca em termos absolutos, mas sim, determinar o percentual de rendimento de biomassa seca em relação à biomassa fresca coletada, cuja média geral do experimento foi de 11,36%. Adicionalmente, os tratamentos impostos não afetaram significativamente o balanço hídrico das células, visto que não foram detectadas diferenças significativas no teor de água livre e água coloidal.

A variável diâmetro do caulídio não foi uma variável com diferença significativa entre os tratamentos, segundo a ANOVA. Entretanto, apresentou valor- $P = 0.0595$ para o fator 'substrato de cultivo', bastante próximo do nível de significância estatístico ($p \leq 0,05$). Portanto, assim como as dimensões do conjunto de células hialinas, variáveis micromorfológicas não se mostraram eficazes em

indicar as melhores condições de cultivo de *S. perichaetiale*. O baixo número de repetições dos tratamentos é um fator que pode ter proporcionado uma maior heterogeneidade dos dados dentro de um mesmo tratamento, possivelmente reduzindo as chances de detecção de diferenças. Dessa forma, caso seja realizado um novo experimento, um maior número de repetições por tratamento seria recomendado, visando aumentar as chances de discriminação das variáveis que possam ser indicadoras das melhores condições de cultivo.

Nos tratamentos com substrato de cultivo contendo terra vegetal, é possível que uma elevada concentração de nutrientes estivesse presente. Isso, atrelado ao fato de que os espécimes receberam solução nutritiva por aspersão, pode ter ocasionado um excesso de nutrientes para as briófitas cultivadas nesses substratos. Vale ressaltar que *Sphagnum* é um gênero de plantas que, geralmente, se estabelecem bem em ambientes oligotróficos (KOSTKA *et al.*, 2016). Dessa forma, é possível que a combinação descrita acima possa ter impactado negativamente o crescimento das plantas, conforme demonstrado pela análise da TCA da área de cobertura, que indicou o cascalho como melhor substrato de cultivo (o qual tende a ser mais oligotrófico que os demais). Temmink *et al.*, (2017) demonstraram que, em áreas de paludicultura com teor de MO em torno de 98%, a produção de *Sphagnum* pode ser possível sob altas concentrações de nitrogênio, desde que as concentrações de outros elementos, como o fósforo e o potássio, estejam em adequadas, principalmente se aliada à baixa alcalinidade, isto é, pH mais ácido.

Um estudo replicando condições de ambientes naturais indicou, através da avaliação do crescimento de *S. angustifolium*, que os musgos originários de ambientes secos com pH mais baixo cresceram mais em condições de baixo pH, enquanto plantas originárias de ambientes úmidos com alto pH cresceram mais em condições de alto pH (SÅSTAD; PEDERSEN; DIGRE, 1999). No presente trabalho, hipotetizamos que as melhores condições de cultivo seriam aquelas associadas a valores de pH mais baixos, visto que o ambiente onde as amostras foram coletadas apresentou pH de 4,8, além de ser comum que os ambientes onde plantas desse gênero ocorrem serem mais ácidos (KOSTKA *et al.*, 2016). Entretanto, essa hipótese foi refutada.

Para imposição dos tratamentos com diferentes níveis de pH, foi aplicada solução nutritiva com diferentes valores de pH por aspersão. A ausência de influência do pH sobre o crescimento de *S. perichaetiale* pode dever-se a diferentes

aspectos, os quais: i) o pequeno número de repetições pode não ter sido suficiente para detectar diferenças significativas entre os tratamentos, conforme comentado anteriormente. Porém, a infra estrutura disponível (número de aquários e espaço físico) não possibilitou que fossem utilizadas um maior número de tratamentos por repetições; ii) o pequeno volume de solução aplicado, além da não utilização de um tampão de pH pode ter impedido que o pH dos ambientes de cultivo se mantivessem na faixa de pH referente ao respectivo tratamento. Porém, a maioria dos tampões são ricos em fosfatos, e o excesso de fósforo favorece o aparecimento de cianobactérias e microalgas sobre o *Sphagnum*, podendo até mesmo ocasionar sua morte (HARPENSLAGER *et al.*, 2015). Assim, tampões fosfatados devem ser usados com cautela no cultivo de *Sphagnum*; iii) é possível que *S. perichaetiale* realmente se desenvolva bem em uma ampla faixa de pH, de 3,8 a 7,8, conforme já observado para *S. cuspidatum*, cultivado *in vitro*, com bom desempenho entre as faixas de pH 3,5 a 7,0 (SITTHICHOPHAM *et al.*, 2023). Da mesma forma, em uma turfeira natural no Japão, as espécies *S. squarrosum* e *S. girgensohnii* se cresceram em amplas faixas de pH, de 3,8 a 7,2 (HARAGUCHI *et al.* 2003).

Vale destacar que *Sphagnum* é uma espécie que apresenta tendência à acidificação do ambiente de cultivo ao longo do tempo, conforme demonstrado por Sitthichoptham *et al.* (2023) e Beike *et al.* (2015), em que observou-se redução gradual do pH ao longo das semanas em cultivos em condições controladas. Isso se deve à ocorrência de liberação de íons de hidrogênio nos sítios de absorção de cátions pelas plantas, o que corrobora com a alta capacidade do *Sphagnum* de adsorção de prótons e metais entre os musgos (GONZÁLEZ; POKROVSKY, 2014). Portanto, além do baixo número de repetições, outra limitação deste estudo foi a ausência de análise do pH dos substratos de cultivo ao longo do período experimental, conforme recomendado por Teixeira *et al.* (2017). Estes são aspectos a serem considerados em pesquisas futuras, visando a otimização do cultivo de *S. perichaetiale*, para uma compreensão mais acurada da relação do pH com a produtividade da espécie.

Além de respondermos as perguntas em aberto mencionadas acima, o próximo passo desta pesquisa será testar a biomassa seca produzida neste experimento no processo de fitorremediação utilizando-se soluções contendo contaminantes encontrados em águas contaminadas, como por exemplo, o cromo

hexavalente. Isso permitirá investigar se as condições de cultivo utilizadas neste projeto influenciaram na bio sorção de metais pesados em *S. perichaetiale*.

6. CONCLUSÃO

A análise da TCA demonstrou que o substrato de cascalho foi o mais efetivo para o cultivo, superando outros substratos, enquanto o pH não exerceu uma influência significativa. Assim, a hipótese inicial, de que a mistura de areia e terra vegetal seria a mais vantajosa, foi refutada, ressaltando a importância da escolha adequada do substrato para o cultivo de *S. perichaetiale*.

Embora a TCA da área de cobertura tenha se mostrado útil na diferenciação da eficiência dos tratamentos, a correlação com a biomassa seca, uma métrica vital para a produtividade vegetal, não pôde ser estabelecida devido a limitações na remoção dos substratos durante a coleta. As demais variáveis testadas não se revelaram eficazes na indicação das melhores condições de cultivo, sugerindo a necessidade de um maior número de repetições em futuros experimentos.

Em direção ao próximo passo da pesquisa, a avaliação da biomassa seca produzida nos tratamentos será utilizada em testes de fitorremediação com soluções contendo elementos tóxicos, que proporcionará *insights* importantes sobre a capacidade de bio sorção de metais pesados por *S. perichaetiale* na prática em relação as condições de cultivo (substrato e pH).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, S.E. **Chemical Analysis of Ecological Materials**. [S.l.]: Blackwell Scientific Publications, 1989.

BEIKE, A. K. *et al.* Clonal in Vitro Propagation of Peat Mosses (*Sphagnum* L.) as Novel Green Resources for Basic and Applied Research. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)**, v. 120, n. 3, p. 1037–1049, 1 mar. 2015.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 3ª edição, 2003.

BRIÓFITAS in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB128472>>. [Acessado em: 12 de janeiro de 2024].

COSTA, D. (2024). Sphagnaceae in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB97000>. [Acessado em: 12 de janeiro de 2024].

CRANDALL-STOTLER, B.; STOTLER, R. E.; LONG, D. G. Phylogeny and Classification of the Marchantiophyta. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 66, n. 1, p. 155–198, 6 mar. 2009.

CRUM, H.; BUCK, W. R. A Contribution to the *Sphagnum* (Sphagnaceae) Flora of Paraguay. **Brittonia**, v. 40, n. 2, p. 188–194, 1988.

FRAHM, J. P. *et al.* Manual of Tropical Bryology. v. 23, 20 ago. 2003. Disponível em: <<https://www.mapress.com/j/bde/article/view/bde.23.1.1>>. Acesso em: 26 mar. 2023.

GAUDIG, G *et al.* *Sphagnum* Farming in Germany – a Review of Progress. 2014.

GLIME, J. Introduction. **Bryophyte ecology: physiological ecology**. [S.l.]: Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2017. v. 1. p. 1–10.

GOFFINET, B. **Bryophyte Biology**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. Disponível em: <<http://ebooks.cambridge.org/ref/id/CBO9780511754807>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

GONZÁLEZ, A. G.; POKROVSKY, O. S. Metal Adsorption on Mosses: Toward a Universal Adsorption Model. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 415, p. 169–178, 1 fev. 2014.

HARAGUCHI, A. *et al.* The pH dependence of photosynthesis and elongation of *Sphagnum squarrosum* and *S. girgensohnii* in the *Picea glehnii* mire forest in Cape Ochiishi, north-eastern Japan. **Aquatic Ecology**, v. 37, p. 101–104, jan. 2003.

HARPENSLAGER, S. F. *et al.* Rewetting Former Agricultural Peatlands: Topsoil Removal as a Prerequisite to Avoid Strong Nutrient and Greenhouse Gas Emissions. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 159–168, nov. 2015.

HARRIS, B. J. *et al.* Divergent Evolutionary Trajectories of Bryophytes and Tracheophytes from a Complex Common Ancestor of Land Plants. **Nature Ecology & Evolution**, v. 6, n. 11, p. 1634–1643, nov. 2022.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. v. Circular 34: Berkeley, p. 1–32, 1950.

HUGRON, S.; ROCHEFORT, L. *Sphagnum* Mosses Cultivated in Outdoor Nurseries Yield Efficient Plant Material for Peatland Restoration. **Mires and Peat**, n. 20, p. 1–6, 5 ago. 2018.

KOSTKA, J. E. *et al.* The *Sphagnum* Microbiome: New Insights from an Ancient Plant Lineage. **New Phytologist**, v. 211, n. 1, p. 57–64, 2016.

KREBS, M. *et al.* *Sphagnum* Regrowth after Cutting. **Mires and Peat**, n. 20, p. 1–20, 15 ago. 2018.

MENDES, C.; DIAS, E. **Ecologia e vegetação das turfeiras de *Sphagnum* spp. da Ilha Terceira (Açores)**. Angra do Heroísmo, Portugal: Eduardo Dias, 2001. v. 5. (Herbário da Universidade dos Açores (AZU)).

MICHAELIS, D. **The *Sphagnum* Species of the World**. 1st English edition ed. Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers, 2019. (Bibliotheca botanica, volume 162).

PROCTOR, M.C.F. Physiological ecology. In: B. Goffinet & W.R. Shaw, eds. 2009. **Bryophyte Biology**. New York: Cambridge University Press, pp. 236-268.

R CORE TEAM. R x64 4.3.2 R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023.

RASBAND, W.S. ImageJ. U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. <<https://imagej.nih.gov/ij/>>. 1997.

RENZAGLIA, K. S.; VILLARREAL, J. C.; DUFF, R. J. New insights into morphology, anatomy, and systematics of hornworts. In: SHAW, A. J.; GOFFINET, B. (Org.). . **Bryophyte Biology**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. p. 139–172.

ROCHEFORT, L. *Sphagnum* – A Keystone Genus in Habitat Restoration. **The Bryologist**, v. 103, n. 3, p. 509–508, 2009.

SÅSTAD, S. M.; PEDERSEN, B.; DIGRE, K. Habitat-Specific Genetic Effects on Growth Rate and Morphology across PH and Water-Level Gradients within a Population of the Moss *Sphagnum Angustifolium* (Sphagnaceae). **American Journal of Botany**, v. 86, n. 12, p. 1687–1698, dez. 1999.

SILVAN, N. *et al.* Swift recovery of *Sphagnum* carpet and carbon sequestration after shallow *Sphagnum* biomass harvesting. **Mires and Peat**, v. 20, n. 1, p. 1–11, 2017.

SILVEIRA, T. F. **Biomassa de musgo *Sphagnum perichaetiale* Hampe (Sphagnaceae, Bryophyta) aplicada à remoção do hormônio sintético 17 α -etinilestradiol**. 2021. 37 f. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Osório, 2021.

SITTHICHOPHAM, C. *et al.* Effects of the Culture Medium, PH Level, and Type of Sugar on the Growth of *Sphagnum Cuspidatum* Müll. Hal. **Horticultural Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 329–338, 30 jun. 2023.

STOTLER, R. E.; CRANDALL-STOTLER, B. A Revised Classification of the Anthocerotophyta and a Checklist of the Hornworts of North America, North of Mexico. **The Bryologist**, v. 108, n. 1, p. 16–26, mar. 2005.

TAVARES, S. Técnicas de Remediação. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados**. Joinville: Clube de Autores, 2013. p. 61–89.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TEMMINK, R. J. M. *et al.* *Sphagnum* farming in a eutrophic world: The importance of optimal nutrient stoichiometry. **Ecological Engineering**, v. 98, p. 196–205, 1 jan. 2017.

TESSER, T.T. *et al.* Application of the Dry and Wet Biomass of Bryophytes for Phytoremediation of Metals: Batch Experiments. **Environmental Challenges**, v. 5, p. 100382, dez. 2021.

THOLOZAN, L. V. *et al.* *Sphagnum Perichaetiale* Hampe Biomass as a Novel, Green, and Low-Cost Biosorbent in the Adsorption of Toxic Crystal Violet Dye. **Environmental Science and Pollution Research**, 25 fev. 2023. Disponível em: <<https://link.springer.com/10.1007/s11356-023-26068-4>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

TURETSKY, M. R. *et al.* Global Vulnerability of Peatlands to Fire and Carbon Loss. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 1, p. 11–14, jan. 2015.

TURNER, N. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. **Plant and Soil**, v. 58, p. 339–366, 1 fev. 1981.

APÊNDICE - SCRIPTS DO AMBIENTE ESTATÍSTICO R COM AS ANÁLISES E FIGURAS APRESENTADAS

```
#Analises
```

```
> library(readxl)
```

```
> TTC_2 <- read_excel("C:/Users/Acer/Desktop/TCC/TTC_2.xlsx")
```

```
> View(TTC_2)
```

```
> library(readxl)
```

```
> dados <- read_excel("C:/Users/Acer/Desktop/TCC/TTC_2.xlsx")
```

```
> View(dados)
```

```
> attach(dados)
```

```
> names(dados)
```

```
"Amostra"      "Meiocultivo"  "pH"           "TCA"  
"Filídios_cm"  "Diam_cau_mm"
```

```
"Area_cel_mm2" "MS_MF" "Agua_livre" "Agua_coloidal"
```

```
> install.packages("dplyr")
```

```
> library(dplyr)
```

```
> dados$Meiocultivo <- as.factor(dados$Meiocultivo)
```

```
> dados$pH <- as.factor(dados$pH)
```

```
modelo<-aov(TCA~Meiocultivo+pH)
```

```
> View(modelo)
```

```
> summary(modelo)
```

```
> shapiro.test(residuals(modelo))
```

```
> TukeyHSD(modelo)
```

```
Fit: aov(formula = TCA ~ Meiocultivo + pH)
```

```
$Meiocultivo
```

```
> modelo<-aov(Filídios_cm~Meiocultivo+pH)
```

```
> View(modelo)
```

```
> summary(modelo)
```

```
> shapiro.test(residuals(modelo))
```

```
> modelo<-aov(Diam_cau_mm~Meiocultivo+pH)
```

```
> View(modelo)
```

```
> summary(modelo)
```

```
> shapiro.test(residuals(modelo))
```

```
> modelo<-aov(Area_cel_mm2~Meiocultivo+pH)
```

```
> View(modelo)
```

```
> summary(modelo)
```

```
> shapiro.test(residuals(modelo))
```

```
> modelo<-aov(MS_MF~Meiocultivo+pH)
```

```
> View(modelo)
```

```
> summary(modelo)
```

```
> shapiro.test(residuals(modelo))
```

```
> modelo<-aov(Agua_livre~Meiocultivo+pH)
```

```
> View(modelo)
```

```
> summary(modelo)
```

```

> shapiro.test(residuals(modelo))

> modelo<-aov(Agua_coloidal~Meiocultivo+pH)

> View(modelo)

> summary(modelo)

> shapiro.test(residuals(modelo))

```

#Grafico

```

> library(readxl)
> grafico <- read_excel("C:/Users/Acer/Desktop/TCC/grafico.xlsx",
col_types = c("text", "numeric"))
> dados <- read_excel("C:/Users/Acer/Desktop/TCC/grafico.xlsx")
> View(dados)

> attach(dados)

> names(dados)

"Tratamiento" "TCA"

> library(ggplot2)
> library(RColorBrewer)
> cores_set3 <- brewer.pal(12, "Set3")

> p <- ggplot(dados, aes(x = as.factor(Tratamiento), y = TCA,
fill = as.factor(Tratamiento))) +

geom_boxplot() +

labs(title = NULL, x = "Tratamientos", y =
expression(paste("TCA ", cm^2, " dia"^-1))) +

scale_x_discrete(labels = NULL) +

scale_fill_manual(values = cores_set3, name = "Tratamientos",
labels = c(

```



```
"Cascalho - pH 3,8", "Cascalho - pH 4,8", "Cascalho - pH 5,8",  
"Cascalho - pH 7,8", "Areia + Terra vegetal - pH 3,8", "Areia +  
Terra vegetal - pH 4,8", "Areia + Terra vegetal - pH 5,8",  
"Areia + Terra vegetal - pH 7,8", "Terra vegetal - pH 3,8",  
"Terra vegetal - pH 4,8", "Terra vegetal - pH 5,8", "Terra  
vegetal - pH 7,8"
```

```
)) +
```

```
theme_minimal() +
```

```
theme(  
  panel.grid = element_blank(),  
  axis.line = element_line(color = "black"),  
  text = element_text(size = 16),  
  axis.title.x = element_text(margin = margin(t = 20)),  
  axis.title.y = element_text(margin = margin(r = 20)),  
  axis.text.y = element_text(size = 12),  
  legend.text = element_text(size = 10)) +  
  guides(fill = guide_legend(ncol = 1))
```

```
> print(p)
```