

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

LAISA EMANUELE MENIN

**INFLUÊNCIA DO ENRIQUECIMENTO POR FÓSFORO SOBRE O
DESENVOLVIMENTO DA MACRÓFITA AQUÁTICA FLUTUANTE LIVRE *Salvinia*
sp.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DOIS VIZINHOS

2015

LAISA EMANUELE MENIN

**INFLUÊNCIA DO ENRIQUECIMENTO POR FÓSFORO SOBRE O
DESENVOLVIMENTO DA MACRÓFITA AQUÁTICA FLUTUANTE LIVRE *Salvinia*
sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Ciências Biológicas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Câmpus Dois Vizinhos, como requisito parcial para obtenção do título de biólogo.

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Ferrari

DOIS VIZINHOS

2015

M545i Menin, Laisa Emanuele
Influência do enriquecimento por fósforo sobre o desenvolvimento da macrófita aquática flutuante livre *salvinia sp.* / Laisa Emanuele Menin – Dois Vizinhos: [s.n], 2015.
61f.:il.

Orientador: Fernanda Ferrari.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Ciências Biológicas. Dois Vizinhos, 2015.
Bibliografia p.52-61

1.Macrófitas aquáticas. 2. *Salvina sp.* I.Ferrari, Fernanda, orient. II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná– Dois Vizinhos. III.Título

CDD:570

Ficha catalográfica elaborada por Keli Rodrigues do Amaral CRB: 9/1559

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso nº. 01

Influência do enriquecimento por fósforo sobre o desenvolvimento da macrófita aquática flutuante livre *Salvinia* sp.

por

Laisa Emanuele Menin

Este trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15 horas do dia **24 de junho de 2015**, como requisito parcial para obtenção do título de Biólogo (Curso de Ciências Biológicas – Licenciatura, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos). O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

(aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado)

Prof. Dr. Thiago Cintra Maniglia
UTFPR-Toledo

Profa. Dra. Fernanda Ferrari
Orientador
UTFPR-DV

Profa. Dra. Diesse Aparecida de Oliveira
Sereia
UTFPR-Dois Vizinhos

Prof. Dr. Everton Ricardi Lozano da Silva
Coordenador do Curso de Ciências
Biológicas
UTFPR-Dois Vizinhos

“ A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, força e coragem para enfrentar os momentos de dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender a aprimorar meus conhecimentos. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

De maneira especial, deixo aqui registrado os meus singelos agradecimentos a minha orientadora, Fernanda Ferrari, por ter me recebido de braços abertos nesta jornada, pela confiança que foi me dada e por todas as correções e apoio durante todo o período de planejamento e desenvolvimento deste estudo.

Aos meus heróis, pai e mãe, pelo amor, incentivo e apoio incondicional nas horas difíceis de desânimo e cansaço. Vocês são a razão da minha existência, a quem eu dedico o meu imensurável amor e deposito toda a minha confiança. Eu poderia usar milhares de palavras para tentar descrever o quanto sou grata a vocês, porem, mesmo assim seriam insuficientes.

Não posso deixar de agradecer ao meu irmão por ter escutado meus desabafos, pela paciência que teve comigo nos meus momentos estressantes, por toda e qualquer forma de ajuda que me ofereceu. Aproveito aqui para expressar minha gratidão aos meus avós, paternos e maternos, que tanto me incentivaram e auxiliaram durante os quatro anos de graduação.

A todos meus amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza. Mas diante deste trabalho, enfatizo o meu agradecimento mais do que especial ao Alberto Luiz Gagstetter e a todos àqueles que de alguma forma, por meio de caronas, empréstimo de material, montagem do experimento, auxílio nas coletas, fizeram esse estudo se concretizar. QUEM TEM AMIGO, TEM TUDO!

A você, Jéssica Juliane Sulzbach, OBRIGADA! Por me receber em sua morada, pela amizade, carinho, companheirismo, apoio e suporte que me ofereceu. E principalmente, por me fazer crescer como pessoa e me mostrar como vencer as dificuldades.

Em geral, a todos que, de forma direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, muito obrigada.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

(ROOSEVELT, Theodore, 1901).

RESUMO

MENIN, Laisa E. **Influência do enriquecimento por fósforo sobre o desenvolvimento da macrófita aquática livre flutuante *Salvinia* sp.** 2015. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

Macrófitas aquáticas são vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos. É um grupo diverso de organismos que cresce permanentemente ou periodicamente submerso, ou flutuando sobre a superfície da água, representando um dos principais produtores de matéria orgânica nos ambientes onde ocorrem. Os fatores que influenciam o seu desenvolvimento são: luminosidade, temperatura, nutrientes, pH, alcalinidade, salinidade, velocidade da corrente e variação do nível d'água. O crescimento excessivo de macrófitas em ambientes aquáticos pode, em muitos casos, se tornar indesejável, pois compromete os usos múltiplos da água. No Sul do Brasil, ocorre crescimento exacerbado da macrófita flutuante livre *Salvinia* sp. em ambientes aquáticos destinados à piscicultura ou ao abastecimento de água o que, além de alterar o equilíbrio das comunidades aquáticas, pode trazer prejuízos às atividades que envolvem o uso da água destes ambientes. Assim, o presente estudo objetivou avaliar os efeitos de concentrações crescentes de fósforo no desenvolvimento de *Salvinia*, pretendendo contribuir para o conhecimento da autoecologia da espécie. O estudo foi desenvolvido na represa da Trilha Ecológica da UTFPR – Dois Vizinhos. Sistemas experimentais em mesocosmos foram implantados na represa, formando condições controladas para os tratamentos. Foram estabelecidos os seguintes tratamentos: controle, oligotrófico; mesotrófico; e supertrófico, em triplicatas. Semanalmente, os indivíduos de *Salvinia* inoculados em cada tratamento foram retirados da água para obtenção da massa fresca. Durante este mesmo período foi realizado o controle e manutenção da disponibilidade de fósforo na água, a fim de manter o equilíbrio do estado de trofia em cada tratamento. A concentração de nutrientes na água dos mesocosmos apresentou valores inferiores nos tratamentos controle e oligotrófico e superiores em mesotrófico e supertrófico. A análise de variância das concentrações de nutrientes e da massa seca mostrou diferença significativa principalmente entre os tratamentos controle e supertrófico. Nos demais, onde os limites tróficos foram próximos, as variações não apresentaram diferenças significativas. A análise de correspondência canônica mostrou que *Salvinia* sp. conseguiu, rapidamente, desenvolver suas atividades reprodutivas e aumentar sua biomassa em todas as condições de trofia. Porém, o acúmulo de biomassa foi favorecido onde a concentração de fósforo na água foi maior. Essas plantas, quando manejadas corretamente, podem ser utilizadas para controlar os nutrientes em ambientes aquáticos, retirando-os da água e incorporando em sua biomassa.

Palavras-chave: Represas. Macrófitas aquáticas. Marrequinha d'água. Estado de trofia.

ABSTRACT

MENIN, Laisa E. Influence of phosphorus enrichment on the development of free floating aquatic fern *Salvinia* sp. 2015. 61f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

Aquatic weeds are plants that live from swamps to truly aquatic environments. It is a diverse group of organisms that grows permanently or periodically submerged or floating on the water surface, representing one of the main producers of organic matter in environments where they occur. The factors that influence its development are: light, temperature, nutrients, pH, alkalinity, salinity, current speed and variation of the watermark level. The overgrowth of weeds in aquatic environments can, in many cases, become undesirable as it undermines the multiple uses of water (irrigation, supply, recreation and power generation). In southern Brazil, is exacerbated growth of free floating fern *Salvinia* sp. in aquatic environments for the fish or the water supply which, in addition to changing the balance of aquatic communities, can bring harm to the activities involving the use of water from these environments. The present study aimed to evaluate the effects of increasing concentrations of phosphorus in the development of *Salvinia* and contributing to the knowledge of species' autoecology. The study was developed in the dam Ecological Trail of UTFPR – Dois Vizinhos. Mesocosms experimental systems have been deployed in the pelagic region of the dam, forming controlled conditions for treatments. The following treatments were established: control treatment, oligotrophic treatment; mesotrophic treatment; and supertrophic treatment, in triplicate. Individuals of *Salvinia* inoculated remained for a period of 4 weeks during which it was conducted to control and maintain the availability of phosphorus in water in order to maintain the balance of trophic state of each treatment. Considering the weekly average it was found that the concentration of nutrients present in the water of the tanks showed lower values in the control treatments and oligotrófico and higher in mesotrophic and supertrófico. The results obtained by analysis of variance (ANOVA - One Way) showed that the contents of dry matter and nutrient concentration significantly different in lower and higher concentrations treatments, control and supertrophic. In the other, where the trophic limits were close, variations do not show significant. The canonical correspondence analysis (CCA) showed that in treatments where the phosphorus concentration in the water was greater, *Salvinia* developed quickly and increased their biomass. In this study it was possible to prove that in eutrophic environments where environmental variables are presented in balance, the cultivation of aquatic weeds is favored. These plants when properly handled, can be used to purify eutrophic water environments, taking the nutrients present in the water and incorporating a biomass.

Keywords: Dams. Aquatic weeds. Water fern. Trophic State.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização topográfica da represa onde foram instaladas as unidades experimentais.....27
- Figura 2 – Esquema de mesocosmos utilizados no experimento.....29
- Figura 3 – Represa da Trilha Ecológica onde foram implantados os mesocosmos.....29
- Figura 4 – Esquema de instalação dos tratamentos em mesocosmos no lago.....32
- Figura 5 – Indivíduos de *Salvinia* sp. Círculos vermelhos evidenciam a presença de folhas amareladas de *Salvinia* indicando início de senescência.....34

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Relação das Massas frescas (gMf.m^2) e secas (gMS.m^2) de *Salvinia* nos tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico, durante o período experimental41
- Gráfico 2 – Taxa de crescimento ($\text{gMS.m}^2.\text{dia}^{-1}$) de *Salvinia* nos tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico, durante o período experimental.....43
- Gráfico 3 – Análise de Correspondência Canônica (ACC) entre variáveis abióticas fósforo total (PT) e razão nitrogênio e fósforo inorgânicos (NP), variáveis biológicas massa fresca (MFRES), massa seca (MSECA) e taxa de crescimento (TxGRES) nos tratamentos Controle, Oligotrófico, Mesotrófico e Supertrófico, durante o período experimental (Semana 1 = 1; Semana 2 = 2; Semana 3 = 3; Semana 4 = 4).....44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - IET e equivalência com medidas de Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), clorofila a (mg.L^{-1}) e transparência em reservatórios (S) (m). (Lamparelli,2004).....31
- Tabela 2 - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) regionais diárias durante o período experimental.....36
- Tabela 3 - Valores médios das concentrações ($\mu\text{g.L}^{-1}$), desvio padrão e coeficiente de variação (entre parênteses) das variáveis Fósforo Total (PT), Ortofosfato (PO_4^{-3}), Nitrogênio Total (NT), Nitrato (NO_3^{-}) e razão molar Nitrogênio-Fósforo (N:P) nos tratamentos controle (C), oligotrófico (O), mesotrófico (M) e supertrófico (S), durante quatro semanas de experimento.....38
- Tabela 4 - Resultados da Análise de variância (ANOVA – One Way) para a variável massa seca (g), entre tratamentos Controle, Oligotrófico, Mesotrófico e Supertrófico, no decorrer do período experimental. F = valor da estatística do teste F, P = valores de probabilidade, * = tratamentos com diferença significativa pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$), NS = tratamentos sem diferença significativa pelo teste de Tuckey.....39
- Tabela 5 - Valores médios de Massa Fresca (gMF.m^2), entre parênteses desvio padrão (DV) e coeficiente de variação (CV%) da *Salvinia* nos tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico durante as quatro semanas de experimento.....40
- Tabela 6 - Resultados da Análise de variância (ANOVA – One Way) para a variável massa seca (g), entre tratamentos Controle, Oligotrófico, Mesotrófico e Supertrófico, no decorrer do período experimental. F = valor da estatística do teste F, P = valores de probabilidade, * = tratamentos com diferença significativa pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$), NS = tratamentos sem diferença significativa pelo teste de Tuckey.....42
- Tabela 7 - Síntese da ACC entre variáveis abióticas fósforo total (PT) e razão nitrogênio e fósforo inorgânicos (NP), variáveis biológicas massa fresca (MFRES), massa seca (MSECA) e taxa de crescimento (TxCRES) nos tratamentos Controle, Oligotrófico, Mesotrófico e Supertrófico, durante o período experimental.....44

Tabela 8 - Correlações <i>intraset</i> com eixos, coeficientes canônicos e correlações <i>interset</i> da ACC entre variáveis abióticas e biológicas do experimento.....	44
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE MACRÓFITAS AQUÁTICAS	16
2.2 IMPORTÂNCIA DAS MACRÓFITAS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS	17
2.3 FATORES LIMITANTES AO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS	18
2.3.1 Nutrientes	19
2.3.2 Radiação Luminosa.....	20
2.3.3 Temperatura.....	21
2.3.4 Interações Ecológicas	22
2.3.5 Velocidade da Água	23
2.3.6 Morfometria do Ecossistema	23
2.4 O GÊNERO <i>SALVINIA</i> SÉGUIER.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	28
3.2.1 Unidades Experimentais.....	28
3.2.2 Período Experimental	30
3.2.3 Enriquecimento	30
3.2.4 Inoculação das Macrófitas Aquáticas	32
3.3 AMOSTRAGEM	33
3.3.1 Análise Química da Água	33
3.3.2 Variáveis Biológicas	33
3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	34
4 RESULTADOS	36
4.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS	36
4.2 VARIÁVEIS QUÍMICAS DA ÁGUA DOS MESOCOSMOS.....	37
4.3 VARIÁVEIS BIÓTICAS.....	39
4.4 ANÁLISE INTEGRADA DAS VARIÁVEIS ABIÓTICAS E BIÓTICAS	43
5 DISCUSSÃO	46
6 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Macrófitas aquáticas são caracterizadas como vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos. É um grupo diverso de organismos fotossintéticos grandes o suficiente para serem visíveis a olho nu, cujas partes vegetativas crescem ativamente tanto permanentemente como periodicamente submersas, flutuando ou crescendo sobre a superfície da água (DENNY, 1985; CHAMBERS et al, 2008). Caracterizam-se como importantes produtores primários em diversos ecossistemas aquáticos continentais (PISTORI et al., 2004; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2003; CAMARGO et al., 2003) e apresentam adaptações que permitem seu crescimento em um gradiente que compreende desde solos saturados com água até totalmente submersos (ESTEVES, 1998; BIANCHINI Jr. et al., 2002; CAMARGO et al., 2003).

Dada a diversidade filogenético-taxonomica das macrófitas aquáticas, esses vegetais são preferencialmente classificados quanto ao seu biotipo (tipos biológicos), também conhecidos como grupos ecológicos de macrófitas aquáticas, que são os seguintes: macrófitas emersas - plantas enraizadas no sedimento e com folhas fora da água; macrófitas com folhas flutuantes - plantas com folhas flutuando na superfície da água e conectadas aos rizomas e raízes através de pecíolos longos e flexíveis; macrófitas submersas enraizadas - plantas enraizadas no sedimento que crescem totalmente sob a superfície, a exceção de estruturas reprodutivas, que em várias espécies permanecem emersas; macrófitas submersas livres - plantas com raízes pouco desenvolvidas e que permanecem na subsuperfície da água, geralmente presas aos pecíolos e talos de outras macrófitas aquáticas, ou a outras estruturas submersas e em sua maioria emitem flores; macrófitas flutuantes livres - plantas que flutuam livremente e cujas raízes permanecem na subsuperfície, mas sem se fixarem a nenhum substrato. Em geral, as macrófitas aquáticas ocorrem em locais protegidos do vento ou de pouca correnteza (ESTEVES, 2011).

No âmbito ecológico, as macrófitas aquáticas podem constituir-se como o principal produtor de matéria orgânica nos ambientes onde ocorrem,

atingindo cerca de 100 toneladas de peso seca/ha/ano (PIEADADE et al., 1991), superando as taxas expressivas da cana de açúcar, por exemplo, mesmo com aplicação de insumos agrícolas. Desta forma, assumem importante papel de controle na dinâmica de nutrientes de um ecossistema (JUNK, 1980; POMPÊO, 2008) e participam de forma intensa na reciclagem de nutrientes, com capacidade de assimilar elementos retidos no sedimento por intermédio das raízes, os quais são liberados para a coluna d'água através da excreção e da decomposição (GRANÉLI & SOLANDER, 1988).

O desenvolvimento de qualquer um dos biotipos de macrófitas em ambientes aquáticos é controlado por fatores que determinam a sua dinâmica. Entre os principais fatores destacam-se a luminosidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, pH, alcalinidade, salinidade, velocidade da corrente e variação no nível d'água, sendo que estas variáveis abióticas atuam em conjunto com as variáveis bióticas (processos ecológicos) sobre uma população ou sobre um indivíduo (RIIS et al., 2000; MURPHY, 2002; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2005; MADSEN et al., 1998; BARENDREGT, 2005; NEIFF & NEIFF, 2003). Sendo assim, sob condições favoráveis, as populações de plantas aquáticas são facilmente disseminadas, colonizando extensas superfícies de água em tempo reduzido (HENRY – SILVA & CAMARGO, 2006).

A grande diversidade e abundância das macrófitas aquáticas nas principais zonas biogeográficas já vem sendo registrada há bastante tempo, como destaca Chambers et al., (1991). No Brasil, também há grande representação dessas plantas tanto em riqueza, como aponta Almeida (2012) ao montar o inventário das macrófitas aquáticas no reservatório de Funil (cerca de 53 espécies), quanto em abundância, neste caso, principalmente envolvendo espécies de *Eichornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta* (HENRY-SILVA & CAMARGO, 2005; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2008; POMPÊO, 2008).

O crescimento excessivo de macrófitas em ambientes aquáticos, no entanto, pode em muitos casos se tornar indesejável, uma vez que compromete os usos múltiplos da água, tais como os usos para irrigação, abastecimento, recreação e geração de energia (ESTEVES, 2011). Tal situação vem sendo reportada há décadas em diversas regiões do continente (HENRY-SILVA & CAMARGO, 2005; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2008;

POMPÊO, 2008). No Paraná, especificamente na região sudoeste, ocorrem diversos casos de crescimento exacerbado da macrófita flutuante livre *Salvinia* sp. em lagos e represas utilizadas para o cultivo de peixes ou para o abastecimento de água (comunicação pessoal), o que, além de alterar o equilíbrio das comunidades aquáticas, pode trazer prejuízos às atividades que envolvem o uso da água nos determinados ambientes.

Já é esperado que as taxas de crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes sejam altas em regiões tropicais e subtropicais. No entanto, para muitas espécies, como por exemplo, *Salvinia* sp., ainda não se conhecem os fatores controladores da dinâmica populacional (HENRY-SILVA & CAMARGO 2008; THOMAZ, 2002). Neste sentido, o presente estudo, ao avaliar os efeitos de diferentes concentrações de fósforo no desenvolvimento de *Salvinia* sp., sob condições subtropicais, pretende contribuir para o conhecimento da autoecologia da espécie.

O estudo foi desenvolvido na represa da Trilha Ecológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos. Sistemas experimentais em mesocosmos com área, volume e profundidade padronizados foram implantados na região pelágica da represa, buscando estabelecer condições controladas para cada tratamento. Os tratamentos foram estabelecidos em três séries que corresponderam a: sistema controle, sistema com baixas concentrações de fósforo (oligotrófico), sistema com concentrações intermediárias de fósforo (mesotrófico) e sistema com concentrações altas de fósforo (supertrófico), todos em triplicatas. Os indivíduos da macrófita *Salvinia* sp. foram inoculados em cada um dos mesocosmos ao início do experimento. O estudo foi realizado durante um período de 4 semanas durante as quais foi realizado o controle e manutenção da disponibilidade de fósforo dissolvido na água, a fim de manter o equilíbrio do estado de trofia em cada tratamento. Para averiguar as taxas de crescimento da macrófita em cada tratamento, foi avaliado semanalmente a massa fresca e seca dos indivíduos em cada experimento, acompanhadas das análises abióticas da água (nitrato, nitrogênio total, fósforo total e ortofosfato). Os dados foram analisados de forma exploratória utilizando a Análise de Correspondência Canônica. Para verificar as diferenças entre as taxas de crescimento entre os tratamentos foi utilizada

Análise de Variância e o Teste de Tuckey para avaliação das diferenças entre médias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Os estudos sobre biologia e ecologia de ecossistemas aquáticos continentais originaram-se em ambientes de regiões temperadas e, somente após algumas décadas foram expandidos para os trópicos. Inicialmente, tais estudos focaram os lagos profundos, cercados por pouca área litorânea, com ênfase na comunidade planctônica, principalmente as microalgas, em detrimento das macrófitas aquáticas (ESTEVES, 1998).

As primeiras publicações específicas sobre macrófitas aquáticas datam da década de 40, destacando-se, dentre elas, a de Arens (1946). Este autor executou experimentos pormenorizados e evidenciou a absorção de bicarbonato por várias espécies de angiospermas submersas, além de propor o primeiro modelo para explicar os mecanismos utilizados por essas plantas na absorção de bicarbonato. Esses trabalhos foram publicados na Alemanha, mas, pelo menos um deles teve realce no Brasil. Segundo Smith (1985), esta última publicação pode ser considerada uma valiosa fonte de informação sobre o tema que, infelizmente, foi negligenciada por muitos anos.

Em decorrência da influência das escolas europeia e norte-americana, também no Brasil o início dos estudos limnológicos enfatizaram a assembleia planctônica. Uma pesquisa realizada por Thomaz & Bini (2003) revelou que a Revista Brasileira de Biologia publicou apenas 0,22 trabalhos/ano sobre macrófitas aquáticas, o que representa menos de 1/3 do número de trabalhos publicados sobre a assembleia fitoplanctônica (0,93 trabalhos/ano; n = 59 anos).

Durante a década de 60 percebeu-se que a maioria dos ecossistemas aquáticos continentais do planeta são rasos e apresentam extensas áreas litorâneas. Além disso, constatou-se que as áreas alagáveis, ambientes propícios para o desenvolvimento de macrófitas aquáticas, desempenham diferentes funções e grande parte da biodiversidade desses ecossistemas pode

ser explicada pela presença de macrófitas aquáticas (MITSCH & GOSSSELINK, 1993). Por essa razão, os vegetais superiores, como as macrófitas aquáticas, passaram a ter maior relevância em estudos ecológicos aquáticos (WETZEL, 1990).

No Brasil, houve um grande avanço nos estudos e pesquisas sobre os ecossistemas aquáticos continentais entre as décadas de 70 e 90. Tal desenvolvimento pode ser atribuído a vários fatores, como a profusão e variedade de ecossistemas aquáticos, alguns dos quais ainda em estado natural, a necessidade de manejo de ambientes aquáticos já alterados pela ação antrópica, o grande interesse pela biodiversidade e a formação de especialistas após a década de 70 (THOMAZ & BINI, 2003).

Dentre os táxons de macrófitas aquáticas estudados, as flutuantes, como por exemplo, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia*, são consideradas as mais citadas na literatura, provavelmente por estarem relacionadas a vários problemas ecológicos, como a eutrofização, em todos os continentes. (GOPAL, 1987; PIETERSE; MURPHY, 1990). Além disso, essa vasta gama de estudos reflete a ampla distribuição geográfica das macrófitas citadas, ocupação de diferentes tipos de ambientes aquáticos e a maior facilidade de obtenção de dados, quando comparadas com as espécies submersas (THOMAZ & BINI 2003).

2.2 IMPORTÂNCIA DAS MACRÓFITAS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS

Macrófitas aquáticas apresentam-se com grande importância na dinâmica de ecossistemas aquáticos, pois atuam, na ciclagem de nutrientes, fornecimento de variados nichos ecológicos, abrigos para desova e proteção contra predadores para peixes e moluscos, fonte de recursos diversos para aves e manutenção da elevada riqueza de macro e micro invertebrados. Além disso, servem como indicadoras das condições abióticas e da integridade de ambientes aquáticos lênticos e lóticos (ROGRIGUES et al., 2005).

Em ambientes lênticos, representam importantes constituintes ecossistêmicos tanto na região pelágica quanto na litorânea. No entanto, merecem especial destaque nesta última região, pois por apresentarem maior riqueza e diversidade nestas áreas, colaboram para torná-las um dos compartimentos mais complexos dos ecossistemas aquáticos continentais, considerados ecótonos entre os ecossistemas terrestres e aquáticos (CUNHA-SANTINO & BIANCHINI Jr, 2006).

Por outro lado, o aumento da biomassa de determinadas espécies de macrófitas aquáticas pode comprometer os usos múltiplos de reservatórios, limitando as atividades relacionadas ao lazer (pesca, navegação, esportes náuticos, entre outros), favorecendo a infestação de insetos e outros organismos aquáticos indesejáveis, promovendo alterações na qualidade da água, mudanças em ambientes de proteção da ictiofauna e até limitação da produção de energia resultando em prejuízos econômicos (MARCONDES; MUSTAFÁ; TANAKA, 2003; CARVALHO; THOMAZ; BINI, 2003).

2.3 FATORES LIMITANTES AO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Em geral, o desenvolvimento de macrófitas aquáticas é comprometido por fatores abióticos e bióticos. Tais fatores estão ligados à distribuição de nutrientes na água e no sedimento, radiação luminosa, temperatura, velocidade da água, competição inter e intraespecíficas e morfometria do ecossistema (ESTEVES, 2011).

Quando o ambiente se torna favorável, pode ocorrer um acréscimo da produtividade e um conseqüente aumento da reprodução vegetativa e sexuada das macrófitas aquáticas (GOPAL, 1987). Quando encontradas em condições muito próximas aos limites de tolerância, esses vegetais podem realizar os processos fotossintéticos apenas o suficiente para sua sobrevivência (THOMAZ & BINI, 2003). Por outro lado, em condições consideradas ótimas, determinadas espécies podem se tornar daninhas, prejudicando os ecossistemas aquáticos. Normalmente, o crescimento excessivo desses

vegetais é resultante das atividades humanas que aumentam a disponibilidade de nutrientes nos corpos d'água, propiciando condições favoráveis ao seu desenvolvimento (SESHAVATHARAM, 1990).

2.3.1 Nutrientes

Os nutrientes presentes na água e nos sedimentos das regiões pelágicas e litorâneas são os principais fatores capazes de alterar a produtividade primária e a biomassa dos bancos de macrófitas aquáticas.

Diante das várias espécies de macrófitas aquáticas que podem ser encontradas em ecossistemas aquáticos, cabe ressaltar que os nutrientes limitantes para o seu crescimento e desenvolvimento, relacionado com as peculiaridades do habitat, podem variar de espécie para espécie. O fósforo e o nitrogênio, no entanto, são os principais nutrientes limitantes que afetam o desenvolvimento das macrófitas aquáticas, excepcionalmente de *Salvinia molesta*, pois este grupo biológico apresenta explosões populacionais decorrentes dos aportes de fósforo e nitrogênio (ESTEVES, 2011). Pesquisas realizadas em reservatórios tropicais brasileiros revelaram que altas concentrações de fósforo, provenientes da decomposição da vegetação alagada, do solo e do folhedo inundados, podem propiciar o aumento da biomassa e da produtividade primária deste grupo de macrófitas, as quais, por sua vez, são capazes de interferir na produtividade daquelas pertencentes aos demais grupos biológicos (TUNDISI, 1999).

O fósforo, associado ao nitrogênio, também é um dos principais nutrientes que desencadeia a eutrofização, processo que ocorre quando as taxas de nutrientes em um ecossistema aquático encontram-se elevadas, propiciando condições ótimas de desenvolvimento para os produtores primários. As principais causas da eutrofização estão ligadas as ações humanas que afetam diretamente ambientes lênticos e lóticos, tais como desaguamento de esgotos, erosão de encostas, dejetos agrícolas, entre outros. (CARDIGNAN & NEIFF, 1994; CARR & CHAMBERS, 1998; KOBAYASHI et al., 2008; HENRY-SILVA et al., 2008).

Uma das formas mais convenientes para testar os efeitos dos nutrientes limitantes é a execução de experimentos que mensuram a sua concentração na água, relacionando tal concentração com os demais fatores que podem interferir nas condições ambientes adequadas para a proliferação das macrófitas. Esses experimentos são capazes de apresentar as concentrações ótimas para o crescimento e desenvolvimento destes organismos em ecossistemas aquáticos lênticos (THOMAZ et al., 2007).

2.3.2 Radiação Luminosa

A radiação luminosa é um fator primário que controla a fotossíntese em ecossistemas aquáticos e influencia a composição das espécies e a adaptação morfológica e fisiológica das plantas ao serem expostas a diferentes intensidades luminosas (OSMOND & CHOW, 1988; RICHARDSON; BEARDALL; RAVEN, 1983). A quantidade de luz que atinge os corpos d'água afeta principalmente as macrófitas aquáticas submersas, tornando-se o principal fator limitante para a existência desse grupo (ESTEVEES, 2011). Esse fator está diretamente relacionado com a refração e com a absorção da radiação (ESTEVEES, 1988). A absorção se dá pelas substâncias húmicas, detritos particulados e por outros organismos clorofilados (KIRK, 1994).

Assim como os nutrientes, quando se trata de intensidade luminosa, as taxas de condições ótimas variam para cada espécie. Os percentuais fotossintéticos das macrófitas aquáticas podem aumentar linearmente com a luz para um nível de saturação; entretanto, altas intensidades luminosas tendem a inibir o desenvolvimento de diversas espécies de macrófitas aquáticas (PLATT; GALLEGOS; HARRISON, 1980). Rubim e Camargo (2001), ao estudarem as taxas de crescimento da macrófita aquática flutuante *Salvinia molesta* em um braço do Rio Preto (Bacia Hidrográfica do Rio Itanhaém, SP), constataram que radiações mais elevadas ($852 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) podem restringir o crescimento dessa espécie. Já em estudos com macrófitas submersas, Pezzato (1999) concluiu que a produção primária de *Egeria densa* apresentou

um melhor desenvolvimento em elevadas radiações fotossintéticas. Isso demonstra que a biomassa, produtividade primária e a profundidade máxima de colonização são relativamente bem previstas pela disponibilidade de radiação (CHAMBERS & KALFF, 1985; CARMAGO et al., 2003; CARRILLO et al., 2006; PIERINI & THOMAZ, 2009).

As macrófitas aquáticas flutuantes livres pertencentes ao gênero *Salvinia*, em condições ambientais ótimas, se proliferam rapidamente tomando toda a lâmina d'água de um ecossistema aquático lântico, impedindo que a radiação luminosa penetre por toda sessão vertical da coluna d'água e atinja as comunidades de macrófitas aquáticas submersas. Desta forma, é possível afirmar que o crescimento exacerbado de determinados grupos biológicos pode ser considerado fator limitante sobre os demais grupos (THOMAZ & BINI, 2003; ESTEVES, 2011).

2.3.3 Temperatura

As macrófitas aquáticas, assim como outros vegetais, apresentam ampla variação em relação às temperaturas ótimas para o crescimento populacional podendo sobreviver a temperaturas que vão de zero até 40°C (BOWES; HOLADAY; HALLER, 1979). Sendo assim, podem ser encontradas desde regiões de climas temperados até tropicais (CAMARGO et al., 2003).

Um estudo realizado por Everitt & Burkholder (1991) em um reservatório localizado no Little River (Carolina do Norte, EUA), utilizando *Lemna* sp. em duas estações do ano foi verificado que no inverno, as temperaturas amenas da água, entre 3°C a 10°C, fizeram com que toda a população da macrófita aquática flutuante livre desaparecesse do reservatório. Porém, no verão, ocorreu abundância do táxon, quando a temperatura variou em torno de 20°C, tornando-se uma ótima condição de sobrevivência para a população.

É possível afirmar que existem faixas ótimas de temperatura para cada espécie de macrófita aquática, sendo que essas faixas podem variar em função

da sazonalidade, do ambiente e da localização geográfica em que se encontram as espécies (THOMAZ & BINI, 2003).

2.3.4 Interações Ecológicas

A competição interespecífica pode ser definida como qualquer interação que afeta adversamente o crescimento e a sobrevivência de duas ou mais populações de espécies coexistentes e é capaz de provocar adaptações seletivas que facilitam a coexistência de uma diversidade de organismos em uma dada área ou comunidade (ODUM, 1988; KREBS, 1972).

Para macrófitas aquáticas, a competição está relacionada com a distribuição de nutrientes, ocupação de novos espaços, busca por luz e temperaturas favoráveis, e distúrbios intermediários (pulsos de inundação ou seca) (SILVERTOWN & DOUST, 1993). No ano de 1998, Van den Berg e colaboradores, observaram a competição entre *Chara aspera* e *Potamogeton pectinatus*, concluindo que *P. pectinatus* foi favorecida sob alta intensidade luminosa, pois conseguiu desenvolver ampla cobertura vegetal próximo à superfície da água. Em relação à competição por nutrientes, Camargo e Florentino (2000) apresentaram resultados que confirmavam que em ambientes com concentrações baixas de nutrientes, *Salvinia molesta* tem maior habilidade competitiva do que *Pistia stratiotes*.

Nas populações em que são encontrados indivíduos da mesma espécie de macrófita aquática também é possível que ocorra competição intraespecífica. Camargo e Florentino (2000) também avaliaram o processo de competição intraespecífica em uma população de *Nymphaea rudgeana* localizada no Rio Acima (Bacia do Rio Itanhaém, SP). Nos meses de outubro e novembro (final da primavera), os autores observaram 30 indivíduos/m², destacando que os indivíduos tinham pequeno porte e inexistência de rizomas, tratando-se, provavelmente, de plântulas. No mês de março (verão), foram constatados entre 3 e 4 indivíduos/m² de grande porte com rizomas bem desenvolvidos, ou seja, indivíduos adultos. A diminuição da densidade e

aumento de tamanho indicaram claramente a ocorrência de competição intraespecífica.

2.3.5 Velocidade da Água

A movimentação da água é outro fator importante que pode limitar o crescimento e até mesmo a ocorrência de macrófitas aquáticas. Essa variável pode atuar de forma direta ou indireta sobre o vegetal, intervindo na estabilidade do sedimento. Em rios, a velocidade da água tem um efeito mais acentuado sobre macrófitas aquáticas flutuantes livres, pois as mesmas não se encontram enraizadas no substrato e, desta forma, são transportadas devido à grande movimentação da coluna d'água (CAMARGO et al., 2003). Essa variável também atua sobre as espécies enraizadas, pois o sedimento se torna instável, seja pela ocorrência de áreas de intensa erosão ou pela ocorrência de áreas com intensa sedimentação, o que impede a fixação desses vegetais ao substrato (ESTEVES, 2011).

Alguns estudos realizados por Gantes e Tur (1995), Chambers et al., (1991) e Nilsson (1987) verificaram, respectivamente, queda de biomassa, desaparecimento de espécies não enraizadas após enchente devido ao aumento da velocidade de corrente, correlação negativa entre o aumento da velocidade de corrente e a biomassa vegetal e, redução do número de espécies de macrófitas emersas com o incremento da velocidade.

2.3.6 Morfometria do Ecossistema

A morfometria é capaz de afetar todos os grupos biológicos de macrófitas aquáticas, especialmente em ambientes aquáticos lênticos, em que ocorre maior grau de desenvolvimento das margens. Isso implica na relação

com outra variável, o *fetch*, que representa o grau de exposição da margem à ação dos ventos. Em locais mais expostos ao vento e com pouca densidade e biomassa, a população de macrófitas aquáticas estará mais suscetível a ser prejudicada por ondas com maior intensidade, o que dificulta o estabelecimento no local, devido a remoção do sedimento, podendo também causar danos físicos a planta (DOYLE, 2001).

Desta forma, é possível concluir que a morfometria dos ecossistemas pode indiretamente afetar a comunidade de macrófitas, por permitir distúrbios e estresses que podem afetar drasticamente a biomassa das populações (ESTEVEZ, 2011).

2.4 O GÊNERO *Salvinia* Séguier

A macrófita aquática flutuante livre *Salvinia* flutua livremente na coluna d'água de ambientes aquáticos, suas raízes permanecem na subsuperfície, sem se fixarem a nenhum substrato, ocorrendo em regiões protegidas do vento ou de pouca corrente. Apresenta caules horizontais que flutuam abaixo da superfície da água e produzem pares de folhas. Essas folhas podem ser flutuantes ou emergentes de formato ovalado ou retangular e são cobertas por cerdas brancas que formam uma camada protetora repelente à água. O gênero produz ainda, uma terceira folha marrom, altamente dividida, a qual se pendura embaixo da água, sendo facilmente confundida com raiz. A reprodução de *Salvinia* ocorre principalmente e efetivamente através de meios vegetativos, ou seja, a partir da fragmentação espontânea do caule quando a planta se torna madura. (MITCHELL; THOMAS, 1972).

Os indivíduos representantes deste gênero ocorrem com maior frequência em ambientes aquáticos de regiões tropicais. Quando as condições dos ecossistemas são favoráveis *Salvinia* tem se proliferado de forma indesejada, causando prejuízos econômicos, sanitários e mesmo ecológico (RUBIM & CAMARGO, 2001).

Os principais fatores limitantes capazes de alterar a dinâmica populacional deste gênero de macrófita aquática estão relacionados com a disponibilidade de nutrientes, temperatura, radiação luminosa e ação do vento (THOMAZ, 2003). Sabe-se que esse grupo biológico de macrófitas aquáticas possui alta capacidade de retirar nutrientes da água com grande eficiência e reduzir a quantidade de sólidos em suspensão (CANCIAN, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na represa da Trilha Ecológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. A trilha está localizada nas coordenadas 25°41'30"S e 53°06'04"W com altitude variando de 475 a 510 m, apresentando manchas de estágios iniciais e médios da sucessão florestal, com poucos em estágios finais (figura 1). Tal floresta já sofreu extração de madeira. A vegetação original é classificada como Floresta Estacional Semidecidual em transição para Floresta Ombrófila Mista (MAACK, 1981).

A localidade situa-se em substrato de derrame basáltico antigo, do terceiro planalto paranaense e o solo predominante na região é o Latossolo roxo de textura argilosa. O clima é caracterizado como do tipo Cfa subtropical úmido mesotérmico com verão quente, sem estação seca definida. Apresenta variações de temperatura, estação mais quente acima de 22°C e inferior a 18°C no mês mais frio. Geadas são frequentes, ventos com direção predominantes sul-sudeste com tempo bom e norte-nordeste em períodos de precipitações. A umidade relativa do ar varia em média de 64 a 74% e precipitação pluviométrica entre 1.800 a 2.200 mm bem distribuída ao longo do ano (MAACK, 1981).

Os dados climatológicos foram obtidos pela central de estação meteorológica (propriedade do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET), localizada na própria instituição de ensino. Os dados foram disponibilizados pelo Grupo de Estudos em Biometeorologia (GEBIOMET) da UTFPR-DV.

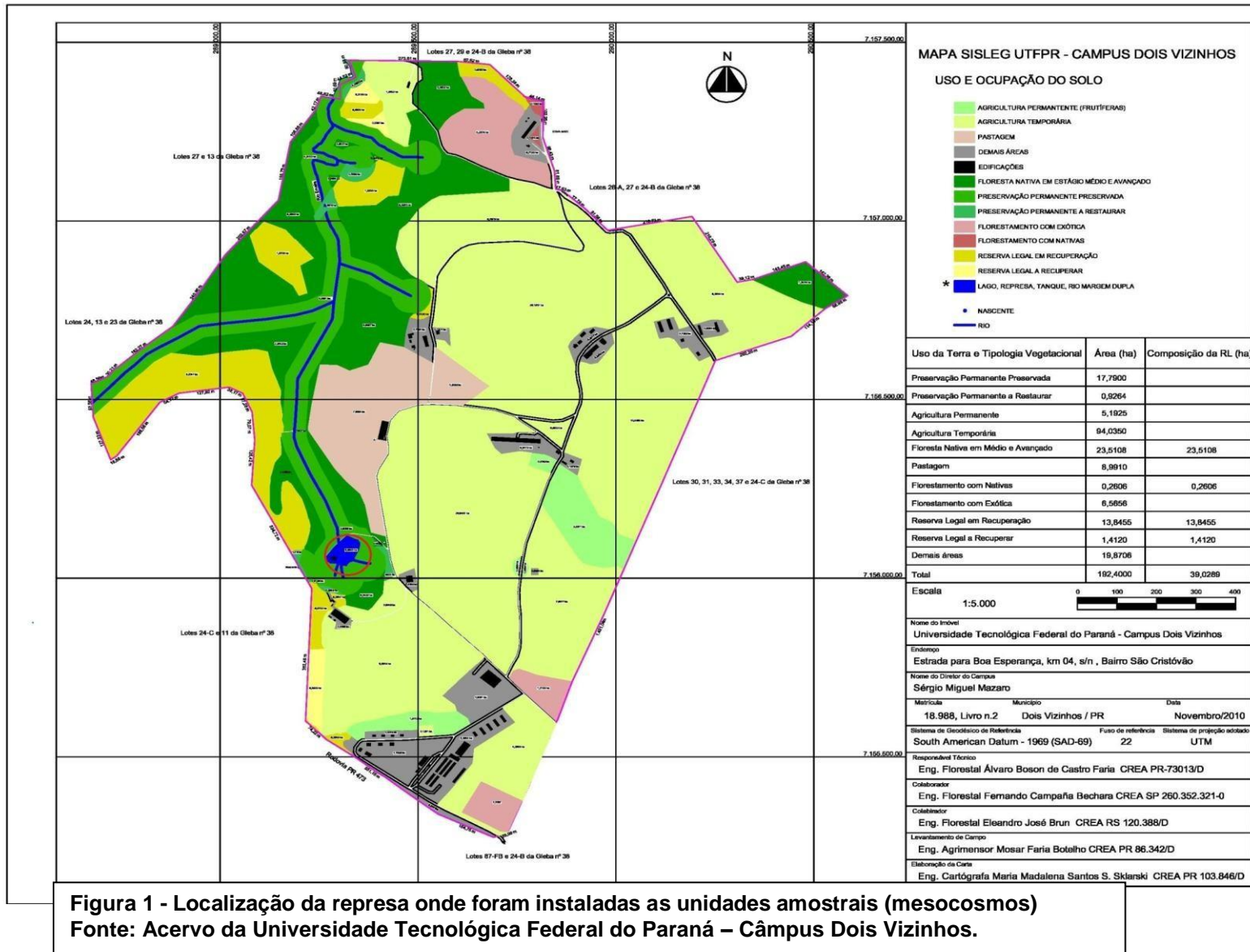


Figura 1 - Localização da represa onde foram instaladas as unidades amostrais (mesocosmos)
Fonte: Acervo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

3.2.1 Unidades Experimentais

Mesocosmos são sistemas experimentais ao ar livre, considerados modelos simplificados dos processos que ocorrem na natureza. Consistem em uma maneira de avaliar por meio de experimentação, porém de forma realista, as condições ambientais e suas alterações ao longo do tempo, podendo assim contribuir de forma significativa para a compreensão dos processos ecológicos (ODUM, 1988).

Para avaliar a influência do fósforo sobre o desenvolvimento de *Salvinia* sp. foi realizado *in situ* o enriquecimento artificial da água de crescimento da macrófita, por meio da instalação de mesocosmos, que representam as unidades experimentais do trabalho. Os mesocosmos consistiram de estruturas retangulares confeccionadas com plástico resistente, com 37 cm de altura, 63 cm de comprimento e 34 cm de largura, e capacidade volumétrica total de 78 litros (figura 2). O suporte dos mesmos foi feito utilizando canos de PVC desmontáveis, com cerca de 70 mm de diâmetro e 1,5 m de comprimento, fechados nas extremidades, anexados por arrames nas laterais dos mesocosmos, criando um sistema de flutuação. Além disso, linhas de nylon com espessura de 0,80 mm foram transpassadas nas perfurações laterais das estruturas e amarradas em estacas e árvores na região litorânea da represa garantindo maior eficácia no sistema de implantação. Cada mesocosmo conteve um sistema de 6 orifícios de 50 mm de diâmetro, sendo que cada orifício foi fechado por potes plásticos. Tal sistema de aberturas possibilitou o fluxo de água para renovação dos nutrientes, quando necessário. Após a montagem, os mesocosmos foram implantados na região pelágica da represa, em linha reta garantindo a circulação do fluxo de água (figura 3).

Ao longo do período de delineamento experimental, as atividades foram desenvolvidas com auxílio de um barco, disponibilizado pela própria instituição de ensino.

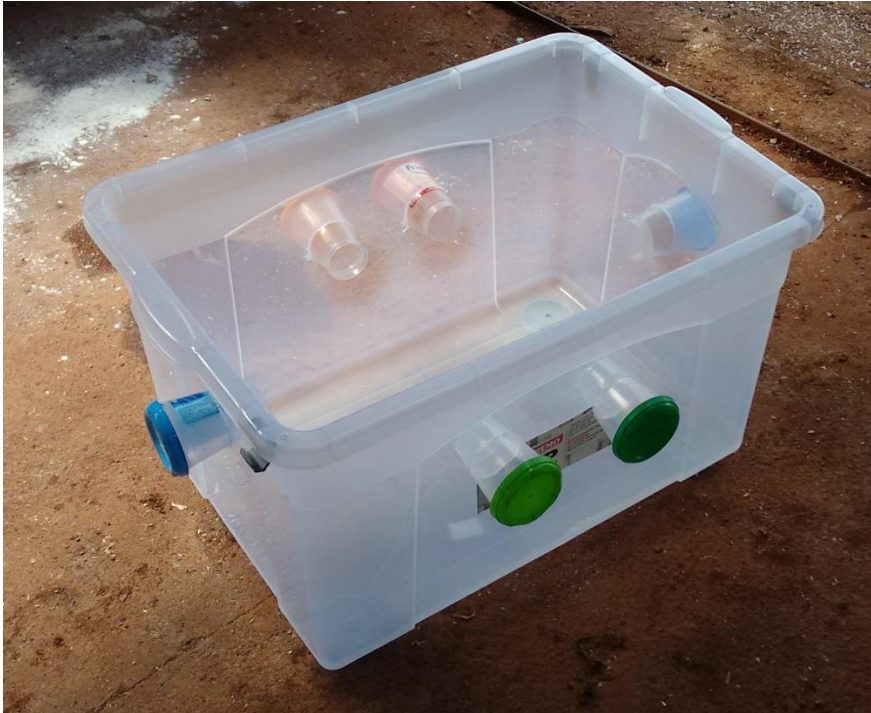


Figura 2 - Esquema de mesocosmo utilizado no experimento
Fonte: Acervo do autor.



Figura 3 - Represa da Trilha Ecológica onde os mesocosmos foram implantados
Fonte: Acervo do autor.

3.2.2 Período Experimental

Na semana que antecedeu o início do experimento, as macrófitas aquáticas utilizadas no trabalho foram coletadas em um lago artificial localizado em uma propriedade rural do município de Prudentópolis, região Centro Sul do Paraná. Após o transporte até a área experimental, as macrófitas foram selecionadas avaliando o tamanho e peso aproximado e, em seguida, divididas em 12 grupos (quantidade total de mesocosmos) de 5 plantas em cada. Posteriormente, os indivíduos selecionados foram dispostos nas unidades experimentais para aclimação (1 semana) ao novo ambiente (oligotrófico) e após 7 dias, os indivíduos de *Salvinia* foram retirados dos mesocosmos e realizada a primeira pesagem.

O experimento foi conduzido durante o período de 4 semanas com as adições de nitrogênio e fósforo, sendo as duas últimas semanas do mês de abril e as duas primeiras do mês de maio de 2015.

3.2.3 Enriquecimento

O sistema de enriquecimento foi realizado por pulsos de adição crescente de nutrientes nas unidades experimentais, mantendo uma condição de boa disponibilidade de nitrogênio (razão N/P = 44) e aumentando a concentração de fósforo. Os tratamentos foram estabelecidos em três séries que corresponderam a (figura 4):

Tratamento controle (C): sem adição de nutrientes;

Tratamento 1 Oligotrófico (O): com adição de concentração de fósforo que permitiu estabelecer uma condição oligotrófica da água (KH_2PO_4 - 0,0075g e KNO_3 - 0,24g);

Tratamento 2 Mesotrófico (M): com adição de fósforo que permitiu estabelecer uma condição mesotrófica da água (KH_2PO_4 - 0,025g e KNO_3 - 0,80g);

Tratamento 3 Supertrófico (S): com adição de fósforo que permitiu estabelecer uma condição supertrófica da água (KH_2PO_4 - 0,1g e KNO_3 - 3,20g).

Todos os tratamentos foram realizados em trélicas, totalizando 12 unidades experimentais.

Os enriquecimentos foram feitos utilizando fosfato monobásico de potássio (KH_2PO_4 PA) e nitrato de potássio (KNO_3 PA). Massa específica destes sais, necessária para atingir a condição de trofia desejada em cada unidade experimental, foi dissolvida na água dos mesocosmos. Os cálculos para avaliar a massa necessária destes sais foram feitos levando-se em consideração as concentrações de nitrogênio e fósforo já existentes na água da represa e de acordo com o volume total dos mesocosmos, previamente aferido. As concentrações de fósforo total (PT) dos tratamentos foram baseadas em Lamparelli (2004) (tabela 1).

Os enriquecimentos foram realizados a cada semana, durante o intervalo de estudo com a renovação da água dentro das unidades experimentais.

Tabela 1. Índice de Estado Trófico e equivalência das medidas de Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), clorofila a (mg.L^{-1}) e transparência em reservatórios (m), de acordo com Lamparelli (2004).

Classificação do Estado Trófico em Reservatórios				
Nível trófico	Fósforo Total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Clorofila a (mg.L^{-1})	S (m)	IET
Ultraoligotrófico	$P \leq 8$	$1,17 \leq CL$	$S \geq 2,4$	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$8 < P \leq 19$	$1,17 < CL \leq 3,24$	$2,4 > S \geq 1,7$	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$19 < P \leq 52$	$3,24 < CL \leq 11,03$	$1,7 > S \geq 1,1$	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$52 < P \leq 120$	$11,03 < CL \leq 30,55$	$1,1 > S \geq 0,8$	$59 < IET \leq 63$
Supertrófico	$120 < P \leq 233$	$30,55 < CL \leq 69,05$	$0,8 > S \geq 0,6$	$63 < IET \leq 67$
Hipertrófico	$P > 233$	$69,05 < CL$	$S < 0,6$	$IET > 67$

Os enriquecimentos foram realizados a cada semana, com auxílio de um barco, durante o intervalo de estudo, devido à necessidade de renovação da água dentro das unidades experimentais.



Figura 4 - Esquema de instalação dos tratamentos em mesocosmos no lago.
Abreviações: C = tratamento controle, O = tratamento oligotrófico, M = tratamento mesotrófico, S = tratamento supertrófico
Fonte: Acervo do autor.

3.2.4 Inoculação das Macrófitas Aquáticas

Semanalmente, todos os indivíduos de cada mesocosmo foram coletados e pesados, retirando-se o excesso de água, durante cinco minutos segundo metodologia utilizada por Agami & Reddy (1990). Antes de ser acondicionada novamente nos mesocosmos, a solução nutritiva remanescente nas unidades experimentais era descartada, através da retirada dos potes. Enquanto as macrófitas eram levadas ao laboratório para pesagem, os mesocosmos permaneciam vazios, permitindo que ocorresse a circulação da água e diluição dos sais em toda a represa. Somente após a pesagem os mesocosmos eram reestabelecidas com novo fluxo de água a qual recebeu nova dosagem de nutrientes. Posteriormente a esse processo os indivíduos de *Salvinia* foram devolvidos aos respectivos mesocosmos.

3.3 AMOSTRAGEM

3.3.1 Análise Química da Água

As amostragens foram realizadas semanalmente para controle e manutenção da disponibilidade de fósforo e nitrogênio dissolvido na água, a fim de manter o equilíbrio do estado de trofia em cada tratamento. As coletas foram realizadas em duas etapas, pré-enriquecimento, que consiste na tomada da água que está entrando no mesocosmo antes da adição dos nutrientes; e pós-enriquecimento, que consiste na tomada da água depois do enriquecimento. A coleta desta segunda etapa era realizada depois de se passarem 24 horas após o enriquecimento.

Tanto na etapa de pré-enriquecimento quanto na etapa de pós-enriquecimento, foram avaliadas as seguintes variáveis físico-químicas da água: nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$), nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$), fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e fósforo inorgânico (ortofosfato) ($\mu\text{g.L}^{-1}$), usando métodos analíticos.

A água para a determinação das variáveis físicas e químicas foi coletada da subsuperfície com garrafas de polietileno e acondicionada em caixas térmicas para serem transportadas até o laboratório de Microscopia II da instituição onde foram analisadas.

3.3.2 Variáveis Biológicas

As amostras de macrófitas desenvolvidas no mesocosmo foram coletadas diretamente de cada módulo experimental por método manual (Figura 5). Após cada coleta semanal as amostras foram acondicionadas em bandejas de alumínio e armazenadas em caixas de isopor para serem transportadas até o laboratório de microscopia 2 da instituição, onde passaram

pelas análises de massa fresca (gMF/m^2) e Massa seca (gMS/m^2) (obtida usando regressão linear simples). O cálculo a ser utilizado para as medidas seguiu o proposto por Mitchell & Tur (1975) que representa a Taxa de Crescimento Relativo (RGR).

$$\text{RGR} = (X_2 - X_1) / (T_2 - T_1)$$

Em que,

RGR = Taxa de crescimento relativo

$(X_2 - X_1)$ = valores de massa seca (g.m^2) nos tempos $(T_2 - T_1)$ respectivamente.



Ilustração 5 – Indivíduos de *Salvinia* sp. Círculos vermelhos evidenciam a presença de folhas amareladas de *Salvinia* indicando início de senescência

Fonte: acervo do autor.

3.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para verificar as diferenças entre os tratamentos quanto aos valores de nutrientes e massa seca foi utilizada Análise de Variância (ANOVA *one-way*) (SOKAL & ROHLF, 1995), seguido pelo Teste de Tuckey para avaliação das diferenças entre médias.

Como análise exploratória, foi utilizada a Análise de Correspondência canônica (ACC), que ordenou as unidades amostrais em função das variáveis abióticas e bióticas, a partir de matrizes de covariância, com os dados transformados pela amplitude de variação ($\log(x+1)$). A transformação foi realizada com o intuito de normalizar as diferenças nas escalas dos valores das variáveis.

Os programas estatísticos utilizados foram MINITAB (versão 14.1) (Copyright © 2004) para a análise descritiva dos dados e análise de variância, WINMAT para a transformação dos dados e PCORD (versão 5.1 para Windows) (MCCUNE & MEFFORD, 1999) para a Análise de Correspondência canônica.

4 RESULTADOS

4.1 DADOS CLIMATOLÓGICOS

A temperatura do ar na região onde o experimento foi desenvolvido variou entre 7,5 °C no dia 26/04 (sexto dia de experimento) e 30,4 °C (02/05), e entre 3,3 °C (vigésimo dia de experimento) e 27,4 °C (23/05), com média de 16 °C no mês de maio (GEBIOMET, 2015).

Tabela 2 - Temperatura (°C) e precipitação (mm) regionais diárias durante o período experimental

Dia/mês	Temperatura	Precipitação
21/abr	21,3	0,34
22/abr	20,1	0,23
23/abr	20,2	0
24/abr	18,3	0
25/abr	16,8	0,0083
26/abr	15,4	0,0083
27/abr	15,7	0
28/abr	16,8	0
29/abr	16,4	0
30/abr	16,5	0,1
01/mai	16,5	0
02/mai	16,5	0
03/mai	15,1	2
04/mai	16,6	0
05/mai	12,7	0
06/mai	15,1	0
07/mai	15,3	0
08/mai	14,8	0
09/mai	14,7	0
10/mai	16,4	1,3
11/mai	15,3	0
12/mai	14	0
13/mai	16,3	0
14/mai	14,7	0
15/mai	16,1	0

Fonte: Gebiomet (2015).

A precipitação máxima (24h) registrada em abril foi de 18,6 mm no dia 17/04 (segundo dia do experimento), e a média mensal foi de 0,1 mm, sendo que choveu neste mês 4 dias durante a realização do experimento. Maio apresentou apenas 2 dias com chuva durante o período experimental, sendo que a precipitação média foi de 0,3 mm e a máxima registrada em 24 horas, 75,8 mm no dia 24/05, ou seja, após o encerramento do período experimental (GEBIOMET, 2015).

4.2 VARIÁVEIS QUÍMICAS DA ÁGUA DOS MESOCOSMOS.

Os valores semanais das variáveis físicas e químicas da água de cada tratamento (n=3) estão apresentados na tabela 3. Considerando as médias semanais de cada tratamento durante o período experimental verificou-se que a concentração dos nutrientes fósforo total, ortofosfato, nitrogênio total e nitrato apresentaram valores inferiores nos tratamentos controle e oligotrófico e superiores nos tratamentos mesotrófico e supertrófico. De acordo com classificação de Lamparelli (2004), as concentrações de PT adicionadas nos tratamentos foram mantidas nos estados de trofia estipulados para o experimento, na primeira, segunda e terceira semana. Na quarta semana, o aumento da disponibilidade de PT na água dos mesocosmos, alterou o estado de trofia estipulado nos tratamentos controle e oligotrófico que passaram a ser considerados supertrófico, mesotrófico sendo eutrófico e apenas o tratamento supertrófico manteve-se no padrão.

A razão molar N:P se manteve sempre acima do limite mínimo considerado ideal (44) em quase todos os tratamentos, exceto no controle da primeira semana experimental e nos tratamentos supertróficos da segunda, terceira e quarta semanas. Ainda, na quarta semana, a razão molar N:P ficou em torno de 35, um pouco abaixo da ideal.

Tabela 3 - Valores médios das concentrações ($\mu\text{g.L}^{-1}$), desvio padrão e coeficiente de variação em porcentagem (entre parênteses) das variáveis Fósforo Total (PT), Ortofosfato (PO_4^{-3}), Nitrogênio Total (NT), Nitrato (NO_3^{-}) e razão molar Nitrogênio-Fósforo (N:P) nos tratamentos controle (C), oligotrófico (O), mesotrófico (M) e supertrófico (S), durante quatro semanas de experimento

	Tratamentos	PT	PO4	NT	NO3	NP
1ª semana	Controle	8,8 ($\pm 4,5/52,2$)	9,0 ($\pm 0,4/4,4$)	215,5 ($\pm 81,1/37,6$)	123,6 ($\pm 12,2/9,8$)	30
	Oligotrófico	21,8 ($\pm 2,3/10,6$)	7,2 ($\pm 15,3/89,7$)	417,4 ($\pm 11,3/2,7$)	413,5 ($\pm 78,3/18,9$)	88
	Mesotrófico	35,0 ($\pm 4,7/13,6$)	17,1 ($\pm 2,2/66,4$)	3979,1 ($\pm 2,0/4,1$)	10039,2 ($\pm 73,1/26,2$)	4056
	Supertrófico	193,8 ($\pm 10,1/5,2$)	238,5 ($\pm 15,5/6,5$)	3795,3 ($\pm 26,9/173,2$)	7073,5	197
2ª semana	Controle	4,0 ($\pm 0/0$)	4,0 ($\pm 0,7/22,4$)	26,8 ($\pm 3,6/13,5$)	170,3 ($\pm 49,6/29,1$)	97
	Oligotrófico	4,0 ($\pm 1,8/937,2$)	4,0 ($\pm 6,3/96,9$)	32,4 ($\pm 4,5/14$)	393,1 ($\pm 195/49,6$)	210
	Mesotrófico	19,4 ($\pm 4,8/24,4$)	14,3 ($\pm 182,1/152$)	3719,7 ($\pm 1,2/2,6$)	740,6 ($\pm 0,2/1,1$)	126
	Supertrófico	125,5	259,2 ($\pm 114/51$)	2098,7 ($\pm 6,4/25$)	553,3 ($\pm 1,5/9,9$)	6
3ª semana	Controle	8,6 ($\pm 8,6/101,2$)	5,0 ($\pm 1,7/37,1$)	231,6 ($\pm 64,6/28$)	165,0 ($\pm 64,6/27,9$)	77
	Oligotrófico	11,7 ($\pm 13/110$)	7,4 ($\pm 3,4/46,7$)	378,5 ($\pm 59,5/16$)	481,9 ($\pm 59,6/15,7$)	169
	Mesotrófico	50,1 ($\pm 2/150$)	6,7 ($\pm 2,4/36$)	164,3 ($\pm 7,9/28,7$)	189,1 ($\pm 7,9/28,7$)	66
	Supertrófico	79,7 ($\pm 16,5/25$)	72,5 ($\pm 13,4/18,6$)	1277,0 ($\pm 67,6/31,8$)	153,9 ($\pm 67,6/31,7$)	5
4ª semana	Controle	153,9 ($\pm 26,5/17,2$)	4,4 ($\pm 1,4/31$)	122,8 ($\pm 17,7/14,4$)	118,5 ($\pm 17,6/15$)	56
	Oligotrófico	157,6 ($\pm 37,1/23,5$)	21,9 ($\pm 6,2/28,2$)	291,7 ($\pm 323,9/111$)	287,7 ($\pm 45,3/15,5$)	32
	Mesotrófico	112,9 ($\pm 50,3/44,5$)	50,9 ($\pm 8,3/16,3$)	484,5 ($\pm 3,5/4,3$)	831,1 ($\pm 8,0/5,8$)	37
	Supertrófico	276,9 ($\pm 36,8/13,3$)	395,1 ($\pm 17,2/4,3$)	280,3 ($\pm 12,1/26$)	2371,2 ($\pm 42/10,6$)	13

Nos resultados obtidos através da Análise de variância (ANOVA – One Way) e pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$), para as variáveis ortofosfato, fósforo total, nitrato e nitrogênio total, observou-se diferença significativa entre os tratamentos com menores e maiores concentrações de nutrientes, controle e supertrófico, seguindo este padrão durante todo o período experimental. Já para as concentrações próximas aos limites do estado trofia, controle e oligotrófico, apenas na terceira e quarta semana de experimento foi verificado

diferença significativa entre os tratamentos, nos demais, os valores não foram significativos (tabela 4).

Tabela 4 - Resultados da Análise de variância (ANOVA – One Way) para as variáveis ortofosfato, fósforo total, nitrato e nitrogênio total, entre os tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico, no decorrer do período experimental

Variável	Período Experimental			
	1 ^a . semana	2 ^a . semana	3 ^a . Semana	4 ^a . semana
Ortofosfato	$F = 324,22$ $P = 0,000$	$F = 14,75$ $P = 0,001$	$F = 65,55$ $P = 0,000$	$F = 1022,77$ $P = 0,000$
Controle X Oligotrófico	NS	NS	NS	NS
Controle X Mesotrófico	NS	NS	NS	*
Controle X Supertrófico	*	*	*	*
Oligotrófico X Mesotrófico	NS	NS	NS	*
Oligotrófico X Supertrófico	*	*	*	*
Mesotrófico X Supertrófico	*	*	*	*
Fósforo Total	$F = 593,43$ $P = 0,000$	$F = 2743,96$ $P = 0,000$	$F = 9,8$ $P = 0,005$	$F = 12,46$ $P = 0,002$
Controle X Oligotrófico	NS	NS	NS	NS
Controle X Mesotrófico	*	*	*	NS
Controle X Supertrófico	*	*	*	*
Oligotrófico X Mesotrófico	*	*	*	NS
Oligotrófico X Supertrófico	*	*	*	*
Mesotrófico X Supertrófico	*	*	NS	*
Nitrato	$F = 172,00$ $P = 0,000$	$F = 16,15$ $P = 0,001$	$F = 66,87$ $P = 0,000$	$F = 186,58$ $P = 0,000$
Controle X Oligotrófico	NS	NS	*	NS
Controle X Mesotrófico	*	*	NS	*
Controle X Supertrófico	*	*	NS	*
Oligotrófico X Mesotrófico	*	*	*	*
Oligotrófico X Supertrófico	*	*	*	*
Mesotrófico X Supertrófico	*	*	NS	*
Nitrogênio Total	$F = 366,34$ $P = 0,000$	$F = 136,39$ $P = 0,000$	$F = 17,60$ $P = 0,001$	$F = 19,63$ $P = 0,000$
Controle X Oligotrófico	NS	NS	NS	*
Controle X Mesotrófico	NS	*	NS	NS
Controle X Supertrófico	*	*	*	NS
Oligotrófico X Mesotrófico	*	*	NS	*
Oligotrófico X Supertrófico	*	*	*	NS
Mesotrófico X Supertrófico	NS	*	*	*

4.3 VARIÁVEIS BIÓTICAS

As médias das Massas Frescas (gMF.m²) e Secas (gMS.m²) estão apresentadas na tabela 5 e gráfico 1. O aparente ganho de massa fresca foi notificado logo na primeira semana experimental (7 dias) nos tratamentos controle, oligotrófico e supertrófico, apenas no tratamento mesotrófico (410,5 gMF.m²) teve redução mínima de massa fresca em relação ao peso inicial (448,5 gMF.m²). Do sétimo ao vigésimo oitavo dia de experimento, todos os tratamentos obtiveram elevado ganho de massa fresca, exceto aos 14 dias, onde o tratamento controle (414,3 gMF.m²) reduziu sua massa, voltando a apresentar ganho na terceira semana (21 dias). De modo geral, durante todo o período experimental os maiores ganhos de massa fresca foram apresentados no tratamento mesotrófico o qual apresentou média final de 529,5 gMF.m².

Tabela 5 – Valores médios de Massa Fresca (gMF.m²) e Massa Seca (gMS.m²), entre parênteses desvio padrão (DV) e coeficiente de variação (CV%) da *Salvinia* nos tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico durante as quatro semanas de experimento

Tratamentos	0 dias	1ª semana (7 dias)	2ª semana (14 dias)	3ª semana (21 dias)	4ª semana (28 dias)	Média
Controle	408,3	425,5	414,3	458,2	521,5	445,6
	(±48,3/11,8)	(±48,2/11,3)	(±13,9/3,4)	(±16,4/3,6)	(±9,9/1,9)	(±46,6/10,5)
	38,7	23,5	25,9	29,4	28,5	29,2
	(±3,8/9,9)	(±0,8/3,3)	(±0,9/3,5)	(±0,5/1,9)	(±0,7/2,5)	(±5,8/19,9)
Oligotrófico	405,8	408,8	478,0	528,6	581,1	480,4
	(±40,2/9,9)	(±37,5/9,2)	(±90,2/18,9)	(±90,1/17,0)	(±106,9/18,)	(±76,1/15,8)
	51,7	27,0	29,7	32,6	29,3	34,1
	(±3,8/7,4)	(±4,9/18,3)	(±4,9/16,6)	(±5,8/17,9)	(±4,5/15,3)	(±10,1/29,6)
Mesotrófico	448,5	410,5	644,0	798,7	875,2	635,4
	(±13,8/3,1)	(±40,6/9,9)	(±47,1/7,3)	(±81,3/10,1)	(±98,0/11,2)	(±206/32,4)
	73,8	36,1	44,5	48,7	45,8	49,8
	(±26,8/36,4)	(±2,6/7,2)	(±4,5/10,0)	(±5,4/11,0)	(±5,5/12,1)	(±14,2/28,2)
Supertrófico	377,7	410,4	515,8	632,3	794,8	546,1
	(±66,5/17,6)	(±84,0/20,5)	(±62,5/12,1)	(±20,6/3,2)	(±70,4/8,9)	(±171/31,3)
	127,8	29,0	35,4	44,3	37,2	54,7
	(±3,6/2,8)	(±3,4/11,8)	(±1,1/3,2)	(±3,9/8,7)	(±4,1/11,1)	(±41,2/75,2)

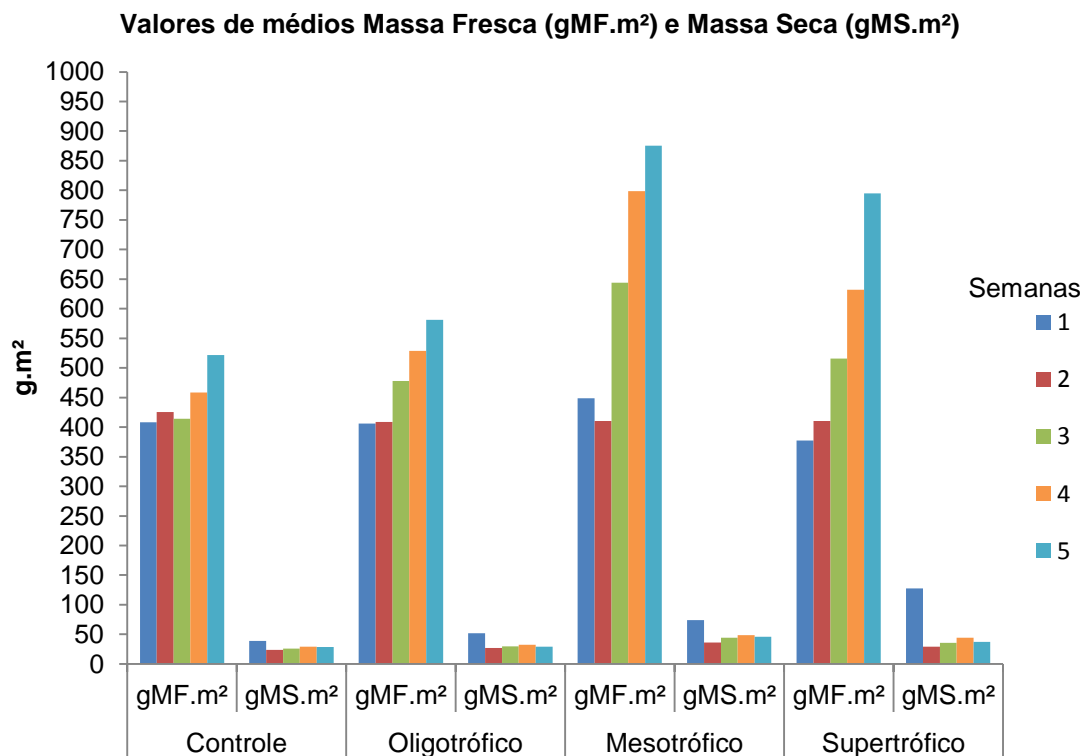


Gráfico 1 – Relação das Massas frescas (gMf.m²) e secas (gMS.m²) de *Salvinia* nos tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico, durante o período experimental

Com base nos resultados da Análise de Variância (ANOVA – One Way) e teste de Tuckey ($p < 0,05$), os valores de massa seca inicial foram significativamente diferentes dos valores de massa seca das demais semanas do experimento, em todos os tratamentos. Da mesma forma, a massa seca foi significativamente diferente entre os tratamentos controle e mesotrófico, controle e supertrófico, oligotrófico e mesotrófico, oligotrófico e supertrófico durante as quatro semanas de experimento. Já nos tratamentos controle e oligotrófico, a massa seca não foi diferente em nenhum período do experimento, assim como ocorreu nos tratamentos mesotrófico e supertrófico em todas as semanas experimentais, exceto na segunda (tabela 6).

Tabela 6 - Resultados da Análise de variância (ANOVA – One Way) para a variável massa seca (g), entre tratamentos Controle, Oligotrófico, Mesotrófico e Supertrófico, no decorrer do período experimental. F = valor da estatística do teste F, P = valores de probabilidade, * = tratamentos com diferença significativa pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$), NS = tratamentos sem diferença significativa pelo teste de Tuckey

Variável	Período Experimental				
	Massa Inicial	1ª. semana	2ª. Semana	3ª. semana	4ª. Semana
	$F = 1,31$ $P = 0,337$	$F = 7,78$ $P = 0,009$	$F = 17,01$ $P = 0,001$	$F = 13,2$ $P = 0,002$	$F = 8,17$ $P = 0,008$
Controle X Oligotrófico	NS	NS	NS	NS	NS
Controle X Mesotrófico	NS	*	*	*	*
Controle X Supertrófico	NS	*	*	*	*
Oligotrófico X Mesotrófico	NS	*	*	*	*
Oligotrófico X Supertrófico	NS	*	*	*	*
Mesotrófico X Supertrófico	NS	NS	*	NS	NS

A taxa de crescimento relativo aumentou da primeira até a terceira semana de experimento, na maioria dos tratamentos (exceto no tratamento mesotrófico). Na quarta semana experimental houve um decréscimo da taxa de crescimento em todos os tratamentos e a maior queda ocorreu no tratamento oligotrófico. Comparativamente, os tratamentos controle e oligotrófico apresentaram o mesmo padrão de variação das taxas de crescimento, exceto na primeira semana, em que não foi observado crescimento no tratamento controle. As maiores taxas de crescimento foram observadas nos tratamentos mesotrófico e supertrófico, porém no mesotrófico, houve queda acentuada do crescimento já a partir da primeira semana. O supertrófico, ao contrário, manteve crescimento ascendente e constante até a terceira semana de experimento (gráfico 2).

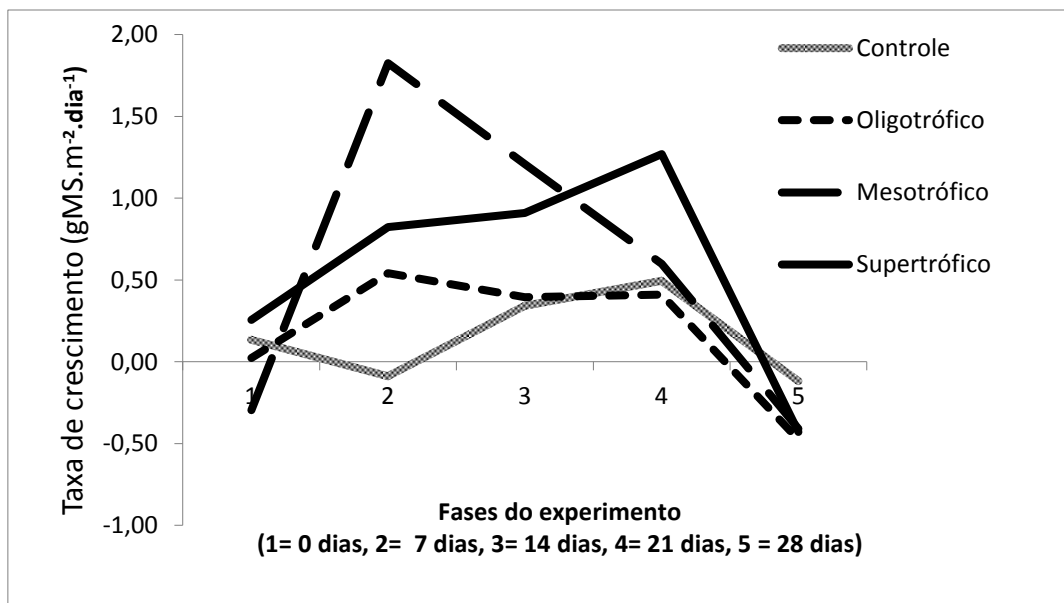


Gráfico 2 – Taxa de crescimento (gMS.m².dia⁻¹) de *Salvinia* nos tratamentos controle, oligotrófico, mesotrófico e supertrófico, durante o período experimental

4.4 ANÁLISE INTEGRADA DAS VARIÁVEIS ABIÓTICAS E BIÓTICAS

A análise de correspondência canônica (ACC) foi realizada com duas variáveis abióticas (PT e N:P) e três bióticas (massa fresca, massa seca e taxa de crescimento relativo) em quatro tratamentos. Os autovalores para o eixo 1 (0,086) e 2 (0,000) explicaram 34,4% da variabilidade dos dados. As correlações espécie-ambiente de Pearson para o eixo 1 (0,599) indicou relação entre as variáveis abióticas e a distribuição das variáveis bióticas ao longo do período estudado e das unidades amostrais. O teste de Monte Carlo demonstrou correlação entre o crescimento das macrófitas e as condições nutricionais de cada tratamento, no referido eixo (tabela 6). Os coeficientes canônicos e as correlações “intra-set” e “inter-set” para o eixo 1 mostraram que a razão molar N:P e o PT influenciaram na distribuição das unidades amostrais (tabela 7).

Tabela 7 - Síntese da ACC entre variáveis abióticas fósforo total (PT) e razão nitrogênio e fósforo inorgânicos (NP), variáveis biológicas massa fresca (MFRES), massa seca (MSECA) e taxa de crescimento (TxCRES) nos tratamentos Controle, Oligotrófico, Mesotrófico e Supertrófico, durante o período experimental

	Eixo 1	Eixo 2	
Autovalores (λ)	0,086	0,000	
Variância explicada	34,3	0,1	
Explicabilidade acumulada	34,3	34,4	
Correlação de Pearson (espécie-ambiente)	0,599	0,177	
Teste de Monte-Carlo (p) – autovalores	0,05	0,51	
Teste de Monte Carlo (p) - correlações espécie-ambiente	0,05	0,43	
Código	Variável		
MSECA	Massa Seca	-0,351	0,191
MFRES	Massa Fresca	0,507	0,120
TxCRES	Taxa de Crescimento	0,346	0,168

Tabela 8 - Correlações *intras*et com eixos, coeficientes canônicos e correlações *inter*set da ACC entre variáveis abióticas e biológicas do experimento.

	Correlações com os eixos (<i>intras</i> et)		Coeficientes canônicos		Correlações <i>inter</i> set	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
PT	-0,820	0,572	-0,150	0,187	-0,481	0,101
NP	0,982	0,190	0,452	0,156	0,588	0,034

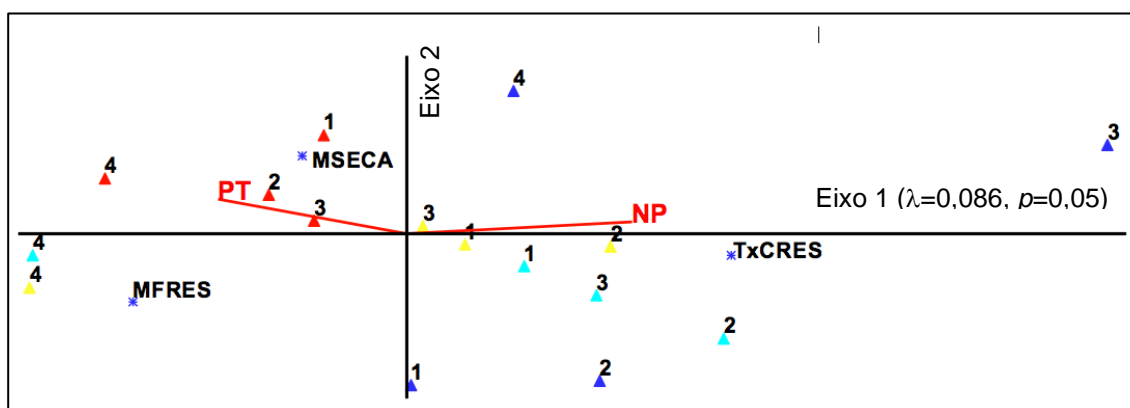


Gráfico 3 - Análise de Correspondência Canônica (ACC) entre variáveis abióticas fósforo total (PT) e razão nitrogênio e fósforo inorgânicos (NP), variáveis biológicas massa fresca (MFRES), massa seca (MSECA) e taxa de crescimento (TxCRES) nos tratamentos Controle (azul), Oligotrófico (verde), Mesotrófico (amarelo) e Supertrófico (vermelho), durante o período experimental (semanas 1, 2, 3 e 4)

Do lado negativo do eixo 1, situaram-se os tratamentos controle da terceira e quarta semana e mesotrófico da terceira semana, associados aos maiores valores de fósforo total e menores da razão molar N:P e taxa de crescimento. Do lado positivo, situaram-se os tratamentos controle da primeira e segunda semanas, oligotrófico da primeira, segunda e terceira semanas, mesotrófico da primeira e segunda semanas, associados aos maiores valores de razão molar N:P. No quadrante superior negativo do gráfico ficaram associados o tratamento supertrófico e massa seca relacionados à alta disponibilidade de fósforo total (PT) (gráfico 3).

5 DISCUSSÃO

As temperaturas e os índices pluviométricos evidenciados durante o período experimental foram em geral propícios para o crescimento e desenvolvimento das macrófitas em todos os tratamentos, durante as quatro semanas de experimento. Bowes, Holaday & Haller (1979) em um estudo de caso sobre macrófitas aquáticas flutuantes, comprovaram que esses vegetais quando submetidos à variação de temperatura entre 0 a 40 °C conseguem se desenvolver e completar seu ciclo de vida. Notificaram ainda que temperaturas mais elevadas favorecem o desenvolvimento de macrófitas aquáticas de diversos grupos. Em regiões de clima subtropical e tropical onde as temperaturas médias variam próximas a 20 °C, estudos demonstram que as macrófitas aquáticas desenvolvem-se ao longo de todo o ano, geralmente com maior período de crescimento no verão (Piedade et al., 1991; Junk & Piedade, 1993; Pompêo, 1996).

As condições climáticas notificadas durante o período de estudo, em um ambiente aquático subtropical, favoreceram o crescimento das plantas aquáticas decorrentes da variação de temperaturas médias. Além desse fator, a adição de nutrientes pode induzir o aparecimento de condições favoráveis para o desenvolvimento destes vegetais (CUNHA-SANTINO & BIANCHINI, 2006).

Embora macrófitas aquáticas flutuantes normalmente proliferem em ambientes com altas concentrações de nitrogênio e fósforo, as necessidades nutricionais das espécies podem ser bastante distintas (CAMARGO et al., 2003). Estudos já reportaram que *Salvinia*, quando inoculada em experimentos a campo onde ocorre controle na disponibilidade de nutrientes e interação com outras espécies de macrófitas aquáticas flutuantes, indivíduos deste gênero conseguem se sobressair dentre os demais aumentando sua taxa de crescimento mesmo em concentrações baixas de nutrientes (BENASSI & CAMARGO, 2001; LIMA; REISSMANN; TAFFAREL, 2005). Desta forma, *Salvinia* pode estar entre as primeiras colonizadoras da superfície da água durante infestações em ecossistemas aquáticos tropicais, mesmo em

condições de baixa disponibilidade de nutrientes (HENRY-SILVA; CAMARGO; PEZZATO, 2008).

Crescimento de espécies de *Salvinia* mediante concentrações consideradas baixas e medianas de nutrientes já foi reportado por algumas pesquisas. Pelli (1994), por exemplo, verificou resultados positivos para crescimento de *Salvinia molesta* em lago natural com concentrações de ortofostato inferiores a $10 \mu\text{g.L}^{-1}$. Camargo e Esteves (1995) observaram amplos bancos de *Salvinia* sp. em lagoa marginal no interior de São Paulo com concentrações de ortofostato inferiores a $5 \mu\text{g.L}^{-1}$. Henry & Silva (2001) ao avaliarem o crescimento de três espécies de macrófitas aquáticas flutuantes livres constataram que *Salvinia molesta* possui elevadas taxas de crescimento específico (0,029/dia) quando cultivada em água com concentrações médias de nitrogênio $0,20 \text{ mg/L}$ e fósforo $21 \mu\text{g.L}^{-1}$. Benassi & Camargo (2000) observaram grande ganho de biomassa de *Salvinia molesta* quando submetidos a ambientes com menores concentrações de nutrientes.

Concentrações mais elevadas de fósforo, no entanto, já foram citadas como fator determinante e responsável pela distribuição de várias espécies de macrófitas, inclusive de *Salvinia* (Reddy & Debusk, 1984; Camargo & Biudes, 2006). Vários autores, ao realizarem experimentos laboratoriais e a campo com macrófitas aquáticas notificaram maior crescimento e desenvolvimento dessas plantas em ambientes com elevadas concentrações de fósforo. Finlayson (1984) observou duplicação do crescimento de *Salvinia molesta* em apenas 2,7 dias de experimento, devido às elevadas concentrações deste elemento (9 mg.L^{-1}) presentes na água.

Neste estudo, *Salvinia* sp. conseguiu aumentar seu crescimento em todos os tratamentos submetidos ao enriquecimento com diferentes concentrações de fósforo e nitrogênio, durante todo o período experimental. No entanto, apesar de ter ocorrido aumento de biomassa em todos os tratamentos enriquecidos, o maior ganho foi verificado no tratamento supertrófico, cujas médias de fósforo total e ortofostato foram as maiores de todo o período experimental. Além disso, o tratamento supertrófico foi o que apresentou os menores valores de razão molar N:P, inclusive abaixo da considerada ideal para que se tenha boa disponibilidade do nutriente nitrogênio, o que reforça o

fósforo como fator limitante principal para o crescimento de *Salvinia*. Os baixos valores da razão molar N:P observados na maioria das unidades amostrais supertróficas se deve principalmente ao considerável aumento do fósforo, que levou a diminuição da relação entre este nutriente e o nitrogênio.

Sendo assim, os resultados obtidos confirmam que *Salvinia* é capaz de tolerar águas limitadas por nutrientes, crescendo em ambientes com baixas concentrações de fósforo, mas podem aproveitar prontamente os nutrientes assim que eles são disponibilizados, crescendo intensamente em altas concentrações de fósforo. Além disso, fica claro que a potencialização do crescimento mediante nutrientes (especialmente fósforo), com aumento substancial de biomassa, ocorre já a partir de um estado de supertrofia, nível abaixo do de hipertrofia, o qual é considerado o limite superior da escala de trofia dos ecossistemas aquáticos.

O ganho de biomassa de *Salvinia* no presente estudo passou a ser significativo logo na primeira semana de experimento e assim foi até a terceira. Durante a primeira semana experimental (21-27 de abril) foram registradas as maiores médias diárias de temperatura. A taxa de crescimento nesta semana apresentou aumento significativo para a maioria dos tratamentos, exceto o tratamento controle (sem adição de nutrientes). Deste modo, a temperatura e a adição de diferentes concentrações de nutrientes em cada tratamento favoreceram o crescimento dos indivíduos de *Salvinia*. Esse resultado é congruente ao observado pelos autores Henry-Silva, Camargo, Pezzato (2008) e Junk & Piedade (1997) reportaram resultados semelhantes indicando que temperaturas médias entre 15 e 21° C favoreceram a taxa de crescimento de *Salvinia molesta* em condições subtropicais.

A partir da quarta semana, todos os tratamentos apresentaram redução de biomassa e diminuição das taxas de crescimento. Foi notória também a redução dos valores de temperatura atmosférica durante a terceira e quarta semanas do experimento (mês de maio). No entanto, é muito provável que não foi a temperatura o fator responsável por tais decréscimos, uma vez que de acordo com a literatura e diferentemente do que acontece com a maioria das macrófitas aquáticas, espécies de *Salvinia* apresentam melhor desempenho em temperaturas mais baixas, em torno de 15°C (CANCIAN, 2007).

De outro lado, concomitantemente à diminuição das biomassas na última semana do experimento foi observado aumento da concentração de nutrientes na água, sendo que, os tratamentos considerados controle e oligotrófico passaram a ser considerados supertróficos, o tratamento mesotrófico foi classificado como eutrófico e apenas o tratamento supertrófico não variou o estado de trofia.

Sendo assim, uma explicação plausível para o decréscimo de biomassa observado nos últimos dias e para o aumento da concentração de nutrientes nos tratamentos controle, oligotrófico e mesotrófico no mesmo período, está provavelmente relacionada ao ciclo reprodutivo das macrófitas. Quando as condições ambientes se tornam ótimas para o crescimento e desenvolvimento, os indivíduos, que podem se reproduzir sexuada ou assexuadamente, aumentam rapidamente suas biomassas e depois cessam o ciclo reprodutivo, dando lugar a novos, geralmente brotos, que são liberados com tamanho menor em relação aos adultos (BIANCHINI, 2003). Estes, por sua vez, entram em senescência e são decompostos, tornando-se matéria orgânica rica em nutrientes, os quais serão novamente disponibilizados no ambiente aquático, alterando desta forma o estado de trofia no local (POMPÊO, 2008). De fato, na última semana do experimento, a aparência dos indivíduos de *Salvinia* sp. apresentavam folhas amareladas e apodrecidas, indicando senescência.

Em geral, todas as espécies de macrófitas aquáticas flutuantes apresentam alta produtividade primária e elevada capacidade de estocar nutrientes na biomassa. Segundo Cunha-Santino & Bianchini (2011), devido a sua habilidade em absorver cargas excessivas de nutrientes presentes na água, as macrófitas aquáticas, excepcionalmente *Salvinia*, podem ser consideradas como bioindicadoras da qualidade da água e auxiliar na biomanipulação de recursos hídricos que atuam como controle biológico para purificação de águas eutrofizadas. De acordo com Henry & Silva (2000), que compararam a composição química de diferentes grupos ecológicos, espécies de *Salvinia* estão entre as macrófitas que apresentam maior capacidade para estocar nitrogênio e fósforo em sua biomassa, retornando estes nutrientes para o meio após a decomposição.

Pelos motivos expostos acima, espécies de *Salvinia* tem sido as mais utilizadas em processos de fitorremediação de águas poluídas, para tratar esgotos domésticos e industriais e descontaminar lagos com concentrações elevadas de nitrogênio e fósforo, mostrando-se altamente eficiente em países como China, Portugal, Coréia, Índia e Japão (LIMA; REISSMANN; TAFFAREL, 2005). No Brasil, *Salvinia* também é utilizada para purificar ambientes aquáticos que apresentem elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo, oriundos das atividades agrícolas, relacionadas à suinocultura e piscicultura, e dos efluentes domésticos. (COSTA et. al., 2010; BENTO; MAROTTA; ENRICH-PRAST, 2007).

6 CONCLUSÃO

No presente experimento, pode-se afirmar que o enriquecimento propiciou aumento de biomassa dos indivíduos da macrófita flutuante livre *Salvinia* sp., com respostas mais evidentes nos tratamentos com maiores concentrações de fósforo (mesotrófico e supertrófico). Logo, o fósforo, foi identificado como o principal forçante ambiental direcionador das mudanças que afetaram o crescimento de *Salvinia*.

Aumento substancial nos valores de biomassa de *Salvinia* sp. pode ocorrer em ambientes cujas concentrações de fósforo ainda não estão nos limites máximos de trofia possíveis (hipertrofia). Isso evidencia uma necessidade ainda maior de cuidado com a preservação da qualidade da água dos ambientes onde essas macrófitas ocorrem, objetivando evitar o seu crescimento exacerbado, bem como os problemas relacionados. Quando manejada de forma adequada, *Salvinia* pode ser utilizada no tratamento de água, pois remove nutriente (acumulando-os em sua biomassa) e contribui para a atenuação da eutrofização do ambiente aquático.

Estudos experimentais como este retratam a forma com que as macrófitas aquáticas influenciam os sistemas aquáticos em favorecimento do seu ganho de biomassa, que depende dos fatores químicos e físicos do ambiente. A partir dos resultados obtidos em experimentos como este adquire-se informações importantes sobre vários processos em ecossistemas aquáticos e, principalmente, para elaboração de um prognóstico sobre o comportamento das macrófitas e desses ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- AGAMI, Moshe; KEDDY, K. R. Interrelationships between *Echornia crassipes* (Mart.) Solms and *Hydrocotyle Umbellata* L. **Aquat. Bot**, Amsterdam, v. 39, p. 147-157. June. 1990.
- ALMEIDA, Gilberto. W. **Aspectos ecológicos da comunidade de macrófitas aquáticas na represa do funil, MG: perspectiva para o manejo**. Tese - (Doutorado em Ecologia aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2012.
- ARENS, Karl. Contribuição para o conhecimento das incrustações calcárias de *Nitella*. Boletim do Museu Nacional do Rio de Janeiro. **Série Botânica**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 1-16, Maio, 1946.
- BARENDREGT, Aat. The impact of flooding regime on ecosystems in a tidal freshwater area. In: Okruszko, Tomasz; Kotowski, Wiktor; Platteeuw, Maarten. **Ecohydrology & Hydrobiology**. 5 ed. Lodz: Eco Floof, 2005.
- BENASSI, R. F.; PEZZATO, M. M.; CAMARGO, A. F. M. Produção primária da macrófita aquática *Cabomba furcata* Schult & Schult. F. em dois rios da bacia do Rio Itanhaém, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA, 8., 2001, João Pessoa, PB. *Resumos*. João Pessoa, PB: Sociedade Brasileira de Limnologia:Universidade Federal da Paraíba,. p. 200, 2001.
- BENTO, Luiz; MAROTTA, Humberto; ENRICH-PRAST, Alex. O papel das macrófitas aquáticas emersas no ciclo do fósforo em lagos rasos. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, vol. 11, n. 4, p. 582-589
- BIANCHINI, Irineu. Jr; PACOBAHYBA, Lucilia. D; CUNHA-SANTINO, Marcela. B. da. Aerobic and anaerobic decomposition of *Montrichardia arborescens* (L.) Schott. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Botucatu (SP), vol. 14, n. 3, p. 27-34. June. 2002.
- BIANCHINI, Irineu. Jr; Modelo de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: Thomaz Sidinei. M, Bini Luis. M, ed. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2003
- BOWES, George. E; HOLADAY, Scott. A; HALLER, Willian. T. Seasonal variation in the biomass, tuber density and photosynthetic metabolism of

Hydrilla in three Florida lakes. **Journal of Aquatic Plant Management**, Clermonth, v. 17, p. 61-65. June, 1979.

BOYD, Claude. E. **Water quality in ponds of aquaculture**. 1 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992

CAMARGO, Antonio. F. M.; FLORENTINO, E. R. Population dynamics and net primary production of the aquatic macrophyte *Nymphaea rudgeana* C. F. Mey in a lotic environment of the Itanhaém River basin (SP, Brazil). **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos (SP), v. 60, n. 1, p. 83-92. February. 2000.

CAMARGO, Antonio. F. M.; ESTEVES, Francisco. A. Influence of water level variation on fertilisation of oxbow lake of Rio Mogi-Guaçu, State of São Paulo, Brazil. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 299, p. 185-193, 1995.

CAMARGO, Antonio. F. M.; PEZZATO, Maura. M; HENRY-SILVA, Gustavo G. Fatores limitantes a produção primária de macrófitas aquáticas. In: Thomaz Sidinei. M, Bini Luis. M, ed. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2003.

CAMARGO, Antonio. F. M.; BIUDES, José. F. V. Influence of limnological characteristics of water in the occurrence of *Salvinia molesta* and *Pistia stratiotes* in rivers from the Itanhaém River basin (SP, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 18, n. 3, p.239-246, 2006.

CANCIAN, Leonardo. F. **Crescimento das macrófitas aquáticas flutuantes *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo**. 66.f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Aqüicultura, Área de Concentração em Aqüicultura em águas Continentais, Universidade Estadual Paulista Centro de Aquicultura. Jaboticabal, 2007.

CARDIGNAN, Richard; NEIFF, Juan. J. Limitation of water hyacinth by nitrogen in subtropical lakes on the Paraná floodplain (Argentina). **Limnology Oceanography**. V. 39, n. 2, p. 439-443, January, 1994.

CARR, Geneviève. M & CHAMBERS, Patricia. A. Macrophyte growth and sediment phosphorus and nitrogen in a Canadian prairie river. **Freshwater Biology**. v. 39. n. 3, p. 3525-536. May, 1998.

CARRILO, Yolima.; GUARÍN Alejandro.; GUILLOT, Gabriel. Biomass distribution, growth and decay of *Egeria densa* in a tropical high-mountain reservoir (NEUSA, Colombia). **Aquat Bot.** v. 85, n. 1, p. 7-15. July, 2006.

CARVALHO, P; THOMAZ, Sidinei. M; BINI Luis. M. Effects of water level, abiotic and biotic factors on bacterioplankton abundance in lagoons of a tropical floodplain (Parana River, Brazil). **Hydrobiologia.** V. 510, n. 3, p. 67-74. July. 2003.

CHAMBERS Patrícia .A; LACOUL Paresh; MURPHY Kevin. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. **Hydrobiologia.** vol. 595, n. 1, p. 10-13. January. 2008.

CHAMBERS Patricia. A, Kalff Jacob. Depth distribution and biomass of submersed aquatic macrophytes communities in relation to Secchi depth. *Can J Fish. Aquatic Science.* v. 42. n. 4, p. 701-709. December, 1985.

CHAMBERS, Patricia. A; PREPAS, Ellie. E; BOTHWELL, Max. L; HAMILTON, H. R. Current velocity and its effect on aquatic macrophytes in flowing waters. **Ecological Applications.** Washington (USA), v. 1, n. 3, p. 218-220. August, 1991.

COSTA, Juliana. M; LUCHESI, Júnior. D; FRIES, Edionei. M; BITTENCOURT, F; FEIDEN, Aldi; BOSCOLO, Wilson. R. **Tratamentos de efluentes de suinocultura com as macrófitas aquáticas *Pistia stratiotes* e *Salvinia* sp.** In: I CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL. Chapecó, 2010. CEO/UDESC. I CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL. CHAPECÓ, SC, v.1, 2010. Disponível em http://cac.php.unioeste.br/evertos/semana/anais/PDF/RESUMOS/075_1269989811_RESUMO.pdf> Acesso em: 8 de ago. 2015

CUNHA-SANTINO, Marcela. B. & BIANCHINI, Jr. Irineu. The aerobic and anaerobic decomposition of *Typha domingensis* Pers. **Acta Limnologica Brasilisensia**, v. 18, n. 3, p. 321-334. 2006

CUNHA-SANTINO, Marcela. B & BIANCHINI, Jr. Irineu. Colonização de macrófitas aquáticas em ambientes lênticos. **ABLimno**, v. 39. N. 1. Fevereiro, 2011

DENNY Patrick. **The ecology and management of on African wetland vegetation.** 2 ed. Dordrecht: Dr. W. Junk Publisher, 1985

DOYLE, Robert. D. Effects of waves on the early growth of *Vallisneria Americana*. **Freshwater Biology**, Malden (USA), v. 46, n. 3, p. 389-397. April, 2001

ESTEVEES, Francisco. A. **Fundamentos da Limnologia**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1988

ESTEVEES, Francisco. A. & Panosso, R. Fósforo. In: **Fundamentos em Limnologia**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011

EVERITT, Deborah. T; BURKHOLDER, Joann. M. Seasonal dynamics of macrophyte communities from a stream flowing over granite flatrock in North Carolina, USA. **Hydrobiologia**, Dordrecht, v. 222, n. 3, p. 159-172. January, 1991

FINLAYSON, C. M. Growth of *Salvinia molesta* in lake Moondarra, Mount Isa, Australia. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 18, p. 257-262, 1984

GANTES, H. P; TUR, N. M. Variacion temporal de la vegetacion en un arroyo de Llanura. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 2, p. 259-266. May 1995

GEBIOMET. **Boletim agroclimatológico**. Disponível em <<http://gebiomet.com.br>>. Acesso em: 04 de jun. 2015, 17:03

GOPAL, Brij. Water hyacinth. **Journal of Tropical Ecology**. Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 471. February, 1987

GRANÉLI, Wilhelm; SOLANDER, Doris. Influence of aquatic macrophytes on phosphorus cycling in lakes. **Hydrobiologia**. v. 170, n. 1, p. 245-266, dezembro. 1988

HENRY-SILVA, Gustavo. G; CAMARGO, Antonio. F. M. Composição química de quatro espécies de macrófitas aquáticas e possibilidades de uso de suas biomassas. **Naturalia**, Rio Claro, v. 25, p.111-125, 2000

HENRY-SILVA, Gustavo. G. Utilização de macrófitas aquáticas flutuantes (*Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia molesta*) no tratamento de efluentes de piscicultura e possibilidades de utilização da biomassa vegetal.

2001. 77 f., il. Dissertação (Mestrado em Biologia de Organismos Aquáticos) - Centro de Aqüicultura de Jaboticabal, UNESP, Jaboticabal, 2001

HENRY-SILVA, Gustavo. G; CAMARGO, Antonio. F. M. Avaliação sazonal da biomassa de macrófitas aquáticas *Eichhornia azurea* em um rio de águas brancas da bacia hidrográfica do rio Itanhaém (litoral sul de estado de São Paulo, Brasil). **Hoehnea**. São Paulo (SP), v.30, n. 3, p. 71-77, fevereiro, 2003

HENRY-SILVA, Gustavo. G.; CAMARGO, Antonio. F. M. Interações ecológicas entre as macrófitas aquáticas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*. **Hoehnea**. São Paulo (SP), v.32, n. 3, p.445-452, fevereiro, 2005

HENRY-SILVA, Gustavo. G; CAMARGO, Antonio. F. M. Eficiência de macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes de viveiro de tilápia do Nilo. **Scientia. Agricola**. Piracicaba (SP). Vol. 63. n. 5, p. 163-173. Setembro, 2006

HENRY-SILVA, Gustavo. G; CAMARGO, Antonio. F. M; PEZZATO, Maura. M. Growth of free – floating aquatic macrophytes in diferente concentrations of nutrientes. **Hydrobiologia**. Vol. 610. n. 1, p. 153 -160. September, 2008

JUNK, Wolfgang. J. Áreas inundáveis: Um desafio para Limnologia. **Acta Amazonica**. Manaus (AM), V. 10. n. 4, p. 775-795. 1980

JUNK, Wolfgang. J; PIEDADE, Maria. T.F. Biomass and primary production of herbaceous plant communities in the Amazon floodplain. **Hydrobiologia**. Vol. 263, p. 155-162. 1993

JUNK, Wolfgang. & PIEDADE, Maria. T.F. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. In Junk, W. (ed.), **The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System**. Springer-Verlag, Berlin: 147–185. 1997

KIRK, John. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1994.

KOBAYASHI, Josilaine. T; THOMAZ, Sidinei. M; PELICICE, Fernando. M. Phosphorus as a limiting factor for *Eichhornia crassipes* growth in the Upper Paraná River floodplain. **Wetlands**, v. 28, n. 4, p. 905-913. January, 2008.

KREBS, Charles. J. **Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance**. . 3rd ed. Lincoln: Benjamin Cummings, 1972.

LAMPARELLI, Marta. C. **Graus de trofia em corpos d'água em São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese - (Doutorado em Ecossistemas terrestres e aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2004.

LIMA, Ricardo. M; REISSMANN, Carlos.B; TAFFAREL, Angela D. Fitorremediação com macrófitas aquáticas flutuantes. In: Andreoli, C. V.; Carneiro, C. (ed.) **Gestão integrada de mananciais eutrofizados**. Curitiba: Gráfica Capital Ltda. 2005, p.391-408.

MAACK, Richard. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro: J. Olympio, 1981.

MADSEN, Tom; V., Hahn, P. & Johansen, J. Effect of inorganic carbon supply on the nitrogen requirement of two submerged macrophytes, *Elodea Canadensis* and *Callitriche cophocarpa*. **Aquatic Botany**. V. 62, n. 2, p. 95-106, october. 1998.

MARCONDES, Daniel. A. S; MUSTAFÁ, André. L; TANAKA, Robson. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. In Thomaz, Sidinei. M. & Bini, Luis. M. ed. **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: Eduem, 2003. p. 299-317.

MCCUNE, Bruce. & MEFFORD, Michael. J. 1999. **PC-ORD: multivariate analysis of ecological data**. Gleneden Beach: MjM Software, 1999.

MINITAB, Inc. *Minitab estatistical software*™, Release, 14.13, Copyright ©2004.

MITCHELL, D.S.; THOMAS P.A. Ecology of waterweeds in the Neotropics. UNESCO Technical Papers in Hydrology, n.12. 1972.

MITSCH, Willian. J; GOSSELINK, James. G. **Wetlands**. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.

MURPHY, Kevin. J. Plant communities and plant diversity in softwater lakes of Northern Europe. **Aquatic Botany**. V.73. n. 4, p. 287–324. January, 2002.

MURPHY, Kevin. J; RORSLETT, Bjorn; SPRINGUEL, Irina. Strategy analysis of submerged lake macrophyte communities: an international example. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 36, n. 4, p. 303-323, April, 1990.

NEIFF, Juan. J. & POI de NEIFF, Alicia. S. G. Connectivity processes as a basis for the management of aquatic plants. In: Thomaz, S. & Bini, Luis. M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas aquáticas**. Nupélia – Maringá: Eduem, 2003.

NILSSON, Christer. Distribution of stream-edge vegetation along a gradient of current velocity. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 75, n. 2, p. 513-522, June, 1987.

ODUM, Eugene. P. **Ecologia**. Tradução: Christopher J. Tribe. Supervisão da tradução: Ricardo Iglesias Rios. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1988.

OSMOND, Charles. B; CHOW, Wah. S. Ecology of photosynthesis in the sun and shade: summary and prognostications. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 15, n. 2, p. 1-9. May, 1988.

PELLI, A. Taxas de crescimento de **Salvinia molesta** Mitchell e sua entomofauna associada em um lago do Planalto de Lagoa Santa, MG. 1994. 87 f., il. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1994.

PEZZATO, Maura. M. **Produção primária da macrófita aquática Egeria densa Planch. em dois rios da Bacia Hidrográfica do rio Itanhaém, Estado de São Paulo, Brasil**. 1999. 26 f., il. Monografia (Graduação) - Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro, 1999.

PIEDADE, Maria. T. F.; JUNK, Wolfgang. J.; LONG, Stephen. P. The productivity of the C4 grass *Echinochloa polystachya* on the Amazon floodplain. **Ecology**. V. 72. n. 4, p. 1456-1463. April. 1991.

PIERRINI Sandra. A; THOMAZ Sidinei. M. Effects of limnological and morphometric factors upon Zmin, Zmax and width of *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae). **Aquat Bot.** Curitiba (PR), v. 78, n. 2, p. 135-146. March, 2009.

PIETERSE, Arnold. H; MURPHY, Kevin. J. **Aquatic weeds: the ecology and management of nuisance aquatic vegetation**. Ed. Oxford: Oxford University Press, 1990.

PISTORI, Raquel. E. T; CAMARGO, Antonio. F. M. & HENRY-SILVA, Gustavo. G. Relative growth rate and doubling time of the submerged aquatic macrophyte *Egeria densa* Planch. **Acta Limnológica Brasiliensia**. V. 16. n. 1, p. 77-84. 2004

PLATT, Trevor; GALLEGOS, Charles. L.; HARRISON. Whitney. G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblage of marine phytoplankton. **Journal of Marine Research**, New Haven, v. 38, n. 2, p. 687-701. July, 1980.

POMPÊO, Marcelo.L. M.; HENRY, R. 1996. **Variação sazonal dos teores de N e P no sedimento do rio Paranapanema (zona de desembocadura na represa de Jurumirim, SP)**. In: I Simpósio de Ciências da engenharia Ambiental, III Simpósio do Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos, CRHEA/EESC/USP. I Simpósio de Ciências da Engenharia Ambiental. SÃO CARLOS, SP, v. 1, 1996. p. 135-137.

POMPÊO, Marcelo. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. **Oecologia Brasiliensis**. Rio de Janeiro. V. 12. n. 3, p. 406-424. 2008.

REDDY, K. R.; DEBUSK, W. F. Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient enriched water: I. Water Hyacinth, Water Lettuce and Pennywort. **Economic Botany**, New York, v. 38, no. 2, p. 229-239, 1984.

RICHARDSON, Katherine; BEARDALL, John; RAVEN, John. A. Adaptation of unicellular algae to irradiance: an analysis of strategies. **New Phytologist**, Cambridge, v. 93, n. 2, p. 157-191. February, 1983.

RIIS, Tenna; SAND-JENSEN, Kaj; VESTERGAARD, Ole. Plant communities in lowland Danish streams: species composition and environmental factors. **Aquatic Botany**. Amsterdam. V. 66. N. 4, p. 255-172. April, 2000.

RODRIGUES Liliana, THOMAZ, Sidinei. M.; AGOSTINHO, Angelo. A.; GOMES, Luiz. C. **Biocenoses em reservatórios: Padrões espaciais e temporais**. São Carlos: RiMA, 2005.

RUBIM, M. A. L.; CAMARGO, Antonio. F. M. Taxa de crescimento específico da macrófita aquática *Salvinia molesta* Mitchell em um braço do rio Preto, Itanhaém, São Paulo. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 75-83, 2001.

SESHAVATHARAM, V. Traditional uses and problem of noxious growth. In: GOPAL, Brij. (Ed.). **Ecology and management of aquatic vegetation in the Indian subcontinent**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1990.

SILVERTOWN, Jonathan. W.; DOUST, Lovett. J. **Introduction to plant population biology**. Oxford: Blackwell Science, 1993.

SMITH, Felisa. A. Historical perspective on HCO₃-assimilation. In: LUCAS, William. J. (Ed.). **Inorganic carbon uptake by aquatic photosynthetic organisms. Proceedings of an International Workshop on Bicarbonate use in Photosynthesis, August 18-22, 1984**. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiologists, 1985.

SOKAL, Robert R., ROHLF, F. J. **Biometry. The principles and practice of statistics in biological research**. New York: Freeman and Company, 1995.

THOMAZ, Sidinei. M. **Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo**. Plana Daninha, Viçosa – MG, v. 20, p. 21-33. Janeiro, 2002. Edição Especial

THOMAZ, Sidinei. M. & BINI, Luis. M. **Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá (EDUEM), 2003.

THOMAZ, Sidinei. M.; CARVALHO Priscilla; MORMUL Roger. P.; FERREIRA Fernando. A, SILVEIRA Márcio. J.; MICHELAN Thaísa. S. Temporal trends and effects of diversity on occurrence of exotic macrophytes in a large reservoir. **Acta Oecologica**. v. 35, n. 5, p. 614-620. October, 2009.

THOMAZ, Sidinei. M.; PIERINI Sandra. A.; CHAMBERS Patricia. A.; PEREIRA Gabrielli. Effects of phosphorus and nitrogen amendments on the growth of *Egeria najas*. **Aquatic Botany**. v. 86, n. 2, p.191-196. February, 2007.

TUNDISI, José. G. **Reservatórios como sistemas complexos: teoria, aplicações e perspectivas para usos múltiplos**. In: Henry, Raoul. (ed.).

Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. Botucatu: FUNBIO, FAPESP, 1999.

VAN DEN BERG, Marcel. S.; COOPS, Hugo; SIMONS, Jan.; KEIZER, Annemarie. DE. Competition between *Chara aspera* and *Potamogeton pectinatus* as a function of temperature and light. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 60, no. 3, p. 241-250, March, 1998.

WETZEL, Robert. G. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators. **Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie**. Stuttgart, v. 24, n. 1, p. 6-24, September, 1990.