

RELATÓRIO Agosto de 2024

SUBPROGRAMA DE MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

ATIVIDADES DA CAMPANHA DE CAMPO E DA AVALIAÇÃO DE RELATÓRIOS ENVOLVENDO O ACOMPANHAMENTO DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE TIBAGI MONTANTE.



Jaboticabal, agosto de 2024



SUBPROGRAMA DE MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DA CAMPANHA DE CAMPO E DA AVALIAÇÃO DE RELATÓRIOS ENVOLVENDO O ACOMPANHAMENTO DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE TIBAGI MONTANTE.

SUMÁRIO

1. Apresentação	03
2. Metodologia	03
3. Análise dos resultados	05
4. Resultados e discussão	05
Comunidade de macrófitas aquáticas	05
Importância das macrófitas aquáticas	07
Qualidade físico-química da água do corpo hídrico	19
Concentração de nutrientes e metais nas macrófitas aquáticas	21
5. Considerações finais	31

SUBPROGRAMA DE MANEJO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DA CAMPANHA DE CAMPO E DA AVALIAÇÃO DE RELATÓRIOS ENVOLVENDO O ACOMPANHAMENTO DA COMUNIDADE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS NO RESERVATÓRIO DA UHE TIBAGI MONTANTE

1. Apresentação

O presente relatório se refere **(i)** às observações de campo e avaliações realizadas pelo técnico da Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente SS Ltda Robinson Luiz de Campos Machado Pitelli e **(ii)** a avaliação de relatórios e análises enviadas pelo departamento técnico da Usina Hidrelétrica Tibagi Montante para a Ecosafe, tendo por objetivo atender ao preconizado no Subprograma de Manejo de Macrófitas Aquáticas aprovado pelo IAT. A avaliação de campo foi levada a efeito em agosto de 2024.

2. Metodologia

No dia 28 de agosto de 2024, o reservatório da UHE Tibagi Montante foi percorrido de barco pelo técnico acima citado. Nesta campanha, o barco foi direcionado para as colonizações de macrófitas aquáticas presentes no reservatório e os táxons presentes foram identificados ao nível de espécie ou de gênero, quando não havia estruturas que permitissem a identificação ao nível da espécie. Nesta campanha foram considerados 29 pontos amostrais, procurando sítios com presença de colonizações significativas de macrófitas. Para identificação dos táxons foram utilizadas obras de Pitelli et al., 2012 e 2013 e Pott & Pott, 2000.

Para cada táxon presente, foi dada uma nota de colonização de acordo com o seguinte critério:

- **AD** (Alta Densidade = nota 100) – quando a população é dominante na comunidade e é determinante da paisagem da área amostral;
- **MD** (Média Densidade = nota 50) – quando a espécie está presente em expressivo número de indivíduos, mas não determina a fisionomia da paisagem da área amostral;
- **BD** (Baixa Densidade = nota 25) – Quando a espécie está presente na comunidade, mas sua visualização não é realizada prontamente, sendo necessário em certo esforço de observação;
- **MBD** (Muito Baixa Densidade = nota 12) - quando são observados indivíduos esporádicos da espécie no ponto amostral, ou quando são detectados apenas fragmentos de indivíduos da espécie (no caso de plantas que se reproduzem por fragmentação).

Concomitantemente com a nota de colonização, também foram dadas notas ao aglomerado de plantas, ou seja, ao tamanho do banco de macrófitas avaliado no momento. Os bancos

receberam notas de 1 a 4, sendo: nota 01- bancos pequenos, menores que 2 x 2 metros; nota 02 – bancos marginais, mas de pequena espessura (faixas finas de plantas); nota 03 – bancos maiores que 5 x 5 metros e menores que 10 x 10 metros; e nota 04 – bancos maiores que 10 x 10 metros.

As notas de colonização de cada espécie avaliada deverão ser multiplicadas pelo tamanho do banco de macrófitas tornando a importância da espécie proporcional ao tamanho do banco. Os bancos representam os seguintes valores: Banco 1 = 1; Banco 2 = 2; Banco 3 = 4; Banco 4 = 8.

Na campanha de campo foram selecionados seis pontos amostrais em regiões distintas do corpo hídrico, sendo três com *Pistia stratiotes*, três com *Salvinia auriculata* e três com *Eichhornia crassipes*. Amostras de cada espécie foram secas em estufa, moídas em micromoinho tipo Willey e enviadas ao laboratório de análises químicas de plantas para determinação das concentrações de nutrientes e metais. As análises químicas das plantas seguiram metodologias contidas em RAIJ et al. (2001). Estes estudos têm sido realizados em todas as campanhas de campo desde o início do monitoramento do reservatório de Tibagi.

Para a discussão do estado de colonização pela comunidade de plantas aquáticas, o corpo hídrico foi dividido em três partes: Barragem, Meio e Início, conforme a morfologia do reservatório e o número de pontos amostrados (Figura 01).

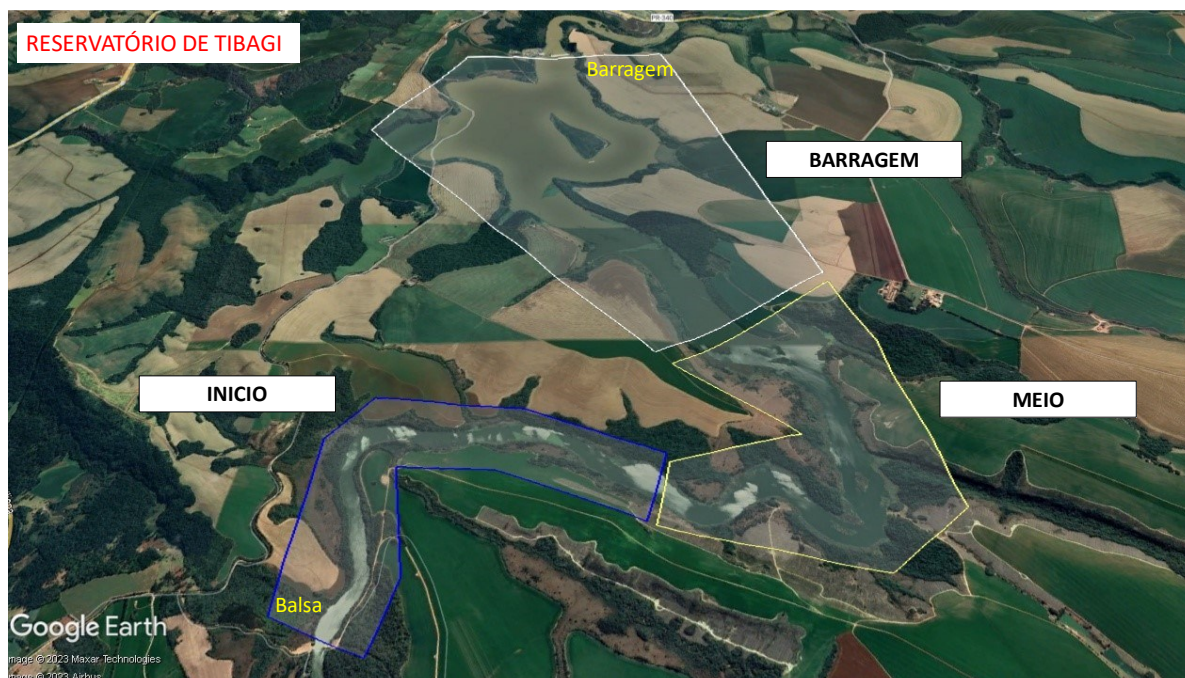


Figura 01 – Divisão do reservatório de Tibagi em três grandes segmentos: Barragem, Meio e Início, adotada para facilitar a discussão dos resultados da avaliação da comunidade de macrófitas aquáticas.

Utilizando-se uma sonda multiparamétrica da YSI, amostras das qualidades físico-químicas da água foram coletadas em diversos pontos do reservatório de Tibagi (do início ao final da área alagada).

3. Análise dos resultados

Com os dados das notas de colonização foram calculadas as densidades relativas (De.R.) dos táxons identificados e pelas frequências de ocorrência nos diferentes pontos amostrais foram calculadas as frequências relativas (Fq.R.) dos táxons. As importâncias relativas (I.R.) dos táxons foram calculadas pela soma da densidade relativa e da frequência relativas. Quando se utiliza o método para estudo de fitossociologia de Braun-Blanquet (1979), a importância relativa é definida pelas soma da densidade relativa (relação entre número de indivíduos de cada população e o número da indivíduos da comunidade vegetal), da frequência relativa (relação entre a constância de cada população e a soma das constâncias de todas as populações da comunidade vegetal) e a dominância relativa (relação entre biomassa ou área de colonização de cada população em relação à biomassa total ou à área total colonizada pela comunidade vegetal). No entanto, nas condições de levantamentos de comunidades de macrófitas aquáticas, a biomassa não pode ser medida em todos os pontos amostrais para todas as populações presentes e os números de indivíduos dificilmente podem ser individualizados. Por isso, vem se utilizando a nota de colonização para refletir estes dois parâmetros. Assim, os estudos fitossociológicos neste caso, são definidos pela combinação dos cálculos usando as notas de colonização e a frequência (constância) das populações nos diferentes pontos amostrais.

Os dados de importância relativa foram utilizados para cálculo dos índices de diversidade de Shannon-Wiever e de equitabilidade da comunidade de macrófitas aquáticas. A riqueza foi representada pelo número da táxons identificados.

Os valores determinados nas análises químicas das plantas foram trabalhados por meio da plotagem dos dados em gráficos contendo a média dos valores e o desvio padrão em cada época de amostragem. Estas análises permitem determinar a diferença entre as espécies na capacidade de acúmulo de cada elemento em estudo nas diferentes épocas de amostragem.

4. Resultados e discussão

Comunidade de macrófitas aquáticas

Na Tabela 01 estão apresentados os táxons de macrófitas aquáticas identificados no reservatório da UHE Tibagi Montante na campanha realizada em agosto de 2024. Nesta ocasião foram identificados 13 táxons, distribuídos em 10 famílias botânicas.

Na Tabela 02 estão apresentados os valores calculados para os índices de diversidade de Shannon-Wiever (H'), de equitabilidade (E') e de riqueza taxionômica da comunidade da macrófitas aquáticas do reservatório da UHE Tibagi Montante no período de julho de 2023 a agosto de 2024.

Tabela 01 - Relação dos táxons de macrófitas aquáticas identificadas no reservatório da UHE Tibagi Montante na campanha de agosto de 2024, incluindo suas respectivas famílias botânicas, códigos Bayer e hábitos de crescimento.

Família	Táxon	Código	Hábito
Poaceae	<i>Urochloa arrecta</i>	BRASU	Marginal
Pontederiaceae	<i>Eichhornia azurea</i>	EICAZ	Flutuante fixa
Salviniaceae	<i>Salvinia auriculata</i>	SAVMO	Flutuante livre
Cyperaceae	<i>Oxycarium cubense</i>	SCPCU	Epífita
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>	PIIST	Flutuante livre
Onagraceae	<i>Ludwigia peploides</i>	LUDPE	Flutuante fixa
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i>	EICCR	Flutuante livre
Apiaceae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	HYDRA	Flutuante fixa
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i>	COMDI	Marginal
Cyperaceae	<i>Rhynchospora aurea</i>	RHYAU	Marginal
Zingiberiaceae	<i>Hedychium coronarium</i>	HEYCO	Marginal
Lemnaceae	<i>Lemna minor</i>	LEMMI	Flutuante livre
Poaceae	<i>Panicum rivulare</i>	PANRI	Marginal

Tabela 02 - Valores dos índices de diversidade de Shannon-Wiever (H'), equitabilidade (E') e de riqueza em táxons observados na comunidade de macrófitas aquáticas no reservatório da UHE Tibagi Montante de julho/23 a agosto/24, considerando para os cálculos desses índices os valores das importâncias relativas das populações

Índice	Jul/23	Nov/23	Fev/24	Mai/24	Ago/24
H	1,96	3,41	3,17	3,01	2,77
E	0,74	1,23	1,08	1,10	0,74
Riqueza	14	16	16	17	13

Conforme observado na tabela acima, a riqueza de espécies tende a ser reduzida no período de inverno, aumentando seu valor nos meses de verão. A mesma tendência tem sido observada, respectivamente, nos valores do índice de diversidade e de equitabilidade. Esse fenômeno provavelmente ocorre devido a algumas espécies apresentarem ciclos de vida bem definidos nesta região, encontrando-se em estado de senescência nos esses de inverno, quando completam seu ciclo.

A importância das macrófitas aquáticas

A Tabela 03 apresenta os valores de Densidade relativa, Frequência Relativa e Importância Relativa (IR) das espécies que compõe a comunidade de macrófitas aquáticas do reservatório da UHE Tibagi Montante em agosto de 2024. Conforme a frequência de ocorrência das populações, Pompeo (1975) classificou as plantas em **esporádicas - ES** (ocorrência em menos de 20% das estações de coletas), **pouco frequentes - PF** (ocorrência entre 20% e 40% das estações de coletas), **frequentes - FR** (ocorrência entre 40% e 70% das estações de coletas), e **muito frequentes - MF** (ocorrência em mais de 70% das estações de coletas).

Tabela 03 – Valores de densidade, frequência, frequência relativa e importância relativa das populações que compunham a comunidade de macrófitas aquáticas do reservatório da UHE Tibagi Montante na campanha de agosto de 2024.

TÁXON	F (%)	De.R	Fr.R	I.R.	Pompeo (1975)
<i>Urochloa arrecta</i>	13,64	0,08	0,04	0,12	ES
<i>Eichhornia azurea</i>	20,45	0,04	0,06	0,11	PF
<i>Salvinia auriculata</i>	47,73	0,07	0,15	0,22	FR
<i>Oxycarium cubense</i>	47,73	0,18	0,15	0,33	FR
<i>Pistia stratiotes</i>	63,64	0,37	0,19	0,57	FR
<i>Ludwigia peploides</i>	18,18	0,02	0,06	0,08	ES
<i>Eichhornia crassipes</i>	54,55	0,16	0,17	0,32	FR
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	25,00	0,04	0,08	0,12	PF
<i>Commelina difusa</i>	22,73	0,02	0,07	0,09	PF
<i>Rhynchospora aurea</i>	4,55	0,00	0,01	0,02	ES
<i>Hedychium coronarium</i>	2,27	0,00	0,01	0,01	ES
<i>Lemna minor</i>	4,55	0,00	0,01	0,02	ES
<i>Panicum rivulare</i>	2,27	0,00	0,01	0,01	ES

De modo geral, **menos de 1%** da área correspondente ao espelho d'água está ocupada pelo crescimento de macrófitas aquáticas. Este nível de colonização vem se mantendo, de maneira geral, desde o início das campanhas em 2021, com somente um (1) evento em 2024, onde no 1º semestre se registrou um pouco mais de 1% do reservatório ocupado por essas plantas aquáticas.

Na comunidade atual, não houve espécies classificadas como apresentando alta frequência segundo Pompeo (1975).

O gráfico abaixo demonstra a distribuição dos tamanhos dos bancos de macrófitas aquáticas ao longo do reservatório de Tibagi na avaliação realizada em agosto de 2024. Com base nestes dados podemos observar que 62% de todos os bancos avaliados apresentavam tamanho 1 e 2, ou seja, apresentam dimensões que não ultrapassavam 5 x 5 metros, ou aproximadamente 25 metros quadrados de área de superfície, ou eram formados por faixas estreitas de plantas junto

à região marginal. Apenas poucos pontos do corpo hídrico apresentam aglomerados maiores de plantas aquáticas, contudo, estão cercados por barreiras flutuantes, conforme será apresentado mais tarde neste relatório.

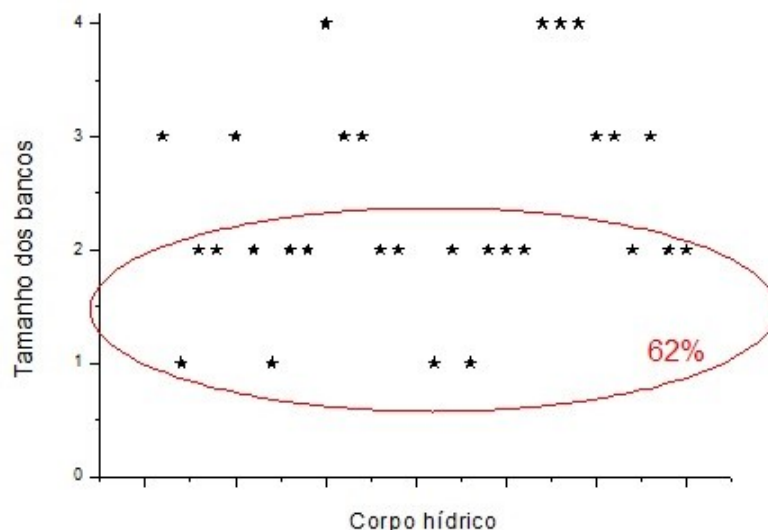


Figura 02 - Distribuição de tamanho dos bancos de macrófitas aquáticas no reservatório de Tibagi em agosto de 2024.

A tabela abaixo demonstra a frequência de cada espécie no âmbito da nota de colonização (alta, média, baixa e rara densidade) em cada um dos bancos de macrófitas aquáticas avaliados durante inspeção do reservatório de Tibagi, em agosto de 2024.

Tabela 04 – Frequência de cada espécie nas respectivas densidades nos aglomerados de macrófitas aquáticas avaliados no reservatório de Tibagi em agosto de 2024.

AV	BRASU	EICAZ	SAVMO	SCPCU	PIIST	LUDPE	EICCR	HYDRA	COMDI	RHYAU	HEYCO	LEMMI	PANRI
F	20,69	31,03	72,41	72,41	96,55	27,59	82,76	37,93	34,48	6,90	3,45	6,90	3,45
F_AD	13,79	0,00	3,45	20,69	68,97	0,00	10,34	6,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F_MD	3,45	6,90	3,45	13,79	13,79	3,45	17,24	0,00	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00
F_BD	3,45	17,24	17,24	17,24	3,45	0,00	34,48	0,00	6,90	0,00	0,00	0,00	0,00
F_R	0,00	6,90	48,28	20,69	10,34	24,14	20,69	31,03	24,14	6,90	3,45	6,90	3,45

A braquiária aquática apenas foi observada em 20 % dos pontos amostrados, mas em sua maioria encontrava-se em alta densidade. Os demais pontos com densidades médias e baixas podem ser considerados focos para uma dispersão rápida desta macrófita invasora. É importante salientar que o maior crescimento da braquiária ocorre no sentido para o interior da mata ciliar e de áreas úmidas, onde promove a eliminação da flora ribeirinha nativa. O aguapé de cordão (EICAZ) e a salvinia (SAVAU) apresentam-se distribuídas em populações pequenas

ao longo do corpo hídrico, enquanto, que o aguapé (EICCR) apresenta uma distribuição mais uniforme entre as diversas categorias de densidade.

A Alface d'água (PIIST) apresenta-se distribuída por todo a extensão do corpo hídrico, sendo identificada em 96% dos pontos amostrados. Em mais da metade destes pontos (69%) a espécie apresenta alta densidade populacional, sendo a principal colonizadora dos bancos de plantas aquáticas.

O aguapé (EICCR) também se encontra com ampla distribuição pelo corpo hídrico sendo identificado em 82% dos pontos amostrados. No entanto, suas populações encontram-se, em sua maioria, em densidades baixas ou sendo consideradas como espécimes raros. Esta espécie apresenta alta frequência em densidades baixas e médias, o que indica uma alta probabilidade de apresentar explosões populacionais quando o ambiente estiver mais favorável ao seu crescimento.

Espécies como *Hydrocotyle ranunculoides*, *Ludwigia pepeloides* e *Commelina diffusa* apresentam populações sempre pequenas, localizadas na região marginal do espelho d'água, enquanto, as demais, raramente são identificadas. Esta vegetação contribui para o aumento da biodiversidade local.

As figuras 03 a 10 apresentam a variação da densidade relativa das principais populações que compõe a comunidade de macrófitas aquáticas em diferentes setores do reservatório de Tibagi desde fevereiro até agosto de 2024. Deve-se observar que os dados apresentados abaixo representam valores relativos, ou seja, não indicam o tamanho da população presente. Para elucidar este fato, já foi mencionado anteriormente que a maior parte dos bancos de plantas aquáticas deste corpo hídricos apresentam pequenas dimensões.

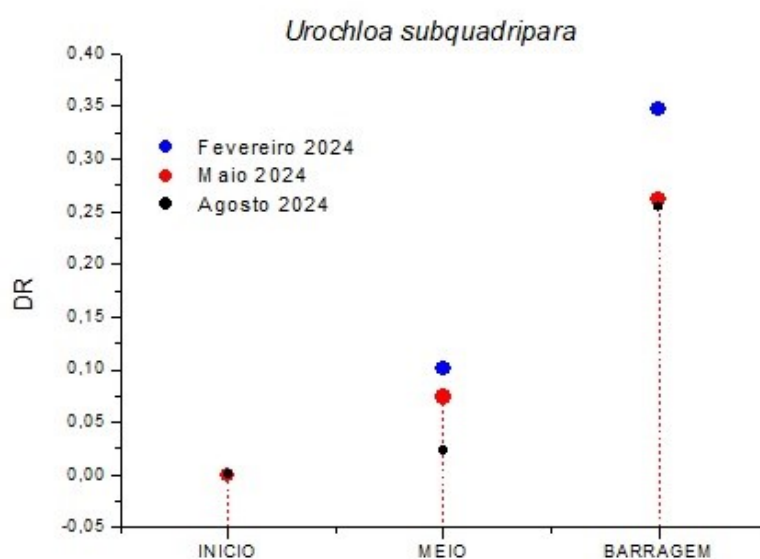


Figura 03 – Variação da densidade relativa de *Urochloa subquadripara* (BRASU), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.

A braquiária sempre apresenta maiores populações na região próxima à barragem, sendo que na região de início de remanso esta planta não foi identificada (valor zero). O crescimento desta planta sempre ocorre ao longo da região marginal, além de colonizar áreas internas da vegetação ciliar uma vez que as condições de umidade permitam este avanço. Apesar dos dados não demonstrarem matematicamente este aumento, o crescimento da braquiária aquática pode ser facilmente observado em campo, quando pequenos bancos estão sendo identificados em diversos pontos. Estes pequenos bancos não alteram os valores de importância relativa da espécie frente as demais representantes da comunidade, mas representam um indicativo de que esta espécie pode ser uma importante colonizadora da região marginal do corpo hídrico.



Foto 01 – Colonização marginal de *Urochloa subquadrifida* (braquiária – BRASU) em região próxima à barragem do reservatório de Tibagi em agosto de 2024.

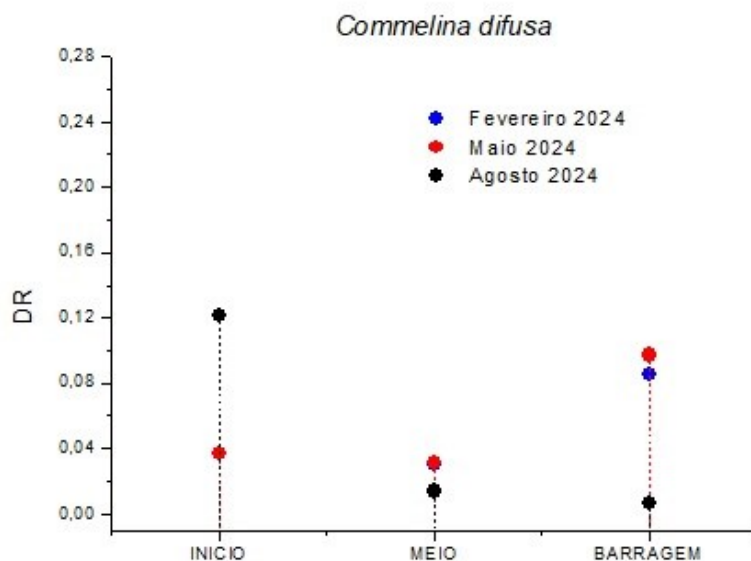


Figura 04 – Variação da densidade relativa de *Commelina difusa* (COMDI), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.

A *Commelina difusa* e a *Eichhornia azurea* apresentam uma distribuição mais uniforme no corpo hídrico, sempre em densidades muito baixas.

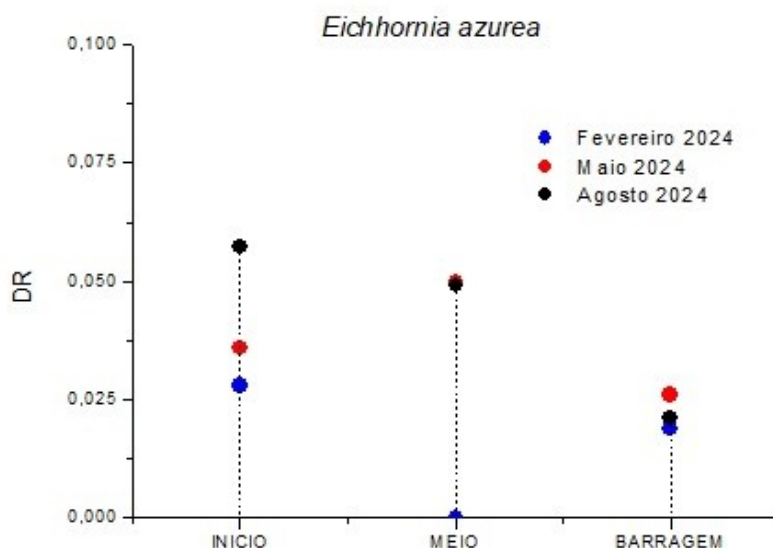


Figura 05 – Variação da densidade relativa de *Eichhornia azurea* (EICAZ), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.

O aguapé (*Eichhornia crassipes*) apresenta uma distribuição bem homogênea ao longo do reservatório de Tibagi, representando entre 10 e 20% da comunidade de plantas aquáticas em cada um dos setores do corpo hídrico. Este dado comprova a frequência alta desta população ao longo dos pontos de amostragem no corpo hídrico, indicando uma presença significativa desta espécie em todos os aglomerados de vegetação aquática avaliados. Uma vez que estes gráficos apresentam valores relativos, o aumento da população de alface d'água provocou, matematicamente, uma redução da porcentagem de importância desta espécie. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para o caso da *Hydrocotyle ranunculoides*, uma planta típica de regiões marginais do espelho d'água.

No caso do aguapé deve-se manter esta planta em observações constante, uma vez que apresentam potencial para rápida colonização do espelho d'água, principalmente em regiões onde ainda existem paliteiros, os quais podem fornecer condições para formação de grandes bancos de vegetação flutuante.

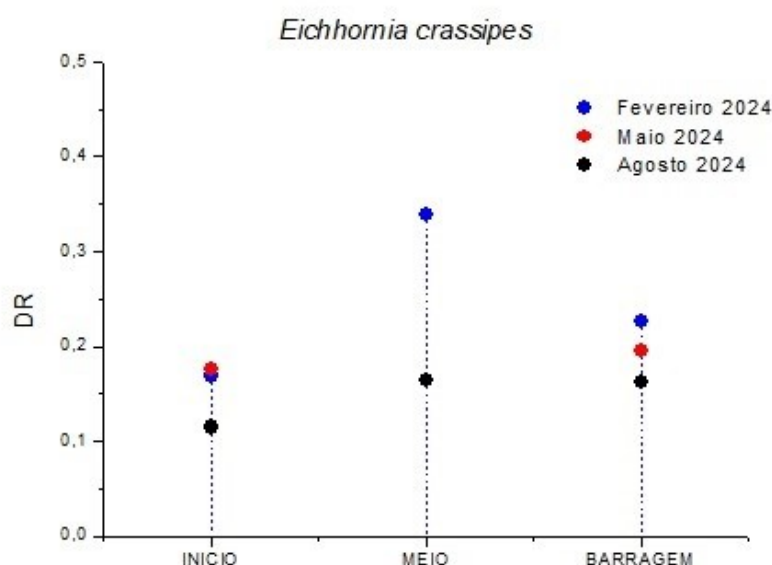


Figura 06 – Variação da densidade relativa de *Eichhornia crassipes* (EICCR), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.

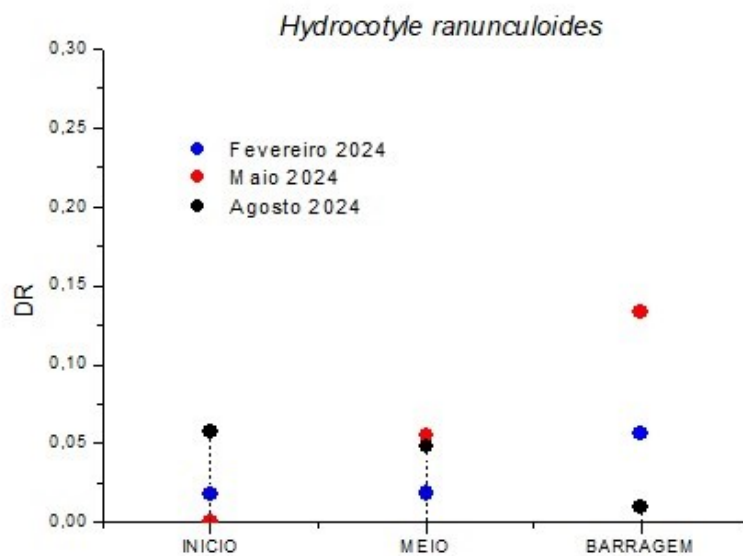


Figura 07– Variação da densidade relativa de *Hydrocotyle ranunculoides* (HYDRA), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.



Foto 02 – Aglomerado monoespecífico de *Hydrocotyle ranunculoides* no reservatório de Tibagi em agosto de 2024.



Foto 03 – População de aguapé (*Eichhornia crassipes*) junto à alfaca d'água e *Oxycarium cubense* em remanso do reservatório de Tibagi em agosto de 2024.

A alfaca d'água (*Pistia stratiotes*), com exceção da região correspondente ao início do alagamento, apresentou densidades semelhantes às observadas em fevereiro ou maio de 2024. Na região inicial da área alagada do reservatório ocorreu um aumento da importância (DR) da alfaca d'água, representando 50 % de toda a comunidade de plantas aquáticas que se desenvolvem neste segmento. Deve-se ter em mente que nesta região as populações apresentam pequenas populações com baixa frequência, o que pode ter causado o aumento da densidade relativa da espécie. Além disso, em algumas regiões foram observados grandes aglomerados de alfaca d'água (Foto 04), os quais contribuíram para o aumento de sua importância.

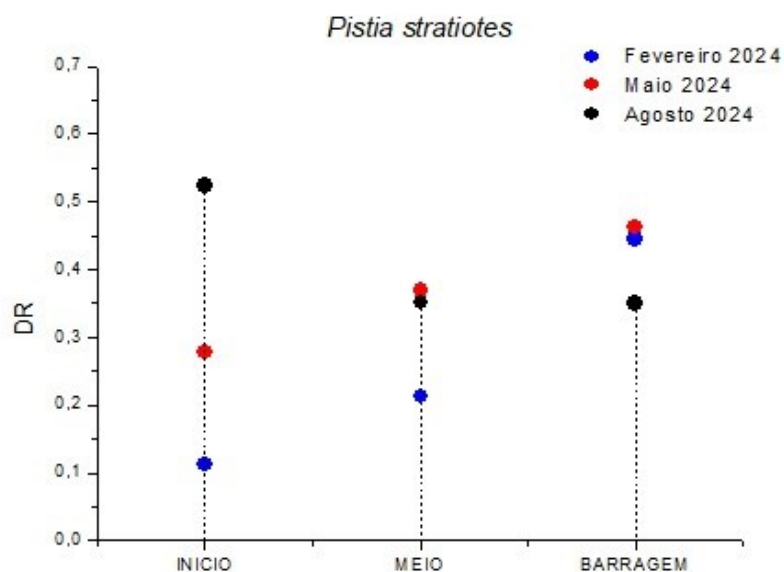


Figura 08 – Variação da densidade relativa de *Pistia stratiotes* (PIIST), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.



Foto 04 – Aglomerado de plantas de alface d'água (*Pistia stratiotes*) na região do início do reservatório de Tibagi em agosto de 2024.



Foto 05 – Aglomerado de plantas de alface d’água (*Pistia stratiotes*) formando uma infestação lateral do reservatório de Tibagi em agosto de 2024. As plantas apresentam-se soltas, podendo ser deslocadas com alterações na correnteza ou vento.

A maior parte das plantas de alface d’água encontram-se soltas, ou seja, não estão aglomeradas pelo crescimento de outras plantas que poderiam lhe restringir a dispersão. Muitas plantas desta espécie são encontradas colonizando a margem do espelho d’água em densidades muito baixas, formando faixas estreitas de vegetação. Muitos aglomerados de *Pistia stratiotes* apresentam plantas danificadas pelo frio intenso que ocorre nesta região, o que limitou seu crescimento populacional nestes últimos meses. Estas plantas podem, com o início do período de primavera iniciar a formação de aglomerados mais compactos de vegetação flutuante, principalmente quando próximas de paliteiros ou em remansos mais fechados.

Provavelmente devido ao desenvolvimento da alface d’água e do aguapé, a população de *Salvinia auriculata* apresenta um lento crescimento, apesar de se apresentar distribuída por todo o corpo hídrico.

Com a redução das chuvas, muitos aglomerados de plantas flutuantes permaneceram estáticos por período suficiente para que o *Oxycarium cubense* iniciasse sua colonização. Esta ciperácea deverá aumentar sua taxa de crescimento com o aumento gradativo da temperatura média do dia. Concomitantemente a espécie deverá se beneficiar com o aumento das populações das plantas flutuantes.

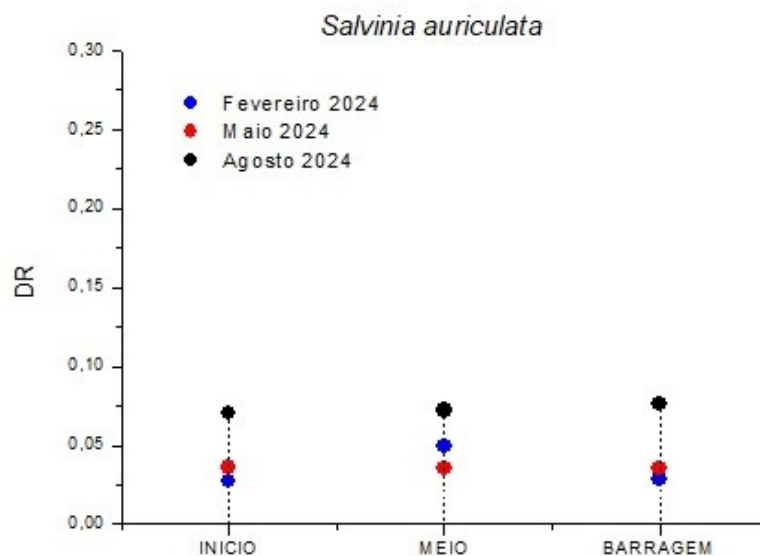


Figura 09 – Variação da densidade relativa de *Salvinia auriculata* (SAVAU), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.

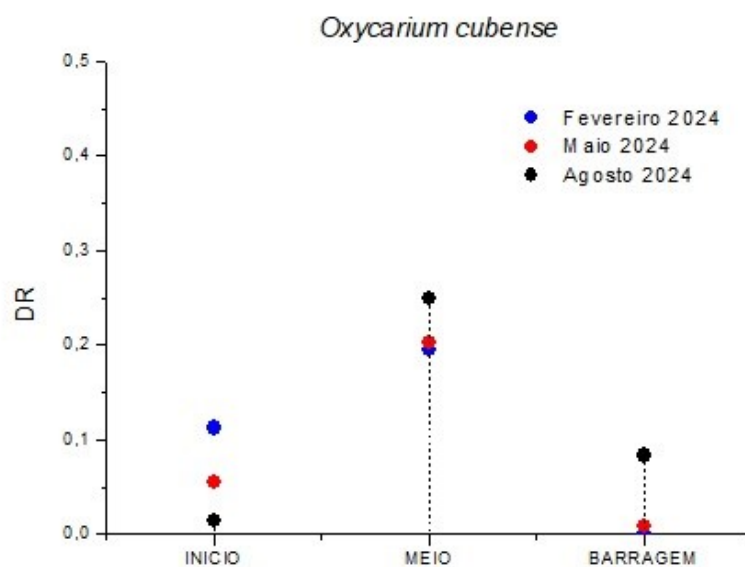


Figura 10 – Variação da densidade relativa de *Oxycarium cubense* (SCPCU), nas três regiões do reservatório de Tibagi em fevereiro, maio e agosto de 2024.



Foto 06 – Início do crescimento da epífita *Oxycarium cubense* sobre bancos de alface d'água no reservatório de Tibagi em agosto de 2024.



Foto 07 – Plantas de alface d'água danificadas pelas condições frias da região onde se localiza o reservatório de Tibagi. Agosto de 2024.

Qualidades físico-químicas da água do reservatório

As figuras abaixo apresentam a variação dos parâmetros de qualidade físico-química da água no corpo hídrico, conforme metodologia apresentada. Nesta campanha foram avaliados os parâmetros temperatura, pH, potencial de oxirredução, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (%).

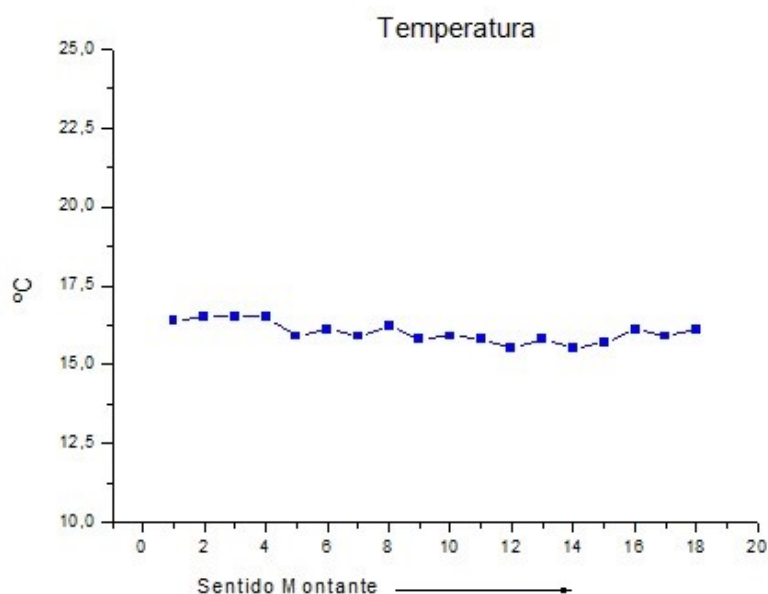


Figura 11 - Variação da temperatura da água ao longo do reservatório de Tibagi em agosto de 2024.

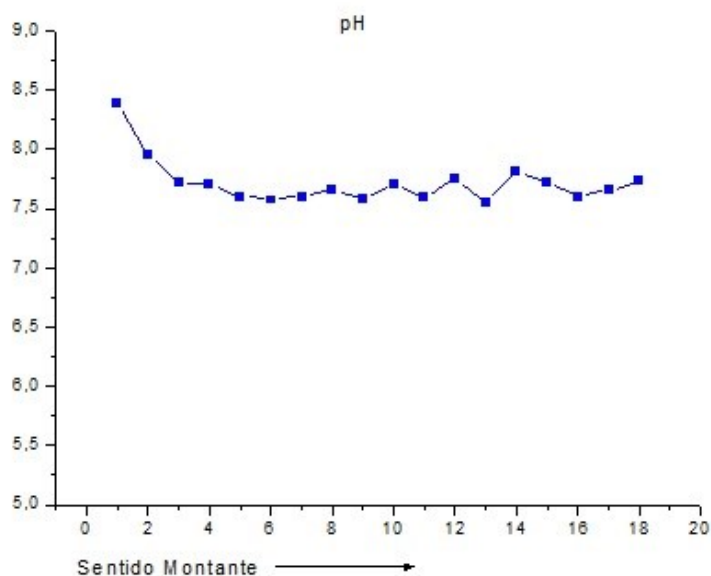


Figura 12 - Variação do pH da água ao longo do reservatório de Tibagi em maio de 2024.

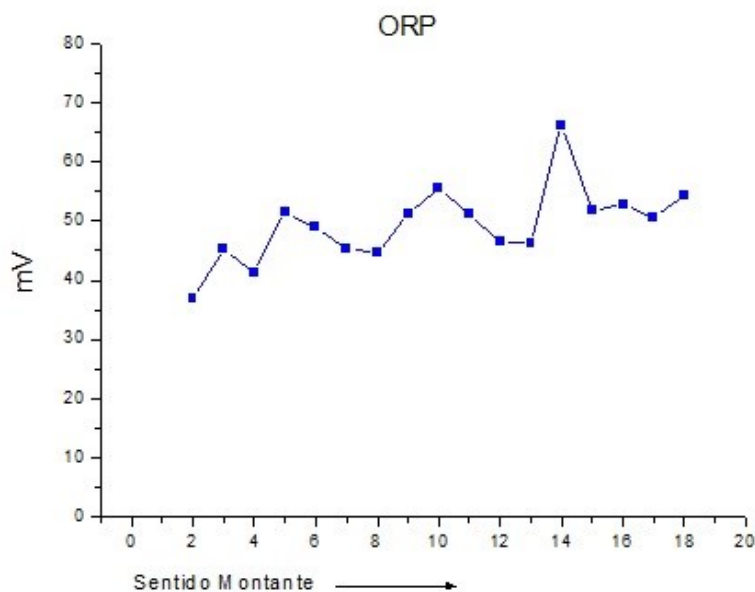


Figura 13 - Variação do potencial de oxirredução da água ao longo do reservatório de Tibagi em maio de 2024.



Figura 14 - Variação da condutividade elétrica da água ao longo do reservatório de Tibagi em maio de 2024.



Figura 15 - Variação dos teores de oxigênio dissolvido da água ao longo do reservatório de Tibagi em maio de 2024.

Observando os gráficos acima, pode-se concluir que as condições físico-químicas do reservatório de Tibagi são praticamente constantes (ou uniformes) em toda a sua extensão, sendo que as pequenas diferenças observadas podem ser consideradas como insignificantes do ponto de vista do manejo.

Os valores de condutividade elétrica da coluna d'água são considerados baixos e uniformes em toda a extensão do corpo hídrico, não demonstrando haver qualquer fonte significativa de eutrofização (concentração de íons) do sistema.

O pH da coluna d'água mantém-se próximo a 8 e a saturação de oxigênio sempre se apresenta acima de 70%, o que equivale a 7,8 mg/L de oxigênio dissolvido (EMBRAPA, Comunicado Técnica 54, 2016). O valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a preservação da vida aquática, estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05(2) é de 5,0 mg/L, embora exista uma variação na tolerância de espécie para espécie.

Concentrações de nutrientes e metais nas macrófitas

As figuras abaixo apresentam as concentrações de nutrientes e metais na biomassa de três macrófitas aquáticas de hábito flutuante: *Eichhornia crassipes* (EICCR) e *Pistia stratiotes* (PIIST), e *Salvinia auriculata* (SAVAU).

Os dados representam as concentrações dos elementos em cinco épocas de coleta: outubro 2022, julho e novembro de 2023, fevereiro, maio e agosto de 2024.

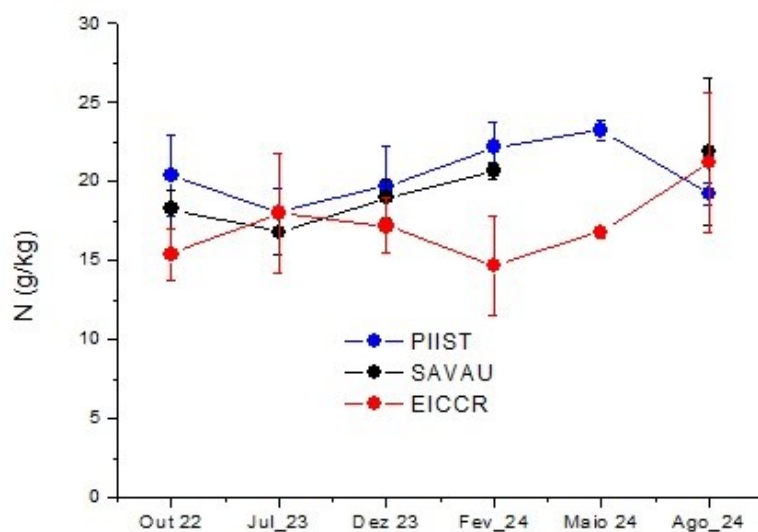


Figura 16 – Valores da concentração de nitrogênio em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2023 e 2024.

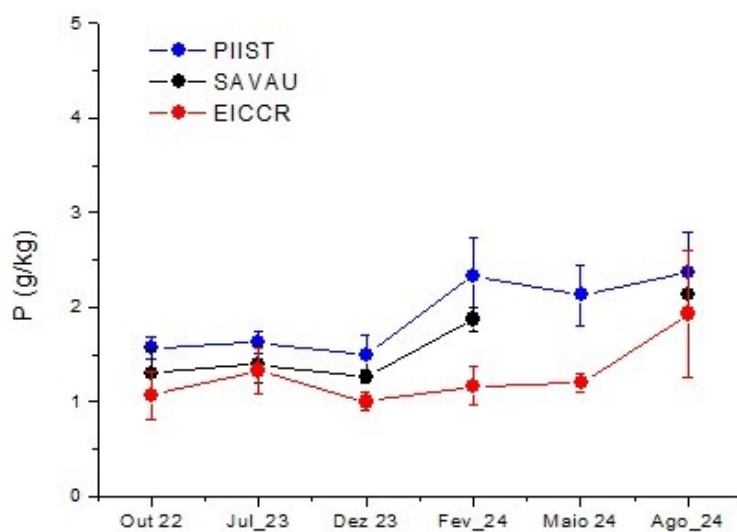


Figura 17 – Valores da concentração de fósforo em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

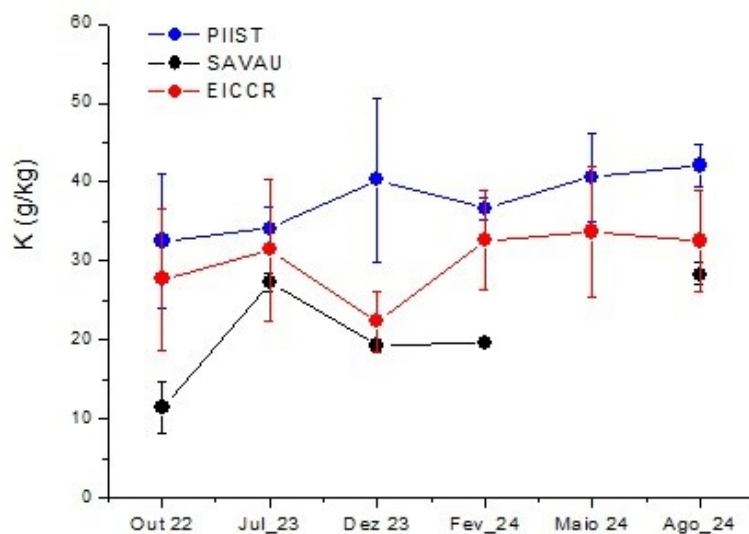


Figura 18 – Valores da concentração de potássio em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

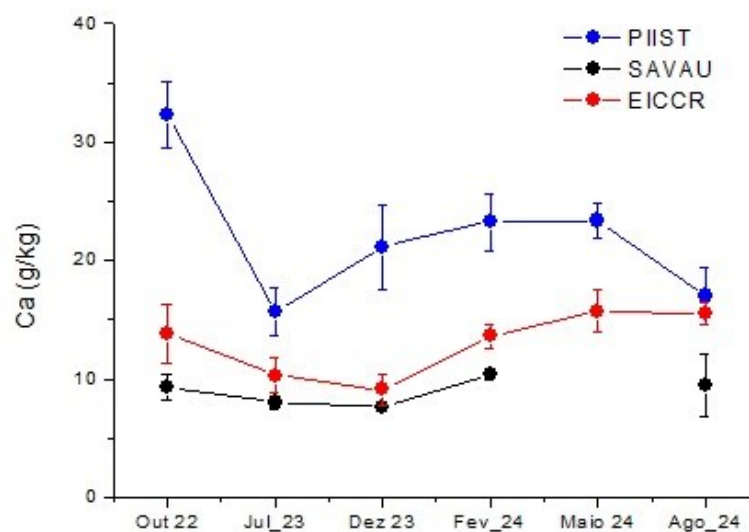


Figura 19 – Valores da concentração de cálcio em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

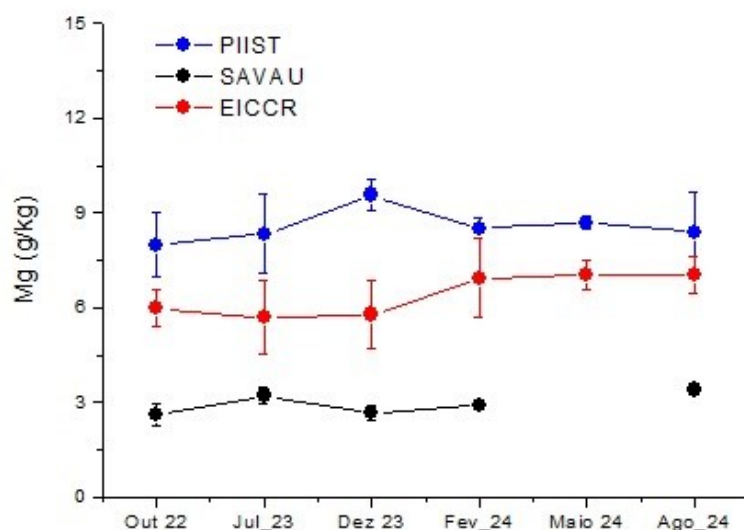


Figura 20 – Valores da concentração de magnésio em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

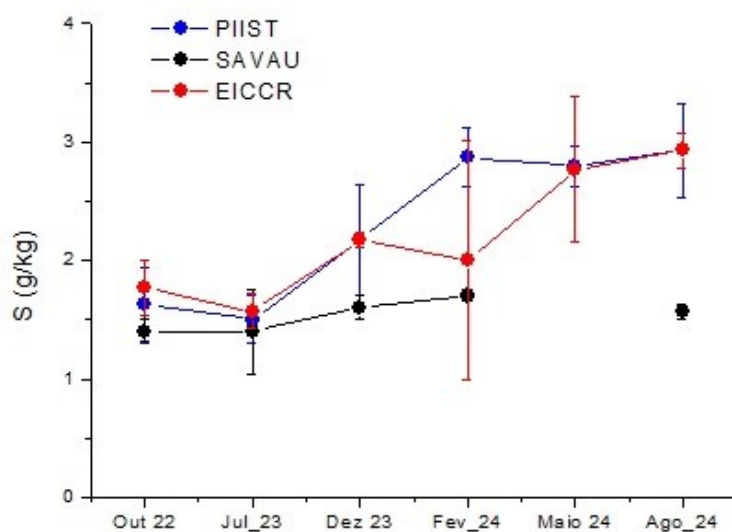


Figura 21 – Valores da concentração de enxofre em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

As espécies *Salvinia auriculata* (SAVAU) e *Pistia stratiotes* (PIIST) apresentaram concentrações muito semelhantes de nitrogênio ao longo de todo o período de avaliação. Os valores sempre permaneceram próximos a 20 g/kg de matéria seca (em média), o que corresponde a 2 kg de nitrogênio por tonelada de matéria verde. A *Eichhornia crassipes*

(EICCR) apresentou concentrações de nitrogênio semelhantes as demais plantas em todas as épocas, com exceção das coletas realizadas em fevereiro e maio de 2024.

Cenário semelhante ao observado para nitrogênio pode-se verificar quanto as concentrações de fósforo. Nas coletas de fevereiro e maio de 2024 as concentrações de fósforo em aguapé (EICCR) foram estatisticamente inferiores à alface d'água (PIIST). A salvinia (SAVAU) apresentou concentrações semelhantes às observadas em alface d'água em todas as épocas em que foi coletada. Em agosto, a retirada de 1 tonelada de matéria verde de quaisquer das espécies flutuantes resultaria numa remoção de 200 gramas de fósforo (elemento puro).

A alface d'água (PIIST) foi a principal acumuladora de potássio na coleta de dezembro de 2023. Nas outras épocas sua concentração não diferiu das observadas em tecidos de aguapé (EICCR). A espécie *Salvinia auriculata* (SAVAU) apresentou os menores teores de potássio em seus tecidos, mesmo que em algumas épocas estes valores não diferiram estatisticamente dos encontrados no aguapé.

A alface d'água (PIIST) também foi a principal acumuladora de cálcio em seus tecidos em todas as épocas de coleta, com exceção da coleta atual (agosto de 2024), quando seus valores não diferiram estatisticamente dos observados em plantas de aguapé (EICCR). A retirada de 1 tonelada de alface d'água resultaria na remoção de 20 kg de cálcio (elemento puro). O aguapé e a salvinia sempre apresentaram concentrações com valores muito próximos, com exceção da amostra retirada em agosto de 2024, quando os valores em tecidos de salvinia foram mais baixos.

O padrão de acúmulo de magnésio é bem delimitado entre as três macrófitas. A alface d'água (PIIST) apresenta as maiores concentrações do elemento químico em seus tecidos, variando estes valores entre 7,5 e 9,5 g/kg de matéria seca. As concentrações em aguapé (EICCR) são sempre inferiores à alface d'água, mesmo que em algumas épocas estes cheguem a não diferir estatisticamente entre si. Independente da época de amostragem, a salvinia sempre apresenta valores mais baixos de magnésio, com valores próximos a 3 g/kg de matéria seca.

Com exceção da amostra de salvinia (SAVAU), recém coletada em agosto de 2024, não houve diferenças estatísticas entre os teores de enxofre entre as três espécies de macrófita flutuante. O gráfico claramente demonstra que o aguapé e a alface d'água apresentaram aumento de suas concentrações de enxofre com a passar do tempo, o que não ocorreu com a salvinia. Neste gráfico também fica evidente que a variabilidade dos dados em relação à média é alta para as outras duas espécies, mas não em salvinia.

As figuras de 22 a 30 representam as concentrações de micronutrientes e metais pesados nas três espécies de macrófitas flutuantes coletadas no reservatório da UHE Tibagi Montante nas épocas de amostragem.

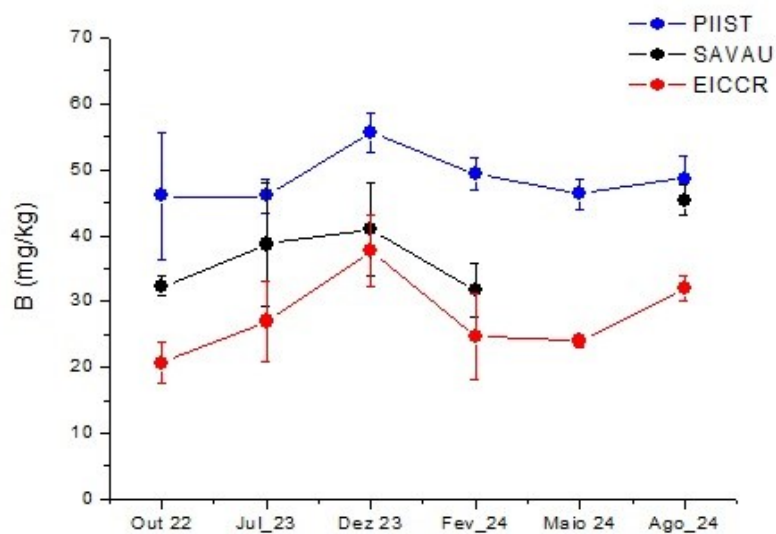


Figura 22 – Valores da concentração de boro em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

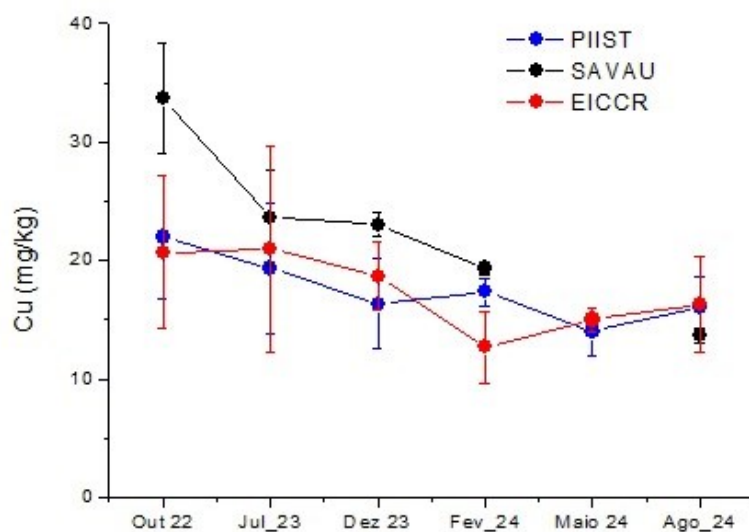


Figura 23 – Valores da concentração de cobre em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

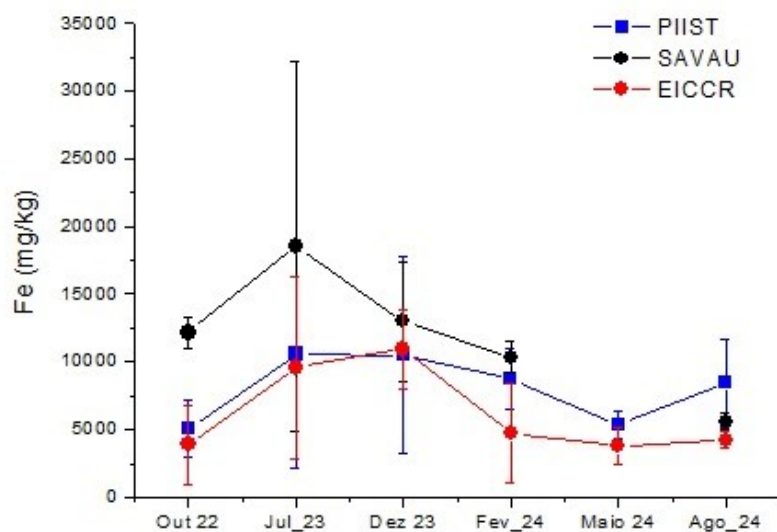


Figura 24 – Valores da concentração de ferro em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

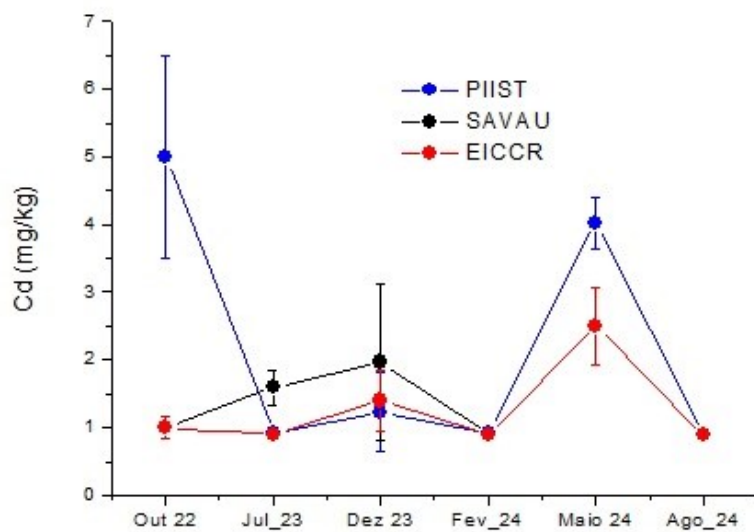


Figura 25 – Valores da concentração de cádmio em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

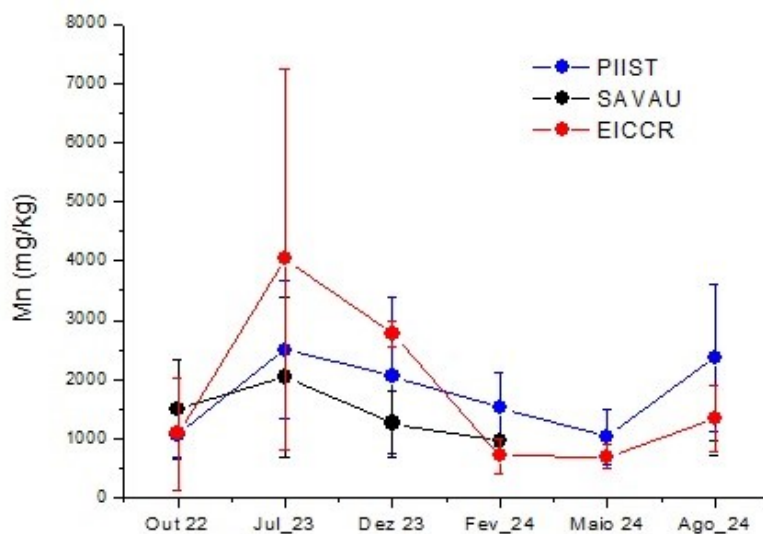


Figura 26 – Valores da concentração de manganês em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

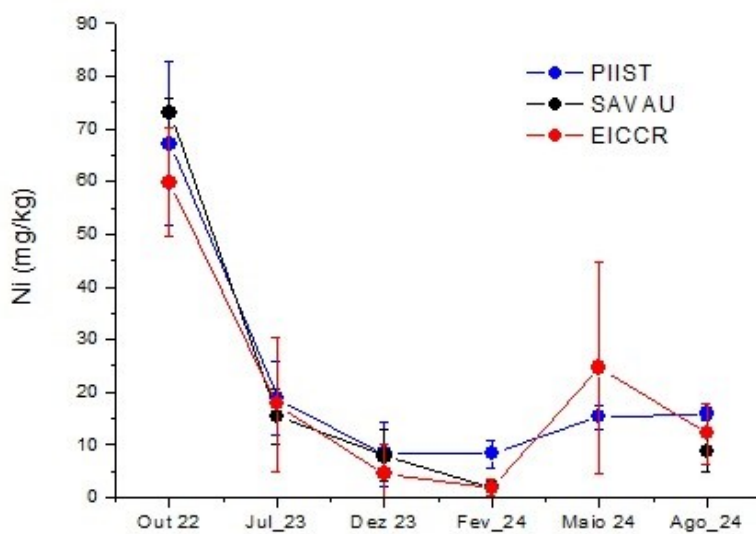


Figura 27 – Valores da concentração de níquel em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

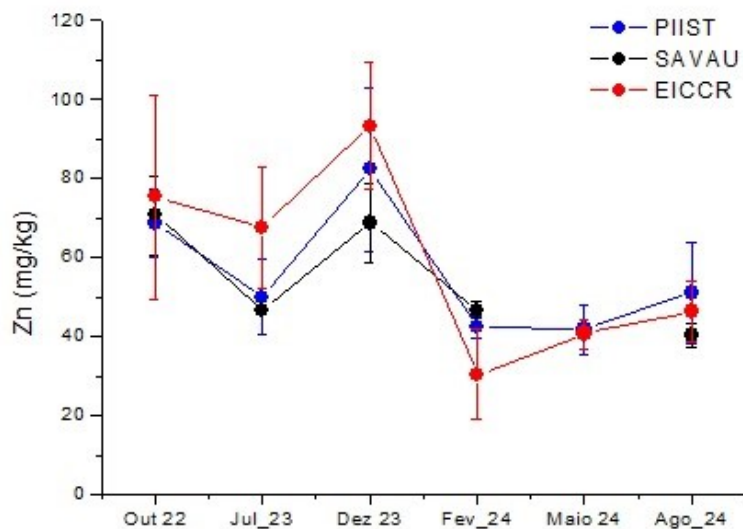


Figura 28 – Valores da concentração de zinco em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

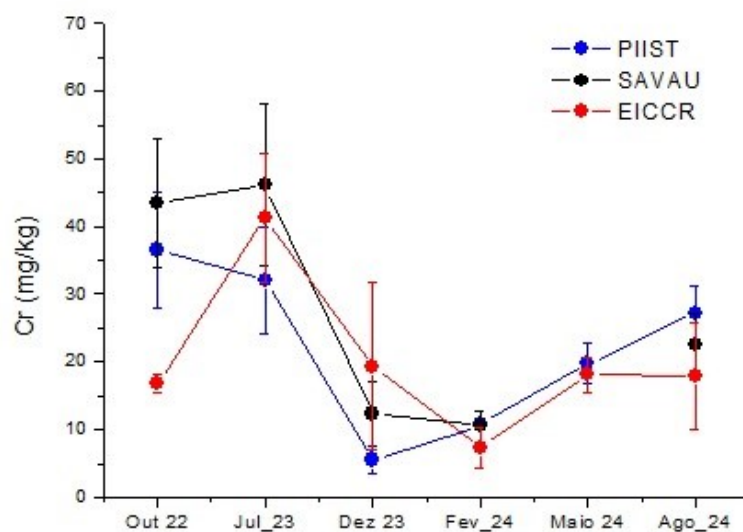


Figura 29 – Valores da concentração de cromo em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

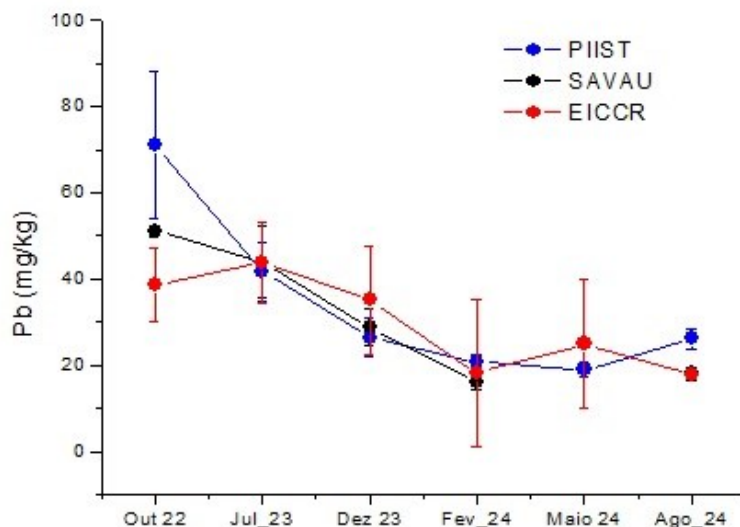


Figura 30 – Valores da concentração de chumbo em plantas de *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* nas campanhas de coleta em 2022, 2023 e 2024.

Com relação à concentração de boro, a alface d'água (PIIST) é a principal acumuladora do elemento, sendo superior as demais em todas as épocas de amostragem, com exceção da salvinia (SAVAU) na última coleta, a qual apresentou valores mais altos que em outras épocas. O aguapé (EICCR) sempre apresentou menores concentrações de boro, com valores estatisticamente semelhantes à salvinia apenas nas coletas de 2023 e fevereiro de 2024.

Com exceção da concentração de cobre em salvinia na amostra realizada em outubro de 2022, quando apresentou valores significativamente superiores as demais plantas, em todas as épocas as três espécies apresentaram valores semelhantes de concentração deste elemento em seus tecidos. Pode-se observar no gráfico que a concentração média de cobre nos tecidos da salvinia (SAVAU) vem apresentando redução em seus valores desde a primeira coleta em outubro de 2022.

A concentração do ferro no aguapé (EICCR) e na alface d'água (PIIST) apresentaram o mesmo padrão de comportamento ao longo do tempo, com maiores variâncias nas coletas de julho de 2023 a fevereiro de 2024. A salvinia (SAVAU) apresentou valores médios superiores aos observados nas outras plantas desde o início até a amostra retirada em fevereiro de 2024. Em julho de 2023 houve uma variabilidade muito grande nos dados de concentração de ferro em tecidos de salvinia, com amostras apresentando valores superiores a 30.000 mg/kg de matéria seca. A partir de fevereiro de 2024 os valores de ferro foram estatisticamente semelhantes nas três espécies e com valores médios inferiores a 10.000 mg/kg. Os valores de desvio padrão (variabilidade) também ficaram bem reduzidos após este período, o que indica uma maior homogeneidade das amostras.

A alface d'água (PIIST) apresentou dois picos de acúmulo de cádmio em seus tecidos. O primeiro foi observado na amostra coletada em outubro de 2022 quando atingiu valores entre 3,5 e 6,5 mg/kg de matéria seca. O segundo acúmulo ocorreu em maio de 2024 onde atingiu valor uma concentração média próxima a 4 mg/kg de matéria seca. As demais plantas e nas demais épocas a concentração de cádmio nas plantas não ultrapassou 3,5 mg/kg, ficando as médias entre 1,0 e 1,5 mg/kg de matéria seca. É importante salientar que a metodologia de análise não detecta cádmio abaixo de 1 mg/kg. Para efeito prático, nunca consideramos como zero a concentração do elemento quando não detectado, o que provoca este grande número de amostras contendo apenas 1 mg/kg. A indicação de valores inferiores a 1 mg/kg não necessariamente indica a ausência do elemento, o que também seria algo irreal.

Com exceção do pico na concentração de manganês que houve nas amostras de aguapé (EICCR) coletadas em julho de 2023, as plantas apresentaram concentrações semelhantes ao longo dos períodos de coleta. A maior parte das amostras de tecido nesta época apresentou valores entre 2.000 e 3.000 mg Mn/Kg de matéria seca.

Inicialmente, nas amostras tomadas em outubro de 2023, as plantas apresentaram valores mais altos de níquel em seus tecidos, atingindo concentrações entre 60 e 80 mg/kg de matéria seca. A partir das amostras obtidas em julho de 2023, as concentrações de níquel no tecido das plantas variaram na faixa entre 0 e 20 mg/kg de matéria seca. Apenas na amostra de maio de 2024, em aguapé (EICCR), foram observadas amostras com concentrações de níquel próximas de 40 mg/kg de matéria seca, o que proporcionou uma alta variabilidade dos dados nesta época.

As espécies de plantas aquáticas não diferiram quanto à concentração de cromo em seus tecidos em quaisquer das épocas de amostragem. O mesmo padrão foi observado quanto à concentração de chumbo, mas neste caso houve uma tendência mais perceptível de redução da concentração total de chumbo com o passar do tempo. Apenas na primeira amostragem a alface d'água se destacou pela sua maior concentração de chumbo, imobilizando cerca de 70 mg/kg de matéria seca, o que equivale a 7g de chumbo por tonelada de matéria verde.

5. Considerações finais

As plantas aquáticas, principalmente aquelas de hábito flutuante livre, estão distribuídas por praticamente toda a extensão da área alagada do reservatório da UHE Tibagi Montante, ocorrendo, na maioria das vezes, como pequenas populações com crescimento restrito na região marginal do espelho d'água.

Em todas as avaliações realizadas, desde início de 2021, o reservatório manteve uma taxa de ocupação de espelho d'água pela vegetação aquática inferior a 1%, com raríssimas exceções onde essa taxa de ocupação chegou a 1,5%. Este fato deve-se principalmente aos baixos valores de condutividade elétrica da água e às operações de manejo que foram realizadas ao longo do tempo. Apesar destes fatores, juntamente com a estação de inverno, reduzirem a velocidade de

crescimento populacional das macrófitas aquáticas, estas ainda encontram condições para seu crescimento, o qual se acelerará com o aumento gradativo da temperatura.

A alface d'água e o aguapé apresentam aglomerados com plantas adultas e jovens, demonstrando a proliferação vegetativa destas espécies nas condições do reservatório. Em alguns pontos, a alface d'água coloniza maiores áreas de lâmina d'água, o que permite, em locais com menor fluxo de água, o início da colonização epifítica do *Oxycarium cubense*. Esta planta apresentou grande importância no reservatório de Tibagi, ocupando a maior parte dos locais com presença de macrófitas de hábito flutuante no passado.

A salvinia (*Salvinia auriculata*) ainda apresenta populações pequenas e pouco visíveis no reservatório. No entanto é uma espécie frequente no corpo hídrico e sua população poderá sofrer crescimento repentino com a melhoria das condições ambientais e nutricionais do corpo hídrico.

Uma grande parcela das plantas aquáticas flutuantes do reservatório da UHE Tibagi Montante encontra-se na borda do espelho d'água. Estas plantas estão em constante dispersão, distribuindo propágulos (plantas inteiras) para diferentes pontos do corpo hídrico, principalmente em locais com presença de paliteiros ou áreas de remanso onde seu crescimento é favorecido.

O reservatório da UHE Tibagi Montante apresenta boa qualidade de água, com baixa turbidez, e altos teores de oxigênio dissolvido. Apesar da condutividade elétrica ser baixa, ainda existem condições nutricionais para o crescimento de macrófitas aquáticas. No entanto, a retirada destas plantas, em campanhas de controle mecânico, pode promover a exportação de grandes quantidades de nutrientes para a área de preservação permanente, auxiliando no crescimento da vegetação ripária.

Neste momento do monitoramento, está sendo avaliada uma comunidade que sofreu estresse devido a condições de baixas temperaturas (incluindo condições de geada) que duraram período superior a 60 dias. Estas condições reduzem a taxa de crescimento de algumas espécies, enquanto pouco influenciam outras. Com a chegada da primavera e o aumento das temperaturas, este fator climático de controle é removido e as plantas retomam seu crescimento, principalmente *O. cubense* e *U. subquadrifida*, que são espécies que afetam diretamente as operações de manejo do corpo hídrico.

Plantas como *Hydrocotyle ranunculoides* e *Eichhornia azurea* aumentaram importância no corpo hídrico, principalmente devido à redução da população de populações de plantas flutuantes após as operações de manejo. Esta condição promove um aumento, apesar de pequeno, na diversidade específica da comunidade de plantas aquáticas do reservatório.

Devido a maior parte dos aglomerados de plantas aquáticas serem de tamanho pequeno, a alteração na metodologia não provocou qualquer alteração no padrão dos resultados. Possivelmente esta diferença será notada quando a comunidade apresentar maior importância na colonização do corpo hídrico.



De modo geral, a comunidade de plantas aquáticas do reservatório da UHE Tibagi Montante ainda apresenta tamanho reduzido, mas com ampla distribuição de propágulos ao longo da extensão da área alagada. É essencial monitorar essas populações e a qualidade da água, além de manter as práticas de manejo já implementadas, como o vertimento controlado e em pequenas quantidades, para identificar precocemente possíveis explosões populacionais e adotar medidas de controle adequadas.