



Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig



Macrófitas Aquáticas

**CARACTERIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA
EM RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS**

1ª Edição - 2021

Belo Horizonte – Cemig 2021

ISBN: 978-85-87929-85-3

Copyright: Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig

Presidência – DPR: Reynaldo Passanezi Filho
Diretoria Adjunta de Estratégia, Meio Ambiente, Inovação e Gabinete da Presidência – DEP: Mauricio Dall’Agnese
Gerência de Gestão Ambiental – DEP/GA: Rafael Augusto Fiorine

Autoras:

Juliana de Oliveira Xavier
Mônica de Cássia Souza Campos
Sylvia Therese Meyer Ribeiro
Helen Regina Mota

Fotografias:

Aylton Soares
Francisco Sousa
Glaysimara Aparecida Felipe
Guilherme Haruo Vieira Okano
Karina Alves
Mônica de Cássia Souza Campos
Helen Mota
João Marcos Rosa (Acervo Cemig 20130606JR0016)
Juliana Xavier
Paulo Vagner dos Santos
Pedro Fialho
Sylvia Meyer

Ilustração:

Gabriela Rabelo Andrade

Colaboradoras:

Natália Cristina Vieira de Carvalho
Eliana Figueiredo da Silva

Coordenadoras:

Marcela David de Carvalho
Mônica de Cássia Souza Campos (Coordenadora P&D GT633)
Sylvia Therese Meyer Ribeiro (Coordenadora P&D GT633)

Endereço:

Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais
Superintendência de Estratégia, Meio Ambiente e Inovação
Av. Barbacena, 1.200 – 12º andar – Ala A2
CEP: 30190-131 – Belo Horizonte (Minas Gerais) / Brasil

Catálogo na Publicação (CIP)

Cemig
C355 Macrófitas Aquáticas. Caracterização e importância
em reservatórios hidrelétricos / Cemig. Fotos iStock. Belo
Horizonte. Cemig 2021
96p.: il. fot.
ISBN 978-85-87929-85-3

1. Macrófitas aquáticas. 2. Usinas hidrelétricas. I. Juliana
Xavier. II. Helen Mota. III. Sylvia Meyer. IV. Mônica Campos. V. Marcela
Carvalho. VI. Natália Carvalho. VII. Eliana Figueiredo.

Bibliotecária responsável: Fernanda de Oliveira CRB-6/2472

ÍNDICE

Apresentação	7
Introdução	9
SOBRE AS MACRÓFITAS	11
Macrófitas Aquáticas	13
Macrófitas e comunidades associadas	16
Proliferação de Macrófitas	23
Impactos negativos	25
Exemplos de espécies de macrófitas ocorrentes em reservatórios hidrelétricos brasileiros	29
Desafios no Controle de Macrófitas	35
Ações prioritárias para reservatórios hidrelétricos	36
Possíveis técnicas de manejo aplicadas para controle de macrófitas aquáticas	39
Potencial invasor de macrófitas em reservatórios	43
Monitoramento nos reservatórios da Cemig	45
AS MACRÓFITAS OCORRENTES NO RESERVATÓRIO GAFANHOTO	49
As macrófitas ocorrentes no Reservatório da PCH Gafanhoto	50
Contexto ambiental da Bacia de Contribuição	57
Caracterização limnológica e Índice de Integridade Ecológica	61
Estudos das comunidades de macrófitas aquáticas	75
Sistema similar a Wetlands artificiais	85
Considerações finais do estudo	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

APRESENTAÇÃO

Este livreto tem como propósito divulgar o conhecimento sobre as macrófitas aquáticas, a sua importância no ambiente aquático, suas formas de crescimento e os diversos fatores que influenciam em sua estrutura e proliferação. É uma oportunidade de atendimento às necessidades do setor elétrico, trazendo mais conhecimento, a fim de minimizar os impactos ambientais e econômicos decorrentes da proliferação de macrófitas aquáticas invasoras.

O conteúdo traz informações importantes e esclarecedoras sobre a ocorrência e a proliferação das macrófitas aquáticas em usinas hidrelétricas, com foco em usinas da Cemig, e apresenta resultados do projeto de pesquisa financiado pela companhia.



O projeto tem como objetivo contribuir com pesquisa para minimizar o processo de degradação da Bacia do Rio Pará, com ações que busquem a recuperação, a preservação e a melhoria da qualidade da água da bacia, compreendendo a aplicação de novas técnicas para o monitoramento das macrófitas.

A integração das informações geradas poderá orientar um plano de manejo de plantas aquáticas que possibilitará o gerenciamento compartilhado do recurso hídrico, além de contribuir para a minimização dos impactos econômicos no processo de geração de energia.

Esperamos que seja útil para diretores e professores de escolas, para as secretarias e diretorias de educação, para as secretarias de meio ambiente e recursos hídricos, comitês de bacias, órgãos fiscalizadores e a população do entorno.

Boa leitura!



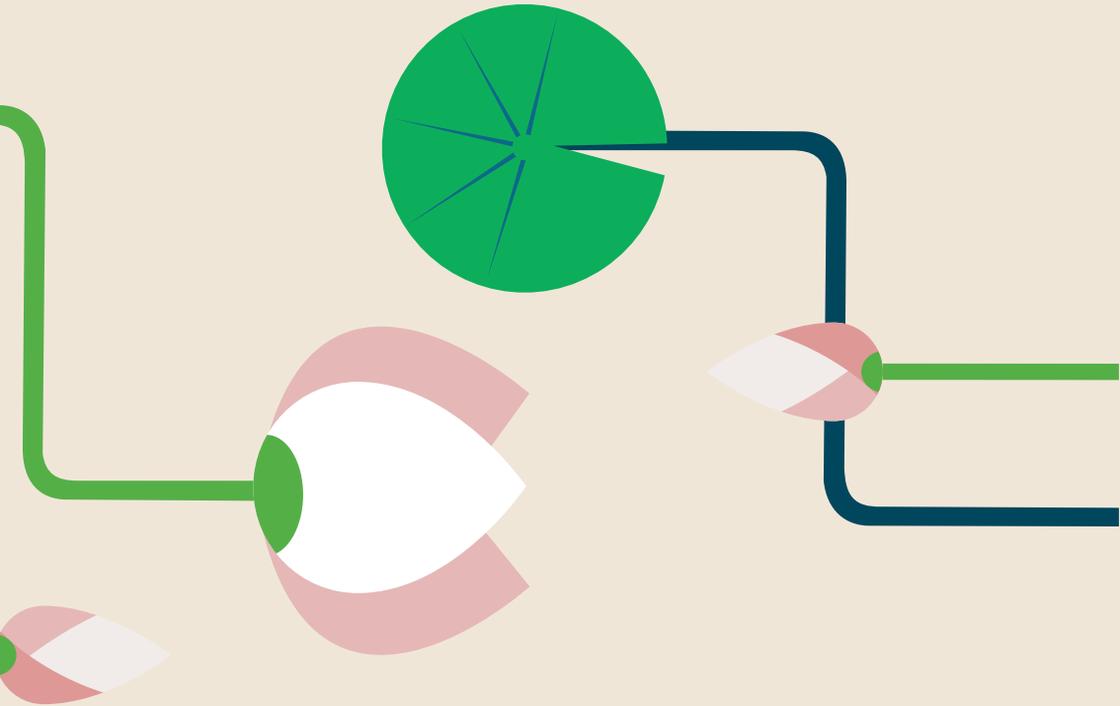


INTRODUÇÃO

A intensificação da construção de reservatórios hidrelétricos tem sido observada no Brasil especialmente após a década de 1960. Os reservatórios, em comparação aos ambientes lênticos naturais, recebem maior aporte de material particulado e dissolvido a partir de sua bacia de drenagem devido ao seu posicionamento geográfico e ao fato de funcionarem como pontos de convergência da maior parte da vazão de água, carga de nutrientes e sedimentos oriundos de sua rede hidrográfica (THOMAZ & BINI, 1998). Tais aspectos, em associação aos usos múltiplos e da degradação do entorno, implicam uma evolução do grau de trofia desses ambientes. Os distúrbios ambientais provocados em uma evolução pela exploração antrópica dos recursos naturais podem levar ao desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos e, conseqüentemente, ao surgimento de ambientes favoráveis ao desenvolvimento da comunidade de macrófitas aquáticas.

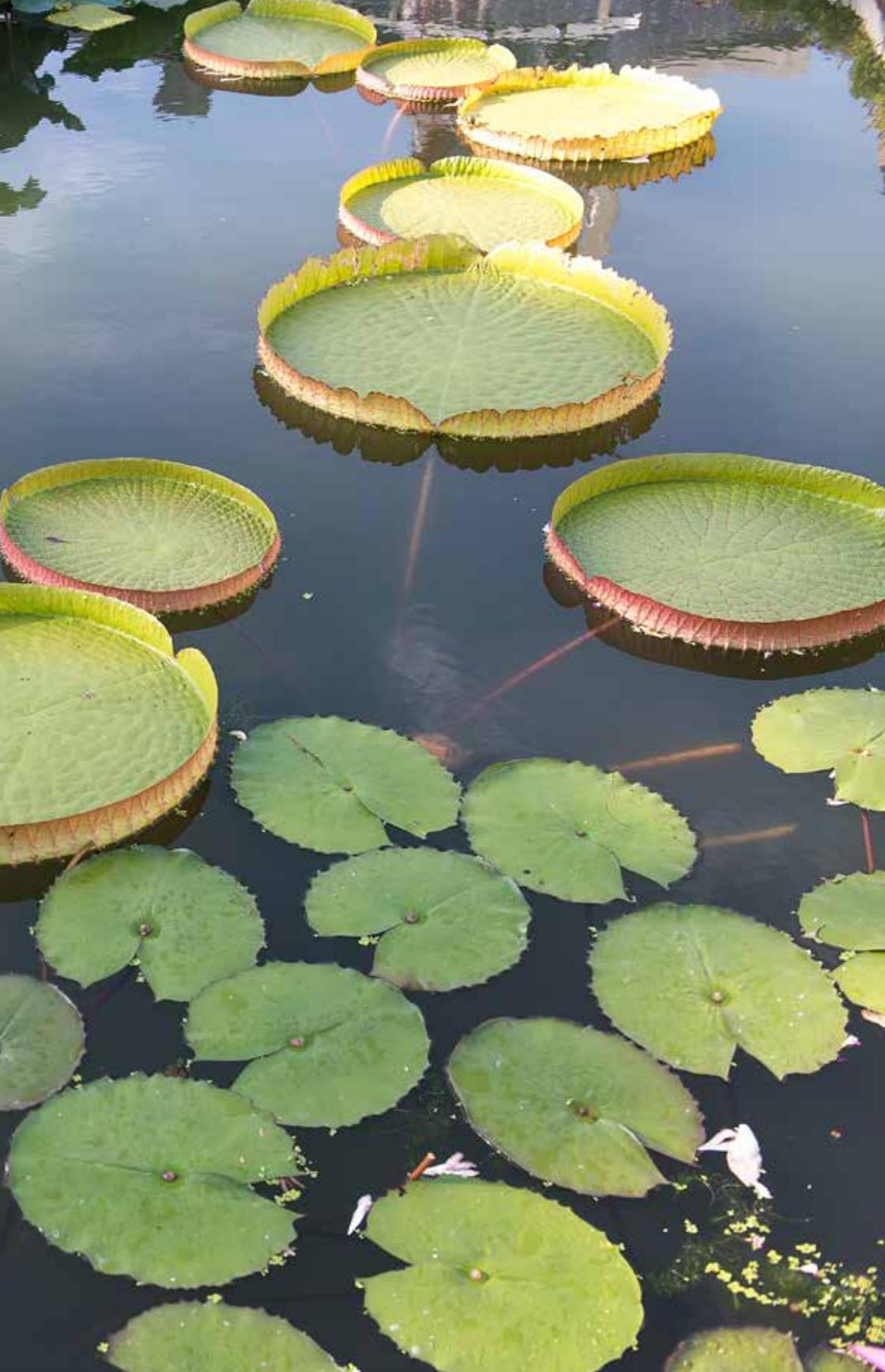
Vários são os fatores que podem contribuir para o desenvolvimento das macrófitas nesses ambientes, como: o enriquecimento de nutrientes no corpo d'água; o aumento da penetração da luz; a redução da velocidade da água; e o aumento da estabilidade observada nesses sistemas aquáticos. Esses fatores, atuando isoladamente ou em conjunto, podem potencializar as taxas de produção e de dominância de macrófitas aquáticas, influenciando diretamente na qualidade da água e impedindo os usos múltiplos do reservatório e a geração de energia.

Embora o intenso e descontrolado crescimento da vegetação aquática possa se tornar um problema em muitos reservatórios, não é pertinente considerar apenas os aspectos negativos desse fato (POMPEO, 2008). É preciso reconhecer a importância biológica das macrófitas na dinâmica dos ecossistemas aquáticos e sua relevância como indicadoras do estado de conservação do ambiente e a condição do ecossistema.

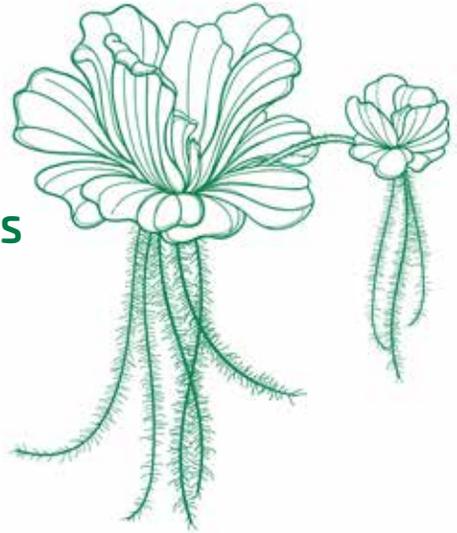


SOBRE AS MACRÓFITAS

**Classificação, formas biológicas,
funções e comunidades associadas:
um panorama da proliferação e
desafios no controle da espécie**



MACRÓFITAS AQUÁTICAS



As Macrófitas Aquáticas (*macro* = grande; *fita* = planta) são espécies vegetais visíveis a olho nu, cujas partes fotossintetizantes ativas são permanentemente – ou por alguns meses do ano – total, parcialmente submersas ou, ainda, flutuantes (IRGANG & GASTAL JR., 1996).

São plantas que no decorrer do processo evolutivo migraram do ambiente terrestre para o aquático, desenvolvendo muitas adaptações morfológicas e anatômicas que são necessárias à vida na água, principalmente para a flutuação, tais como cutícula fina, tecidos esponjosos (aerênquima), caules ocos e pelos hidrofóbicos que repelem a água, e as flores que, em geral, são postas fora da água (SCREMIN-DIAS et al., 1999).

As macrófitas aquáticas são vegetais que contribuem para estruturação e dinâmica da maioria dos ecossistemas aquáticos, habitando ambientes variados dentre os de água doce e salobra e apresentando grande capacidade de adaptação (ESTEVES, 1998).

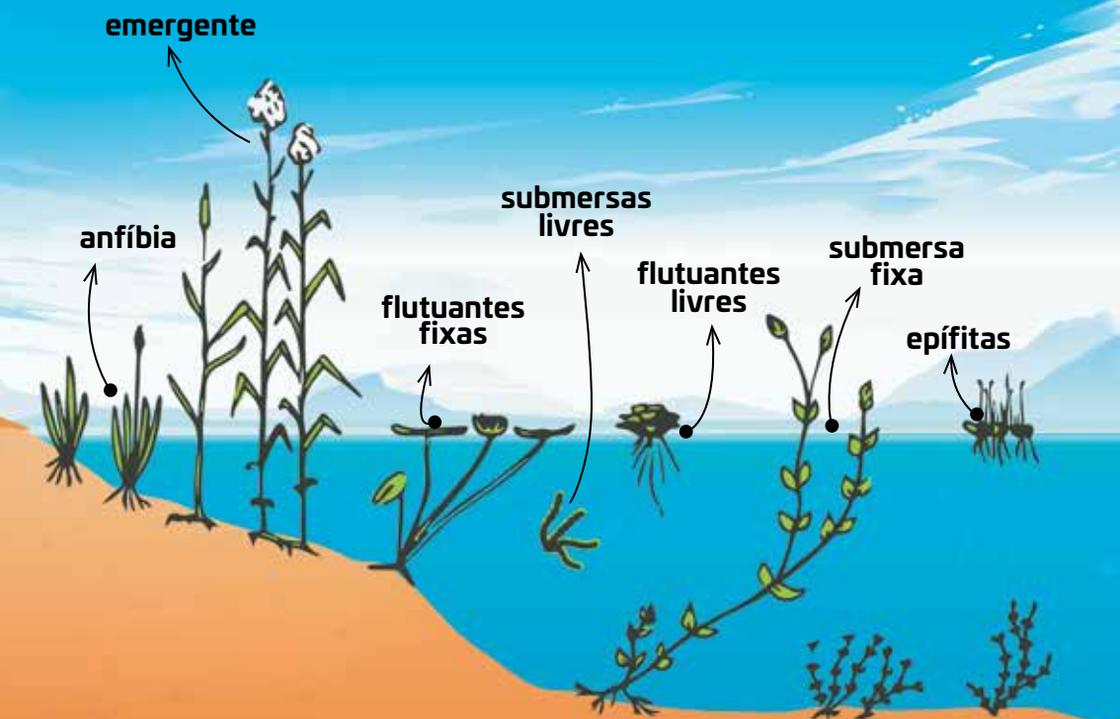
Seu ciclo de vida engloba tanto a reprodução sexuada por polinização cruzada e autopolinização quanto a assexuada pela propagação de rizomas ou estolões, permitindo maior êxito no crescimento.

As macrófitas possuem variadas formas de vida, cujas diferenças estão relacionadas com as adaptações, a sua distribuição, e a profundidade da água. De acordo com sua forma de vida, as macrófitas aquáticas são classificadas em grupos considerados essenciais para determinar a estrutura de uma comunidade de macrófitas aquáticas (PEDRALLI, 1990).

Classificação das macrófitas aquáticas de acordo com sua forma biológica

(ESTEVES, 1998; PEDRALI, 1990):

- **Anfíbia:** capaz de viver tanto em área alagada como fora da água, geralmente modificando a morfologia da fase aquática para a terrestre quando o nível da água abaixa;
- **Emergente:** enraizada no sedimento, com uma parte submersa e outra emersa;
- **Flutuante fixa:** enraizada no sedimento, possuindo folhas flutuantes;
- **Flutuante livre:** não enraizada no sedimento, podendo ser levada pela correnteza, pelo vento ou até por animais;
- **Submersa fixa:** enraizada no sedimento, caules e folhas submersos, geralmente emergindo a flor para fora da água;
- **Submersa livre:** não enraizada no fundo, totalmente submersa, geralmente emergindo somente as flores;
- **Epífita:** ocorre sobre outras plantas aquáticas.



Formas biológicas. Em uma zonação típica, geralmente as plantas anfíbias e emergentes aparecem nas margens e áreas mais rasas; à medida que a coluna de água começa a ficar mais profunda, surgem as espécies fixas de folhas flutuantes e, mais profundamente, aparecem as espécies flutuantes livres e submersas.



● Flutuante Livre



● Emergente



● Flutuante Fixa



● Submersa Livre



● Submersa Fixa

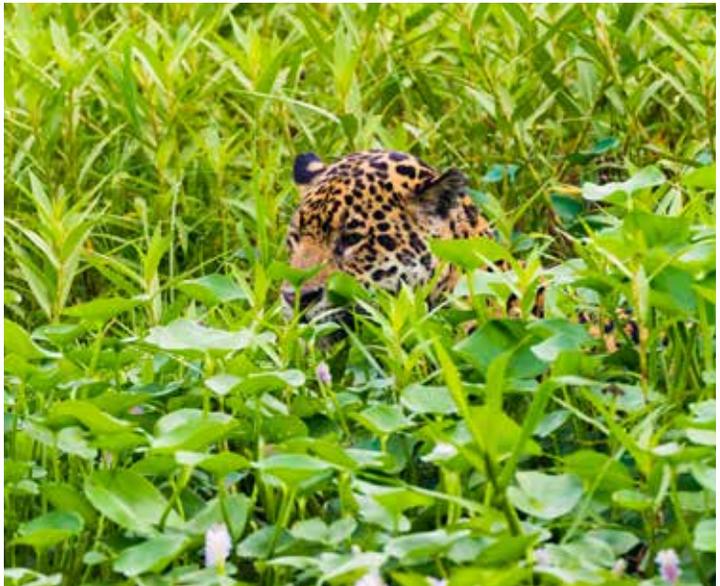
MACRÓFITAS E COMUNIDADES ASSOCIADAS

Funções das macrófitas. As macrófitas aquáticas desempenham importantes papéis para a manutenção da biodiversidade, para o metabolismo e para a estrutura dos ambientes aquáticos, além de funcionarem como indicadoras da qualidade da água, sendo responsáveis por importantes funções:

- **Realizam a ciclagem de nutrientes.** As macrófitas aquáticas fixas, que são enraizadas no sedimento, podem absorver os nutrientes das partes profundas e torná-los disponíveis a outras comunidades através do efeito de bombeamento nos ecossistemas aquáticos.
- **Removem nutrientes de ambientes eutrofizados.** Algumas espécies apresentam um importante papel na remoção de nutrientes em ambientes que apresentam eutrofização; por isso, podem agir como agentes despoluidores.
- **Fornecem materiais de importância econômica para a sociedade.** Podem ser utilizadas como alimento para o homem e para o gado e, ainda, como adubo orgânico. Servem também como matéria-prima para a fabricação de remédios, utensílios domésticos, artesanatos e tijolos para a construção de casas.

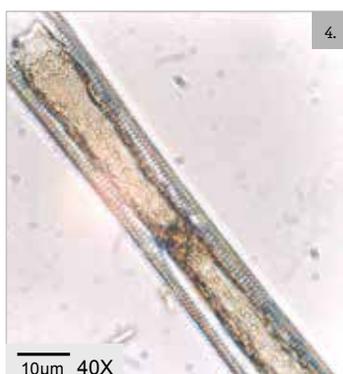
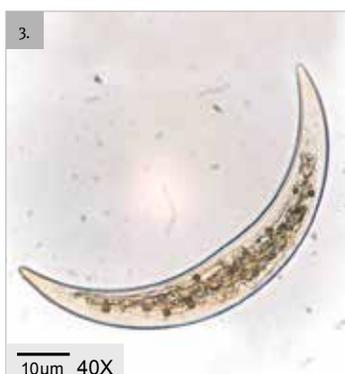
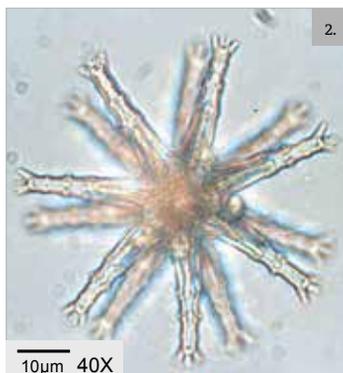
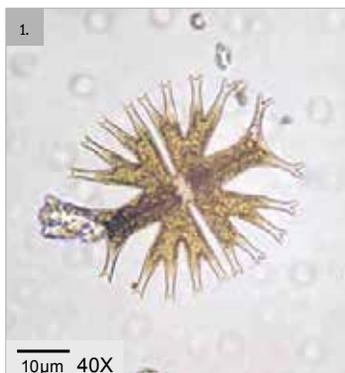


- **Favorecem o desenvolvimento da comunidade do perifíton.** O caule, as raízes e as folhas submersas das plantas proporcionam ambiente adequado para a comunidade do perifíton, uma vez que podem reter material particulado.
- **Proporcionam heterogeneidade de *habitat*.** As macrófitas criam ambientes favoráveis para uma fauna diversificada de insetos, peixes, aves e mamíferos, já que proporcionam refúgio, local para reprodução e recursos para esses organismos.
- **Protegem as margens do corpo d'água contra a erosão.** As macrófitas emersas podem contribuir para a proteção das margens, já que conferem maior estabilidade para o entorno dos sistemas aquáticos devido à sua fixação no solo, atuando ainda como filtro para a entrada de sedimentos.



Comunidades associadas

- **Fitoplâncton:** O fitoplâncton é muito diverso, sendo constituído por diferentes grupos taxonômicos, o que inclui as microalgas e as cianobactérias. Esses organismos são fotoautotróficos, cujo *habitat* é a coluna d'água.
- **Fitoperifíton:** O fitoperifíton é considerado também um biofilme ou bioderma; é uma complexa comunidade de microbiota (bactérias, fungos, algas, protozoários e animais), detritos orgânicos ou inorgânicos que estão aderidos firme ou frouxamente a substratos submersos, orgânicos ou inorgânicos, vivos ou mortos.



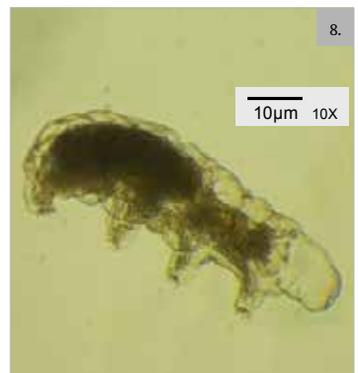
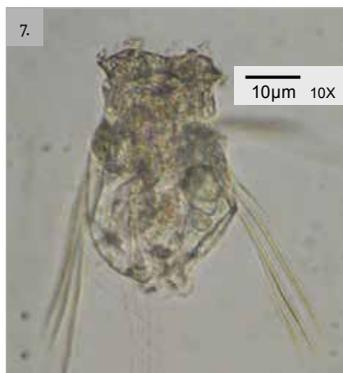
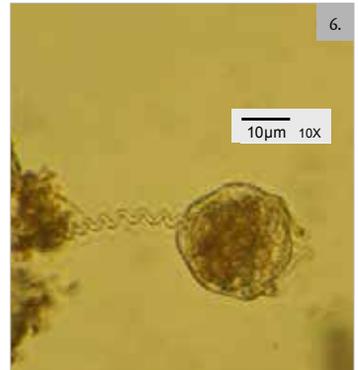
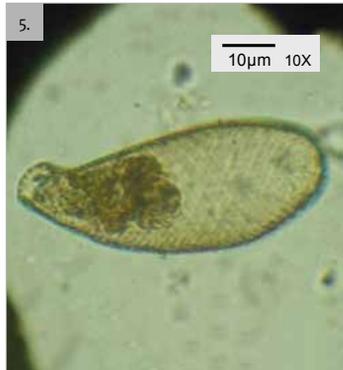
1. *Microasterias furcata* (Senai, 2019)

2. *Staurastrum rotula* (Senai, 2019)

3. *Closterium* sp. (Senai, 2019)

4. *Pinnularia* sp. (Senai, 2019)

- **Zooplâncton:** O zooplâncton é composto por organismos invertebrados de pequeno porte que vivem em suspensão nas diversas camadas do corpo d'água. Esses organismos são compostos principalmente por protistas, rotíferos, cladóceros e copépodos.
- **Zooperifíton:** O zooperifíton é constituído por organismos que vivem aderidos ou associados a diferentes substratos aquáticos. O modo de vida sésstil, juntamente com o curto tempo de geração e o ciclo de vida relativamente simples, faz com que tenha rápida resposta às alterações abióticas ocorridas na água. Como representantes do zooperifíton, temos principalmente os protozoários e os rotíferos.



5. *Chyphoderia ampulla* (Senai, 2019)

6. *Vorticella* sp. (Senai, 2019)

7. *Polyarthra dolichoptera* (Senai, 2019)

8. *Tardigrada* (Senai, 2019)

- **Macroinvertebrados aquáticos:** Os macroinvertebrados aquáticos são organismos visíveis a olho nu, que vivem em contato com o sedimento de rios e lagos aderidos a pedras, cascalhos e folhas ou enterrados na lama ou areia. Têm grande diversidade de formas e de *habitat*, além de um ciclo de vida longo quando comparado a outros organismos. Como seus representantes, temos insetos, moluscos, oligoquetas, ácaros, crustáceos, entre outros organismos.



9. Trichoptera - Hydropsychidae *Smicridea* sp. (Senai, 2019)

10. Diptera - Tipulidae (Senai, 2019)

11. Plecoptera - Perlidae *Kempnyia* sp. (Senai, 2019)

12. Odonata - Coenagrionidae *Acanthagrion* sp. (Senai, 2019)





Proliferação de Macrófitas





IMPACTOS NEGATIVOS

Além dos benefícios já conhecidos que as macrófitas oferecem (novos *habitat* para organismos aquáticos, ciclagem de nutrientes, entre outros), elas também podem causar problemas ambientais e prejuízos à geração de energia elétrica por causa do seu crescimento excessivo e carregamento de grandes bancos até a entrada das máquinas de geração de energia, principalmente em reservatórios eutrofizados.

Fatores que podem interferir no crescimento das macrófitas

- Concentração de nutrientes.
- Espaço livre entre as plantas.
- Temperatura.
- Radiação solar.
- Velocidade da corrente.
- Variação no nível da água.

Você sabia? As macrófitas são consideradas plantas daninhas quando colonizam rapidamente o corpo d'água devido ao seu crescimento desordenado, provocando inúmeros prejuízos ao equilíbrio do meio ambiente e ao uso dos recursos hídricos.

A proliferação descontrolada das macrófitas aquáticas é resultado do constante aumento da poluição, com despejo de esgoto doméstico, fertilizantes agrícolas e efluentes industriais diretamente nos corpos hídricos.

O que é eutrofização? A eutrofização é um processo em que o ecossistema aquático é enriquecido por nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, causando o crescimento excessivo de algas e de plantas aquáticas. As consequências para o corpo d'água são: diminuição do oxigênio dissolvido na água, perda da biodiversidade, piora da qualidade da água e aumento da incidência de cianobactérias (ESTEVES, 1998).

Causas da eutrofização artificial

- Entrada de efluentes domésticos e industriais.
- Drenagem superficial.
- Entrada de fertilizantes, pesticidas e detergentes biodegradáveis.
- Erosão do solo.
- Resíduos de mineração.

Consequências da eutrofização artificial

- Alteração da qualidade da água.
- Diminuição na concentração de oxigênio.
- Diminuição da transparência da água.
- Aumento na condutividade elétrica da água.
- Mudanças no pH.
- Produção de odores desagradáveis na água.
- Floração de cianobactérias e potencial produção de toxinas.
- Mortandade de peixes.
- Proliferação excessiva de macrófitas aquáticas.



Impactos negativos causados pelo excesso de macrófitas

- Prejuízos econômicos às usinas hidrelétricas devido à obstrução das grades de tomada de água nos reservatórios.
- Contribuição para o assoreamento dos reservatórios.
- Aumento das taxas de evapotranspiração e redução das taxas de trocas gasosas entre o ambiente aquático e a atmosfera, pela redução da turbulência das águas.
- Perda da biodiversidade.
- Prejuízo à saúde, uma vez que há a formação de ambiente propícios à reprodução de vetores de doenças de veiculação hídrica.
- Impedimento das atividades recreativas (pesca esportiva, recreação).
- Impedimento à navegação.



Comportamentos das macrófitas em reservatórios brasileiros

- Alta proliferação em regiões eutrofizadas.
- Espécies enraizadas ocupam usualmente a região litorânea dos ecossistemas lênticos, onde encontram condições adequadas para sua fixação e nutrição.
- Espécies livres e flutuantes; por sua capacidade de deslocamento, podem ocupar novas áreas rapidamente. Além disso, devido à sua alta proliferação, podem vir a cobrir grande parte do espelho d'água.
- Espécies submersas necessitam de água com baixa turbidez para sua reprodução e desenvolvimento.
- Em usinas hidrelétricas, formas biológicas flutuantes livres e submersas são as mais relacionadas aos prejuízos causados devido à obstrução das grades de tomada d'água.

O conhecimento sobre a biologia das macrófitas aquáticas, aliado às estratégias de manejo e conservação da bacia hidrográfica, é de extrema importância para a gestão eficiente dos ambientes aquáticos.



EXEMPLOS DE ESPÉCIES DE MACRÓFITAS OCORRENTES EM RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS BRASILEIROS

ARACEAE. Família.

Pistia stratiotes L. Nome científico.

Alface-d'água. Nome comum.

Hábito: Erva flutuante livre; anual ou perene.

Habitat: Água parada ou pouco corrente; frequentemente encontrada cobrindo todo o espelho d'água em áreas protegidas pela ação do vento.

Características: Folhas esponjosas; conforme o ambiente, pode atingir até 30 centímetros de diâmetro. Não tolera frio ou geada; propaga-se por meio de sementes ou vegetativamente por meio de estolões. Forrageira para animais; ornamental. Planta invasora de áreas úmidas, multiplica-se rapidamente até se tornar daninha.

Distribuição: Pantropical (KISSMAN & GROTH, 2000).



COMMELINACEAE. Família.

Commelina diffusa Burm.f. Nome científico.

Trapoeraba. Nome comum.

Hábito: Erva anfíbia e emergente.

Habitat: Margens de canais de drenagem; preferência por solos de boa umidade.

Características: Planta daninha; prefere solos férteis e semissombreados; a propagação se dá por meio de sementes ou por fragmentação e enraizamento do caule. Forrageira para animais.

Distribuição: Frequente em quase todo o país (LORENZI, 2000).



CYPERACEAE. Família.

Eleocharis minima Kunth. Nome científico.

Tiririca. Nome comum.

Hábito: Erva submersa fixa, emergente e anfíbia quando baixam as águas; perene ou anual.

Habitat: Rios e lagoas.

Características: Espécie muito variável em tamanho; quando submersa, pode atingir de 15 a 25 centímetros de altura; nas áreas úmidas, de 5 a 10 centímetros de altura. Forrageira para organismos aquáticos, cavalos e capivaras. Planta ornamental cultivada em aquário.

Distribuição: América tropical (IRGANG & GASTAL JR., 1996).





CYPERACEAE. Família

Rhynchospora corymbosa (L.) Britton. Nome científico.

Capim-navalha. Nome comum.

Hábito: Herbácea anfíbia ou emergente; perene.

Habitat: Áreas úmidas e pantanosas, típica de brejos (LORENZI, 2000).

Características: Cespitosa, caule liso com três quinas, folhas de bordo cortantes, escapo floral áspero formando um corimbo composto. Propagação por meio de sementes ou divisão de touceiras. Forrageira consumida por capivara. Planta invasora de áreas úmidas.

Distribuição: Pantropical (SIMPSON & INGLIS, 2001).



LYTHRACEAE. Família

Cuphea melvilla Lindl. Nome científico.

Sete-sangrias. Nome comum.

Hábito: Erva ou subarbusto pouco ramificado, anfíbio ou emergente; perene.

Habitat: Margens de rios e lugares úmidos e sombreados.

Características: Folhas ásperas e flores avermelhadas de 2,5 a 3 centímetros de comprimento. Planta ornamental.

Distribuição: Tropical, todo o Brasil (CORREA, 1969).



ONAGRACEAE. Família

Ludwigia leptocarpa (Nutt.) H.Hara. Nome científico.

Cruz-de-malta. Nome comum.

Hábito: Herbáceo ou subarbuscivo anfíbio, emergente; perene ou anual.

Habitat: Aquático ou ambientes úmidos, abertos e enso-larados, como campos, beira de rios e lagoas; também por ser encontrada em ilhas flutuantes de outras plantas aquáticas.

Características: Planta pioneira após a cheia, potencialmente invasora. Propaga-se por meio de sementes e enraizamento de partes do caule. Forrageira para animais.

Distribuição: Desde o sudoeste dos EUA até Argentina; também na África (ZARDINI & RAVEN, 1997).

ONAGRACEAE. Família.

Ludwigia octovalvis (Jacq.) P.H.Raven. Nome científico.

Cruz-de-malta. Nome comum.

Hábito: Herbáceo ou subarbuscivo anfíbio, emergente; perene ou anual.

Habitat: Lagos e rios.

Características: As flores são solitárias nas partes mais altas e possuem quatro pétalas amarelas. As raízes são esponjosas, e os ramos jovens são de coloração avermelhada. Atinge até 120 centímetros de altura. Planta típica de solos úmidos ou alagados. Propaga-se por meio de sementes. Cresce rapidamente em ambientes perturbados.

Distribuição: Pantropical (ZARDINI & RAVEN, 1997).

**ONAGRACEAE.** Família.

Ludwigia peploides (Kunth) P.H.Raven. Nome científico.

Cruz-de-malta. Nome comum.

Hábito: Erva anfíbia, submersa, emergente ou flutuante fixa; perene.

Habitat: Cresce na lama, na superfície da água ou nas ilhas flutuantes formadas por outras espécies de macrófitas.

Características: Apresenta aspecto muito variável conforme o ambiente; na mesma planta, as folhas podem mudar de formato e tamanho, de lanceolada a ovadas. Propaga-se por meio de sementes, rizomas ou enraizamentos nos nós. Prolifera rapidamente em ambiente perturbado. Planta ornamental.

Distribuição: Pantropical (POTT & POTT, 2000).

**POACEAE.** Família.

Urochloa arrecta (Hack. ex T.Durand & Schinz)

Morrone & Zuloaga. Nome científico.

Braquiária-do-brejo. Nome comum.

Hábito: Erva anfíbia, emergente; perene.

Habitat: Lagos, rios e reservatórios.

Características: Planta estolonífera; colmos robustos, lisos, arroxeados. Propaga-se principalmente pela brotação dos nós quando entram em contato com o solo ou com a água. Pode atingir até 120 centímetros de altura. Espécie exótica extremamente invasora. Natural da África, foi introduzida no Brasil como planta forrageira. Apresenta rápido crescimento em áreas úmidas e cursos d'água. Atualmente, causa graves problemas nas comunidades aquáticas e na produção de energia elétrica.

Distribuição: Pantropical (ZARDINI & RAVEN, 1997).





PONTEDERIACEAE. Família.

Eichhornia azurea (Sw.) Kunth. Nome científico.

Aguapé. Nome comum.

Hábito: Erva emergente, flutuante fixa; perene.

Habitat: Lagos, rios e campos inundáveis.

Características: Planta rizomatosa, pode atingir até 8 metros de comprimento. Planta apícola, *habitat* para insetos e peixes; forrageira para capivara. Propaga-se por meio de sementes e rizomas. Apresenta crescimento vigoroso, distingue-se de *Eichhornia crassipes* por apresentar pétalas de bordo fimbriado.

Distribuição: América tropical e subtropical. (POTT & POTT, 2000).



PONTEDERIACEAE. Família.

Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. Nome científico.

Aguapé. Nome comum.

Hábito: Erva flutuante livre ou flutuante fixa em locais mais rasos; perene.

Habitat: Todos os corpos d'água.

Características: Nativa da Amazônia, a planta se reproduz facilmente por via vegetativa, rizomas ou pequenos fragmentos. As sementes podem sobreviver submersas por aproximadamente 15 anos. É considerada uma das espécies mais temidas quando encontrada em locais perturbados, devido aos inúmeros problemas causados pela sua rápida proliferação.

Distribuição: Nativa da América do Sul tropical e introduzida em todos os continentes (POTT & POTT, 2000).



POLYGONACEAE. Família.

Polygonum ferrugineum Wedd. Nome científico.

Erva-de-bicho. Nome comum.

Hábito: Erva anfíbia emergente ou flutuante; perene.

Habitat: Margens de rios e em áreas pouco sombreadas; pode ser encontrada crescendo em ilhas flutuantes formadas por outras espécies de macrófitas.

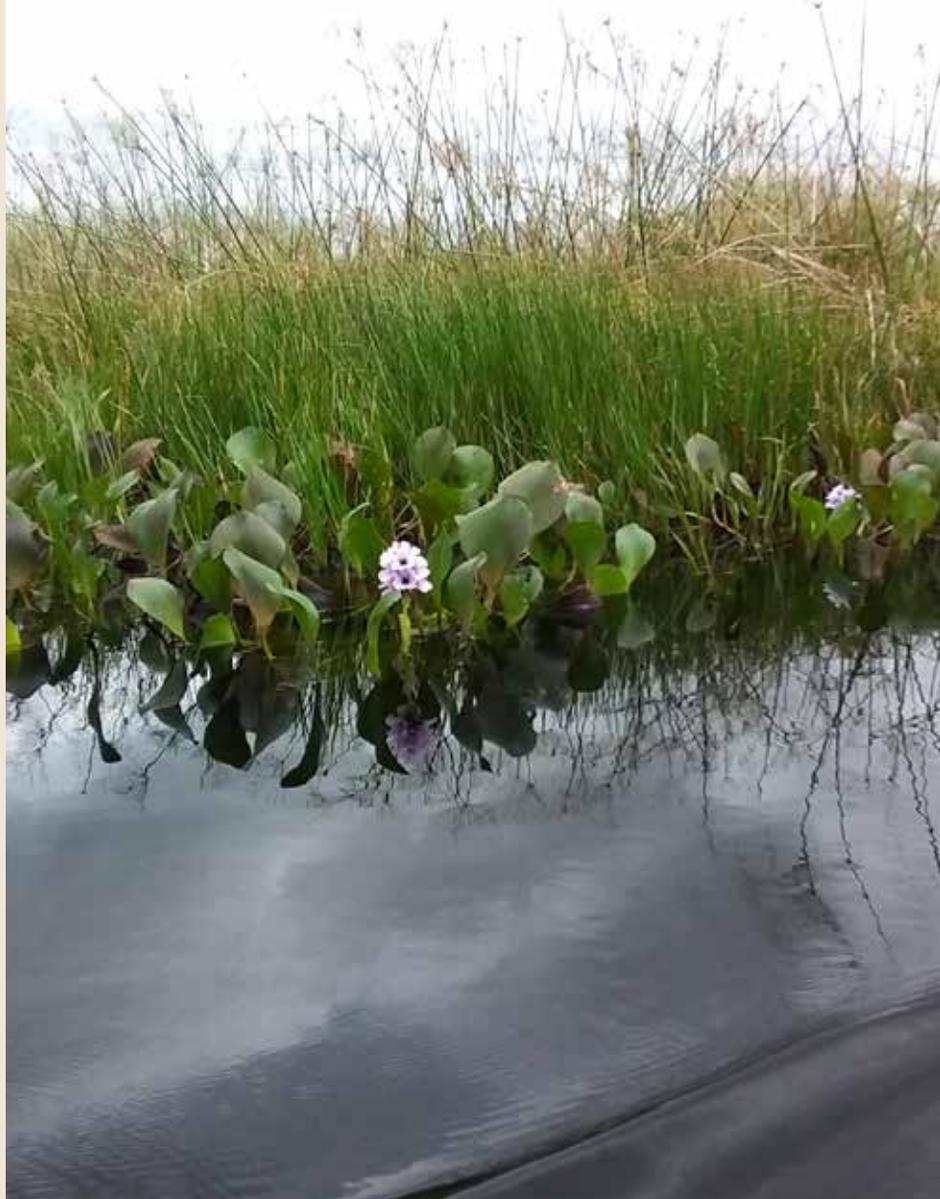
Características: Pode atingir até 2,5 metros de altura, sendo a maior espécie do gênero. Planta pioneira, a propagação ocorre por meio de sementes, mudas ou pedaços que enraízam nos nós. Coloniza as margens úmidas dos rios nas áreas de sedimentação.

Distribuição: América tropical (POTT & POTT, 2000).

POLYGONACEAE. Família.***Polygonum punctatum*** Elliott. Nome científico.**Erva-de-bicho.** Nome comum.**Hábito:** Erva anfíbia, emergente; perene.**Habitat:** Abundante em bordas de lagoas, brejos e planícies de inundação.**Características:** Folhas em formato de lança; caule verde-claro a avermelhado. A propagação ocorre por meio de sementes, fragmentação ou enraizamento dos nós ao tocarem o solo.**Distribuição:** Todo o Brasil.**RUBIACEAE.** Família.***Diodia saponariifolia*** (Cham. e Schltld.) K.Schum. Nome científico.**Poaia-do-brejo.** Nome comum.**Hábito:** Erva anfíbia; perene.**Habitat:** Encontrada nas margens de rios e lagoas, típica de terrenos encharcados.**Características:** Planta rasteira, não ramificada, de caule cilíndrico, de 50 a 100 centímetros de comprimento. Propaga-se por meio de sementes; entretanto, domina uma área com seus caules enraizados.**Distribuição:** Ocorre na Bahia e nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste (CABRAL & SALAS, 2013).**SALVINIACEAE.** Família***Salvinia auriculata*** Aubl. Nome científico.**Orelha-de-onça.** Nome comum.**Hábito:** Erva flutuante livre; anual ou perene.**Habitat:** Mananciais de água parada, canais com pouca movimentação, geralmente protegidos pela ação do vento.**Características:** Propaga-se vegetativamente por meio de brotações ou de esporos. Pioneira em ambientes perturbados, pode formar grandes infestações, cobrindo todo o espelho d'água, bloqueando a penetração da luz solar e interferindo no ecossistema aquático. Forrageira para capivara, insetos, aves, caramujos e peixes. Serve de *habitat* para organismos aquáticos.**Distribuição:** Regiões Norte e Nordeste (LORENZI, 2000).• *Pistia stratiotes* L. (Foto: iStock)

Fotos Senai, 2019:

• *Commelina diffusa* Burm.f.• *Eleocharis minima* Kunth.• *Rhynchospora corymbosa* (L.) Britton.• *Cuphea melvilla* Lindl.• *Ludwigia leptocarpa* (Nutt.) H.Hara.• *Ludwigia octovalvis* (Jacq.) P.H.Raven.• *Ludwigia peploides* (Kunth) P.H.Raven.• *Urochloa arrecta* (Hack. ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga.• *Eichhornia azurea* (Sw) Kunth.• *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.• *Polygonum ferrugineum* Wedd.• *Polygonum punctatum* Elliott.• *Diodia saponariifolia* (Cham. e Schltld.) K.Schum.• *Salvinia auriculata* Aubl. (Foto: iStock)



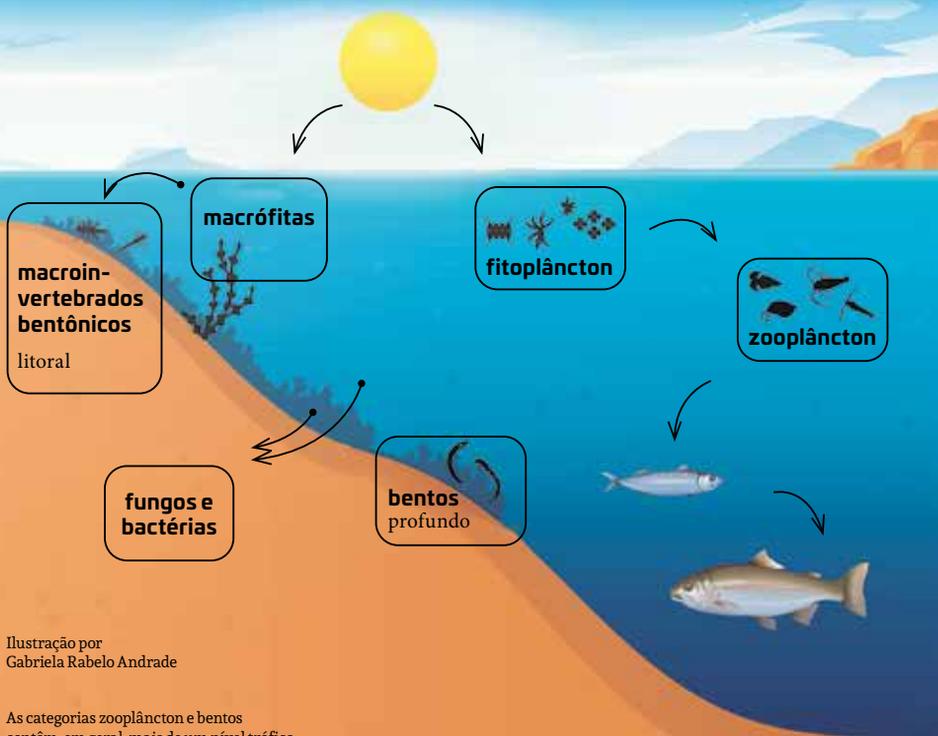
Desafios no Controle de Macrófitas

AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS

As condições físico-químicas das águas dos reservatórios e a disponibilidade de nutrientes influenciam diretamente na sobrevivência e no desenvolvimento das macrófitas aquáticas (MURPHY, 2000). Muitas vezes, as altas densidades de determinadas espécies de macrófitas aquáticas podem indicar um diagnóstico inicial do desequilíbrio e distúrbio diretos (lançamentos de esgoto, ausência de mata ciliar, entre outros) que influenciam o corpo hídrico.

Para o efetivo controle do crescimento desordenado de macrófitas aquáticas, cada reservatório deve ser analisado de maneira particular, sendo necessário conhecer sua dinâmica, seu histórico, sua biota e suas particularidades a fim de compreender como as espécies vegetais se desenvolvem dentro desse sistema.

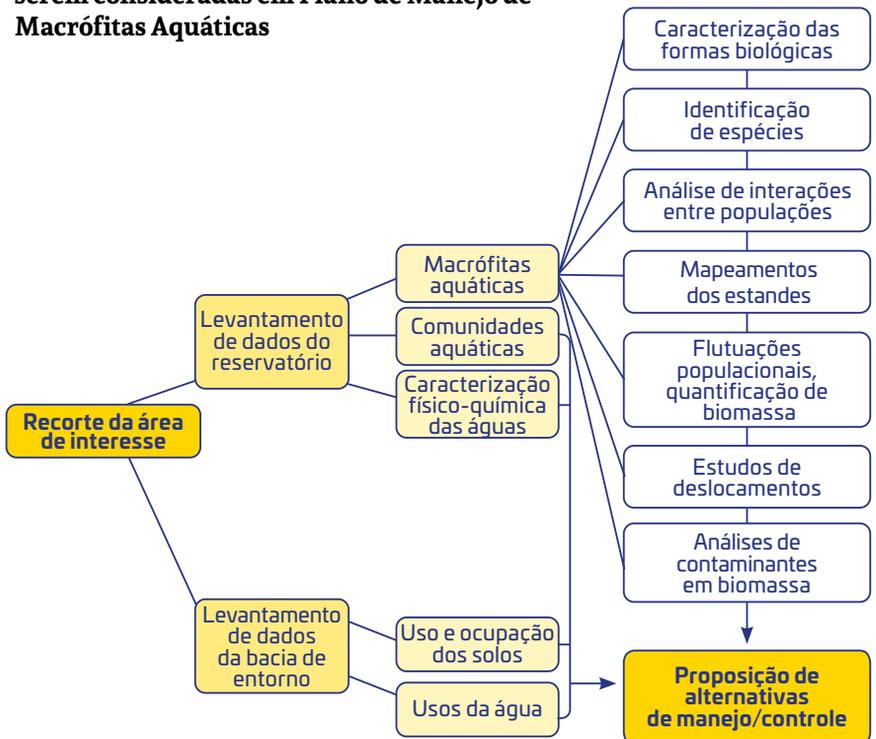
Organismos Aquáticos - Esquema



Ao considerar um plano de manejo para reservatórios, devem ser definidas as estratégias antes que as macrófitas se proliferem e dominem todo o ambiente aquático. As ações e os comportamentos preventivos podem minimizar o intenso crescimento das macrófitas, principalmente em ambientes eutrofizados, garantindo, assim, a funcionalidade, a dinâmica do ecossistema, a redução dos custos para manejo e a diminuição das perdas econômicas em função dos múltiplos usos da água.

O primeiro passo para considerar se o manejo de macrófitas é necessário e adequado é implantar um programa de monitoramento periódico de macrófitas, identificando as espécies presentes, os focos iniciais de proliferação e sua área de ocupação. Deve ser realizado em conjunto o levantamento de dados relativos à bacia hidrográfica e ao reservatório, composto por registros sobre uso e ocupação dos solos e operação do reservatório, além de avaliar as condições e mudanças físico-químicas das águas e da biota aquática, com avaliação das densidades das comunidades fitoplancônica, zooplancônica e zoobentônica, bem como os aspectos ecológicos e as relações tróficas.

Variáveis-chave e suas escalas de trabalho a serem consideradas em Plano de Manejo de Macrófitas Aquáticas





O rotineiro monitoramento da qualidade da água e o controle da entrada de nutrientes no reservatório são ações fundamentais para o equilíbrio da comunidade de macrófitas.



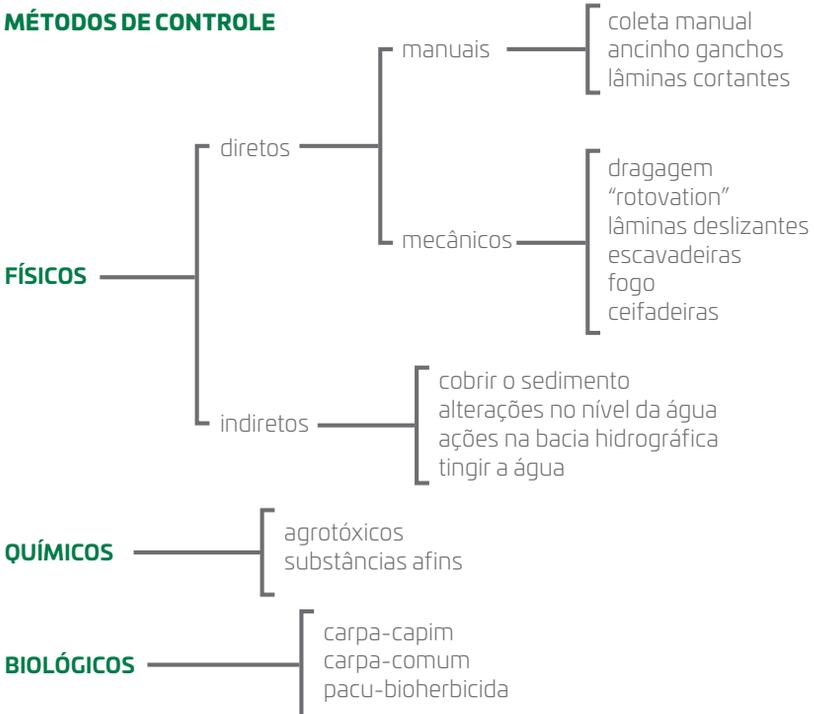
POSSÍVEIS TÉCNICAS DE MANEJO APLICADAS PARA CONTROLE DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS

No Brasil, em muitas usinas hidrelétricas, o monitoramento de macrófitas é realizado somente quando se verifica grande infestação, sendo necessários métodos corretivos que visem à remoção das plantas e solucionem os problemas relacionados ao seu crescimento descontrolado.

As estratégias para o controle das macrófitas podem incluir procedimentos **manuais, mecânicos, químicos, biológicos** ou mesmo a combinação de mais de um método.

As técnicas de controle de plantas aquáticas possuem tanto atributos positivos como negativos, e nenhuma das técnicas é livre de algum impacto ambiental. As técnicas a serem utilizadas devem ser planejadas para cada caso e local específico e depende de restrições ambientais, econômicas e técnicas (MADSEN, 2000).

Pompêo (2017) resume os diferentes tipos de controle representados no esquema



Controle físico direto. Nos controles físicos (mecânico ou manual), é fundamental o destino correto da biomassa, e as possibilidades de utilização são variadas.

As técnicas de remoção manual e mecânica foram consideradas por Pompêo (2017) como o primeiro estágio de manejo antes que as espécies cresçam explosivamente nos reservatórios.

A retirada manual é um método de controle prático se as áreas ocupadas com plantas aquáticas são pequenas, de pouca profundidade e de fácil acessibilidade às plantas.

A remoção manual demanda mão de obra intensa para a retirada das plantas. O material vegetal colhido deve ser depositado a certa distância da margem. A eficiência desse controle depende da quantidade de planta a ser retirada. No caso de macrófitas flutuantes livres, não é necessária nenhuma ferramenta de corte para retirada das plantas; já as enraizadas no fundo irão demandar o uso de ferramentas, sendo recomendado realizar a retirada das plantas inteiras.

Controle mecânico. O controle mecânico consiste na utilização de equipamentos que podem colher, dragar, empurrar, rebocar, picar ou ainda realizar duas ou mais dessas funções conjuntamente.

A maior desvantagem desse método é a adaptação de maquinário às condições de cada local e à disponibilidade de recursos financeiros.

Alguns dos impactos causados pelo emprego do controle mecânico são:

- coleta de outros organismos (peixes, anfíbios, répteis, entre outros) junto com as plantas;
- revolvimento do sedimento, com implicações na qualidade da água;
- dispersão de fragmentos de plantas para outros locais.

Como vantagens do controle mecânico, citam-se:

- controle imediato das plantas (quando restritas a pequenas áreas);
- não restrição de uso da água, como acontece com o emprego de herbicidas;
- não utilização de produtos que deixem resíduos tóxicos no ambiente.

Uma consideração a ser feita é que a remoção total da vegetação pode não ser recomendável, visto que são grandes os benefícios das plantas aquáticas para a manutenção da biota, tanto como fornecedoras de abrigos, protetoras de margens, como por proporcionarem substrato a organismos importantes para a manutenção da biota como um todo.

Como discutem Agostinho et al. (2003), o nível de controle das plantas deve ser avaliado em relação aos usos do reservatório, pois manter uma comunidade de macrófitas em proporções aceitáveis pode proporcionar vantagens para o crescimento, sobrevivência e riqueza da ictiofauna, devido à criação de novos *habitat* importantes para abrigo, alimentação e reprodução.

Controle químico. O controle químico é uma técnica baseada no emprego de herbicidas; no entanto, requer conhecimento para que estes sejam usados de forma segura e eficaz (MARCONDES et al., 2003).

Um impacto negativo da aplicação de herbicidas é o fato de muitas vezes promoverem a intoxicação de plantas não alvo e de outros organismos, devido à pouca seletividade desses produtos. A ação de herbicidas pode ter elevado custo para aplicação em grandes corpos d'água (AGOSTINHO et al., 2003), além do risco de seleção de organismos resistentes com o passar do tempo da aplicação.

Outra desvantagem desse método é o fato de as plantas morrerem e se decomporem dentro do corpo hídrico, podendo promover grandes alterações na qualidade da água e gerar riscos para as comunidades biológicas presentes no ecossistema. Os detritos vegetais em decomposição podem contribuir para a fertilização das águas e incrementar as demandas de oxigênio. Os efeitos do emprego de agentes químicos em sistemas hídricos podem ser refletidos em extensas áreas, gerando efeitos maléficos de grandes proporções.

De acordo com Pompêo (2017), o emprego de agrotóxico deve ser a última opção como método de controle e de uso esporádico, apenas aplicado após estudos que comprovem sua eficiência e baixa toxicidade e somente quando outros procedimentos menos agressivos não se mostrarem eficientes.

Controle biológico. O controle biológico consiste na introdução de espécies que se alimentam de plantas aquáticas ou constituem seus agentes patogênicos.

Essa forma de controle pode ser uma das mais seguras em relação aos riscos ambientais. Porém, o cuidado na aplicação dessa técnica é fundamental, visto que eventuais erros podem ser mais duradouros em comparação aos outros métodos de controle (MARCONDES et al., 2003).

Existem vários exemplos de organismos utilizados para esse fim, como peixes, gafanhotos, besouros, carunchos ou fungos. A utilização desses inimigos naturais deve ser avaliada com cautela, e são extremamente necessários estudos que analisem a competição com espécies locais, com riscos à

redução da biodiversidade, à possibilidade do ataque a culturas agrícolas adjacentes e à possibilidade de o agente de controle se tornar também uma praga.

A utilização de inimigos naturais, não específicos, muitas vezes exóticos ao ambiente, como a carpa-capim, pode gerar grandes prejuízos para espécies não alvo, quando não há um rigoroso controle populacional do agente. Da mesma forma, a introdução de tilápia como agente controlador de populações de plantas aquáticas pode ser desastrosa, pois essa espécie de peixe possui alta taxa de reprodução e consome tanto vegetação quanto pequenos animais que constituem importantes fontes de recursos para as populações de peixes nativas (THOMAZ, 2002).

As proposições de manejo de macrófitas aquáticas são paliativas, e a única forma segura para evitar novas infestações é a preventiva, controlando as fontes de eutrofização e a recomposição da vegetação ciliar.



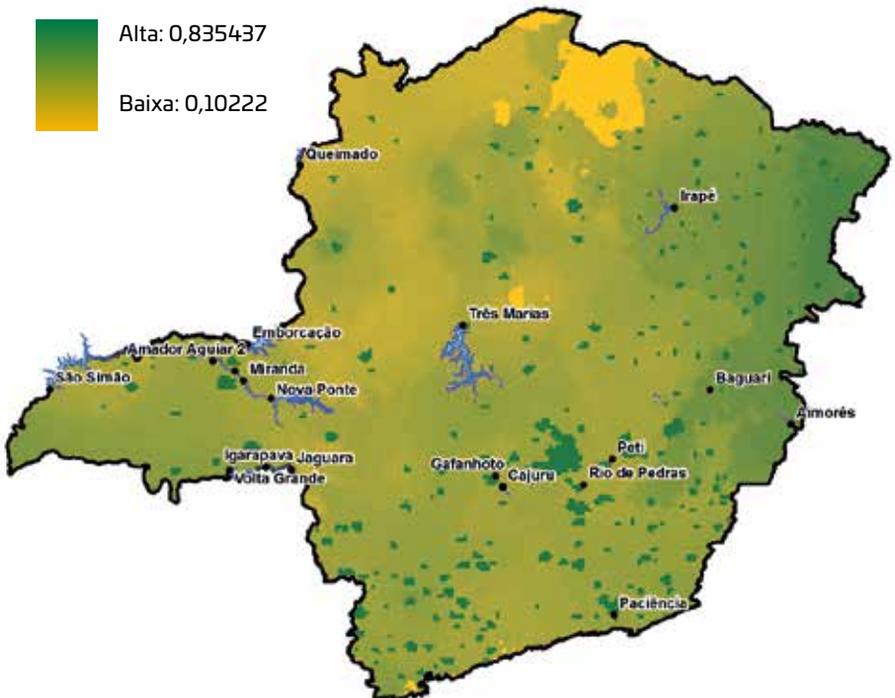
POTENCIAL INVASOR DE MACRÓFITAS EM RESERVATÓRIOS

Há registros de invasões de espécies exóticas encontradas em quase todos os ecossistemas do planeta, porém há uma preocupação especial com os ecossistemas aquáticos continentais.

O termo “espécie invasora” é utilizado por muitos autores para designar uma espécie oportunista cujo potencial competitivo é superior ao das demais, e sua presença tem destaque nos ambientes, tornando-se praticamente a única espécie dominante. Em certos casos, a espécie invasora pode ser também exótica: apresenta as características de invasora, mas foi introduzida em uma região que não pertence ao seu local de origem. Um dos principais impactos ambientais sofridos pelos ecossistemas aquáticos continentais está ligado à ocorrência de espécies invasoras como o aguapé (*Eichhornia crassipes*) (EPPQ, 2008).

Segundo Cordeiro (2018), existem mais de 1.300 registros de ocorrência da espécie invasora de *Eichhornia crassipes* (aguapé) associados a camadas ambientais climáticas. O autor apresenta a modelagem da distribuição do aguapé para avaliar a susceptibilidade à invasão dessa espécie em áreas geográficas de interesse.

Adequabilidade ambiental Minas Gerais

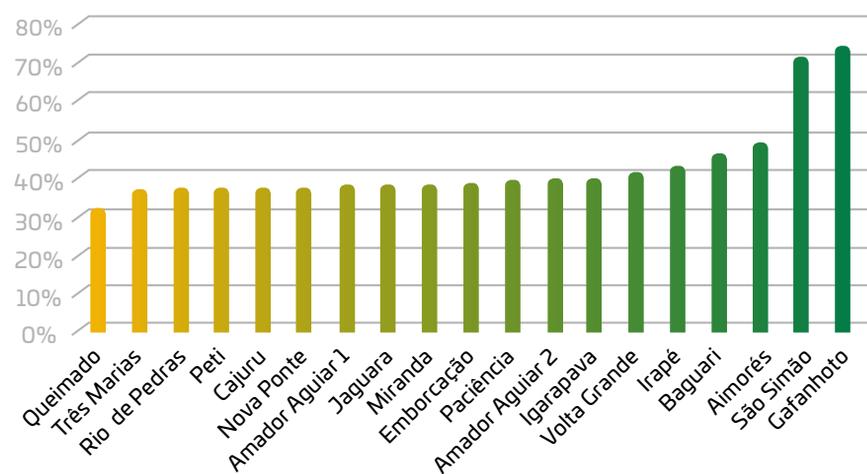


Para o estado de Minas Gerais, a distribuição potencial do aguapé é limitada pelo estresse, devido ao calor e à escassez hídrica, apenas na região Norte do estado. Nas demais regiões, há um amplo espectro de ambientes passíveis de colonização, nos quais a espécie aparenta estar causando alterações na qualidade e prejuízos no abastecimento de água, além de perdas de navegabilidade e redução do potencial de geração de energia (CORDEIRO, 2018).

Os requerimentos ambientais de *E. crassipes* indicam que as regiões de alta adequabilidade ambiental para estabelecimento da espécie estejam relacionadas com os ambientes aquáticos sujeitos à maior pressão antrópica, maior precipitação, alta intensidade de luz solar, águas ricas em nutrientes, menor velocidade de escoamento e menor profundidade (ESTEVES, 1998; GOPAL, 1987; HOVEKA et al., 2016).

Os reservatórios da Cemig no estado de Minas Gerais estão situados em regiões de moderada a alta adequabilidade ambiental, sendo que um deles ocorre em áreas mais adequadas, como a PCH Gafanhoto, situada nas imediações da cidade de Divinópolis e Carmo do Cajuru (CORDEIRO, 2018).

Adequabilidade ambiental nos reservatórios da Cemig (CORDEIRO, 2018)



MONITORAMENTO NOS RESERVATÓRIOS DA CEMIG

A Cemig conta, em todas as suas usinas, com programas de monitoramento de qualidade da água e monitoramento de macrófitas aquáticas, com o objetivo de disponibilizar e fornecer informações sobre a qualidade da água dos reservatórios para órgãos gestores, além de monitorar a comunidade de macrófitas, avaliando e acompanhando o crescimento das plantas, antecipadamente à proliferação, para criar estratégias mais eficientes, em parceria com instituições diversas para preservar os corpos d'água.

Na operação dos seus reservatórios, a Cemig compreende a importância das macrófitas aquáticas no ecossistema e não realiza o manejo com retirada das plantas, pois entende que as proliferações em reservatórios estão relacionadas à qualidade da água e que isso reflete o uso da bacia de contribuição de cada reservatório. A retirada é vista apenas como uma ação paliativa, sabendo que, em muitos casos, a explosão populacional das espécies vegetais ocorre novamente em um curto período.

Como forma de controle indireto das plantas em reservatórios, a oscilação do nível de água é uma técnica natural, relacionada à sazonalidade, que seleciona muitas espécies. A elevação dos níveis da água, seguida por uma rápida volta aos níveis iniciais, é prejudicial para macrófitas, e o desenvolvimento excessivo dessas plantas somente é observado quando os níveis de água permanecem relativamente estáveis (CEIVAR, 2012).

Outra ação utilizada pela Cemig, para evitar impactos na geração de energia, é a instalação de barreiras flutuantes (Log Boom), com o objetivo de proteger as estruturas das tomadas d'água, turbinas e bombas e impedir a passagem das plantas para outros locais.

· Barreira, Reservatório da PCH Gafanhoto, 2019.





Ações de manejo com retirada de plantas para controle são realizadas pela Cemig somente quando a presença das macrófitas no ambiente aquático representar riscos ao processo de produção de energia elétrica.

• Exemplo de Log Boom (barreira flutuante) instalado no Reservatório da PCH Aimorés (Acervo Cemig).

• PCH Gafanhoto (Senai, 2019).



2010



2015



2019



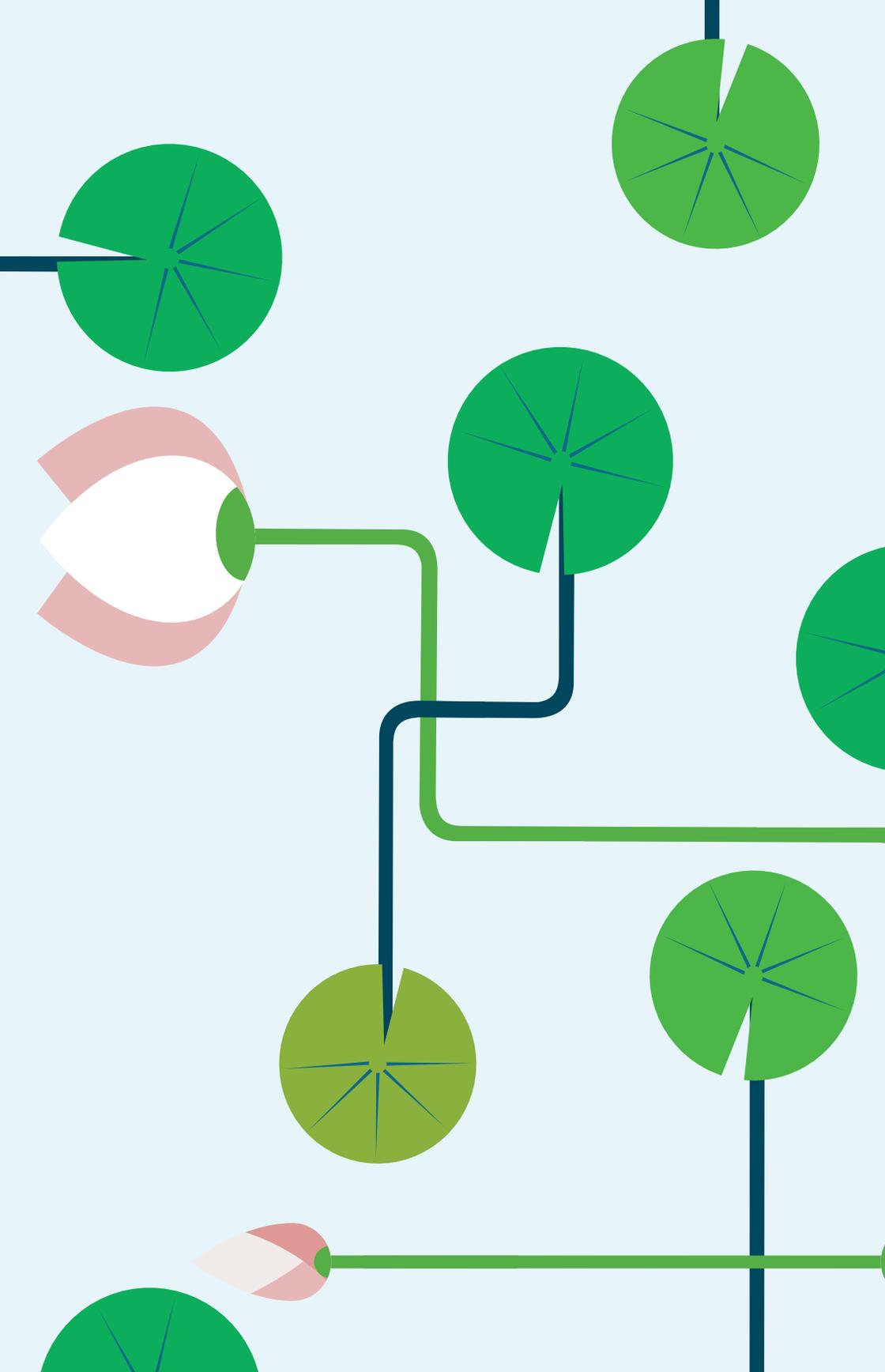
- Três primeiras fotos:

1. Proliferação de macrófitas;

2. Grades rompidas pelo excesso de macrófitas;

3. Vista do reservatório tomado por macrófitas aquáticas, na PCH Aimorés (Acervo Cemig).

- Três últimas fotos, em ordem cronológica: Vista panorâmica do Reservatório da PCH Gafanhoto (Acervo Cemig).



AS MACRÓFITAS OCORRENTES NO RESERVATÓRIO GAFANHOTO

Projeto analisa os estandes de
macrófitas e avalia sua evolução espacial e
temporal por meio de diferentes técnicas



AS MACRÓFITAS OCORRENTES NO RESERVATÓRIO DA PCH GAFANHOTO

O presente capítulo reúne o conjunto de resultados parciais do projeto de pesquisa **P&D GT633**, financiado pela Aneel, com a coordenação da Cemig em parceria com o **Centro de Inovação e Tecnologia SENAI-FIEMG**, também executor do projeto.

Iniciado em 2018, com previsão para término em 2021, o projeto é uma iniciativa da **Cemig** para entendimento do problema causado pelo excessivo crescimento de plantas aquáticas no reservatório da **PCH Gafanhoto**. O foco do projeto é o estudo da comunidade de macrófitas aquáticas, além do monitoramento temporal e espacial dos estandes ocorrentes na área de influência e a montante do reservatório da **PCH Gafanhoto**, em **Divinópolis (MG)**. Os resultados demonstrados contemplam três campanhas de monitoramento, que ao final do projeto subsidiarão a proposição de um plano de manejo adequado para a bacia e o reservatório.

Essa iniciativa da **Cemig** é extremamente oportuna e visa contribuir para o setor elétrico e a sociedade, disseminando um conhecimento mais amplo a respeito da dinâmica das comunidades de macrófitas ocorrentes no reservatório da PCH e áreas de influência e podendo auxiliar nas decisões para monitoramento e manejo nos reservatórios.



Objetivo do projeto. Estudar a ocorrência, o crescimento e a ocupação das comunidades de macrófitas aquáticas e suas alterações no ambiente, identificando a influência que diferentes fatores causam nas plantas, a fim de determinar parâmetros ótimos e subsidiar um plano de manejo seguro e eficaz.

Eixos e etapas do estudo. O estudo baseou-se em diferentes abordagens metodológicas e escalas espaciais de trabalho organizadas em quatro eixos, como descrito no infográfico abaixo:

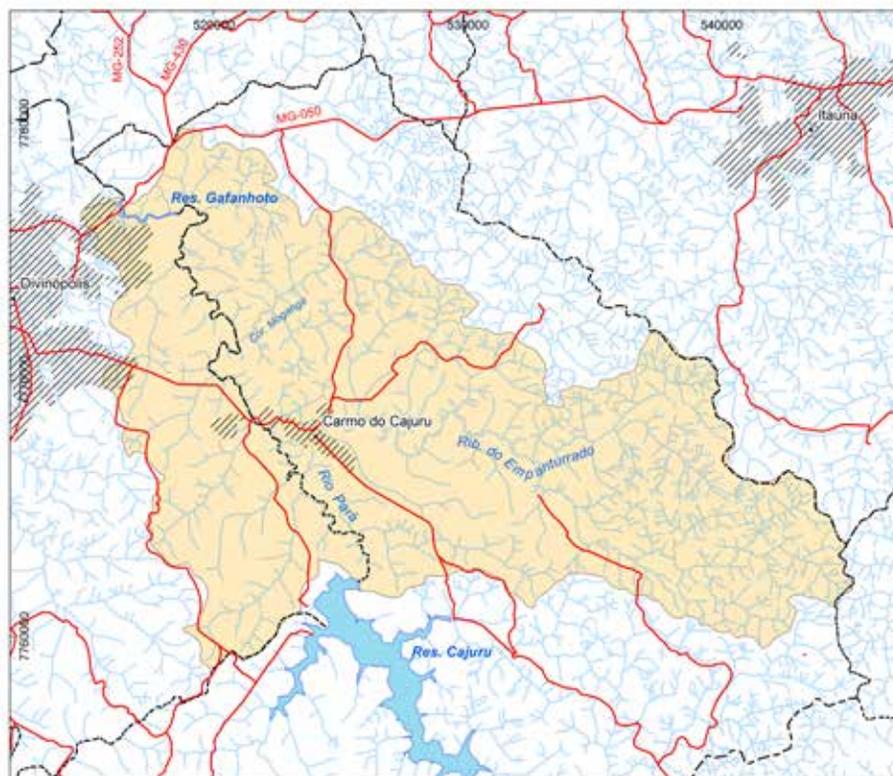


Área de estudo: Reservatório da PCH Gafanhoto e sua bacia de contribuição. A bacia hidrográfica do rio Pará compreende aproximadamente 12.300 km² e está localizada no Alto-Médio São Francisco. A extensão do seu curso de água principal, das nascentes até sua foz no rio São Francisco, é de aproximadamente 365 km.

A Pequena Central Hidrelétrica – PCH Gafanhoto é um barramento do rio Pará, o qual está inserido na bacia do rio São Francisco, na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH do rio Pará (SF2). A bacia de contribuição do reservatório possui uma área de 2.595 km², abrangendo o município de Carmo do Cajuru e parte do município de Divinópolis. A sede municipal de Carmo do Cajuru situa-se cerca de 10 km a montante do reservatório, e a de Divinópolis localiza-se à margem esquerda e está fora do limite da bacia de contribuição direta do reservatório (Figura 2).

A Pequena Central Hidrelétrica – PCH Gafanhoto está instalada na área rural dos municípios de Divinópolis e Carmo do Cajuru. A usina está em operação desde 1946, com a geração de 12,88 MW. A usina possui quatro unidades geradoras.

Mapa de localização da área de estudos – Reservatório PCH Gafanhoto e sua bacia de contribuição

**Convenções cartográficas**

- ⊙ Sede municipal (IBGE, 2012)
- Rodovia (IBGE, 2012)
- /// Área urbana (ZEE, 2009)
- Espelho d'água
- Limite municipal (IBGE, 2012)
- Rede hidrográfica (IBGE, 2012)
- Bacia de contribuição Res. Gafanhoto



5 2,5 0 5 km



Escala 1 : 200.000
Datum WGS 84, fuso 23S - UTM

Sítios de amostragem e campanhas de campo. Foram definidos quatro sítios de amostragem (tabela, fotos e mapa), considerando as regiões lacustre, intermediária e lótica que caracterizam um reservatório, com coletas na região central (limnética) e nas regiões litorâneas (margens direita e esquerda). As campanhas de campo foram realizadas em novembro de 2018, março de 2019 e agosto de 2019.

CARACTERIZAÇÃO E COORDENADAS DOS SÍTIOS DE AMOSTRAGEM DO RESERVATÓRIO DA PCH GAFANHOTO

Sítio	Descrição	Coordenadas UTM (fuso 23 S, datum WGS 84)	
		X	Y
GF01	Porção lântica do reservatório, próxima à barragem	516372L	7776977S
GF02	Porção lântica do reservatório, próxima à ponte da rodovia MG-050	516369L	7776727S
GF03	Rio Pará porção lótica do reservatório, a jusante da represa	5200539L	7770117S
GF04	Rio Pará a jusante da localidade de Carmo do Cajuru	521525L	7768598S

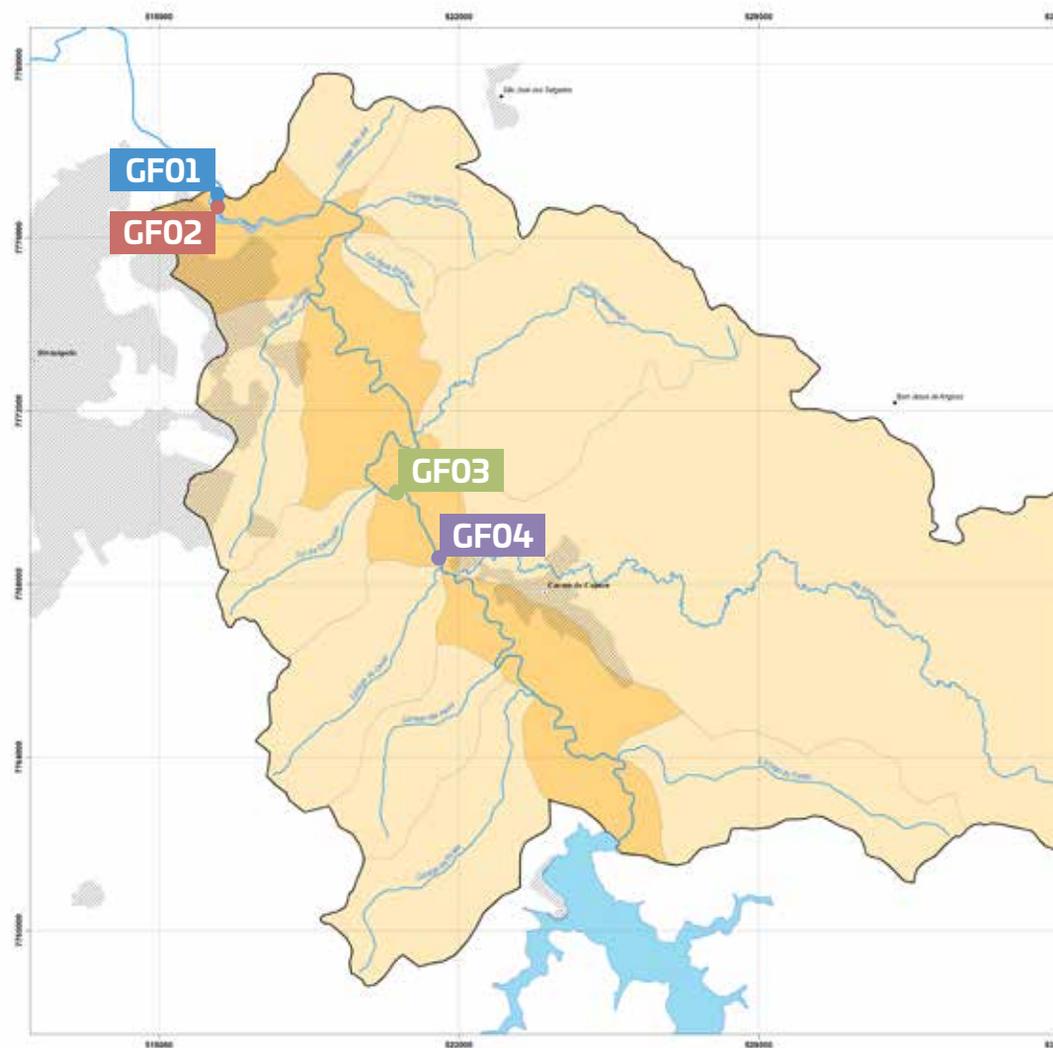


JUSANTE



MONTANTE

Mapa de localização e imagens dos sítios de amostragem no reservatório da PCH Gafanhoto.



Sítios de coleta de água, sedimento e macrófita



Bacia do reservatório de Gafanhoto (após reservatório de Cajuru)

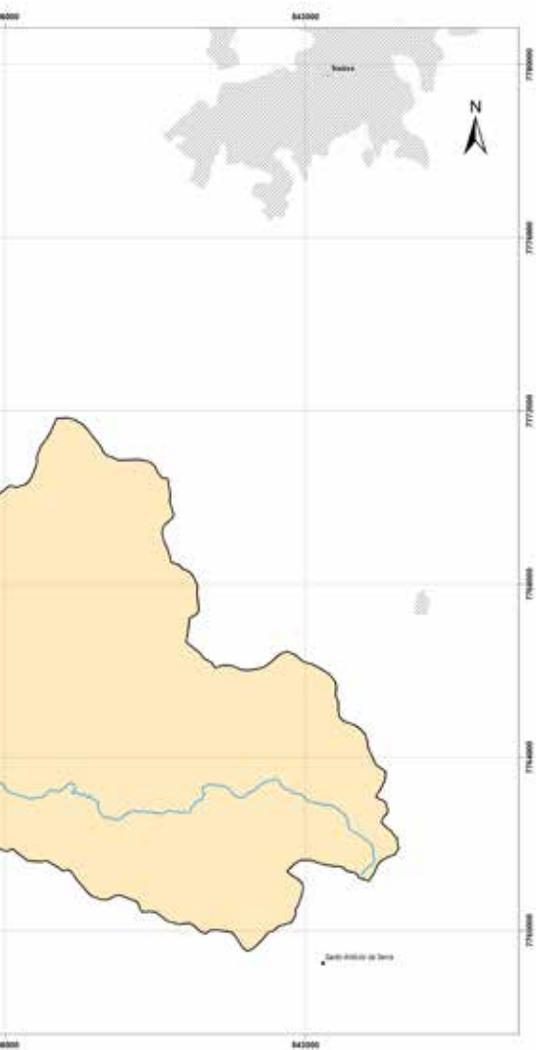


Contribuição direta do rio Pará



Sub-bacias de contribuição do rio Pará





— Drenagem

— Rio Pará

GF01



GF02

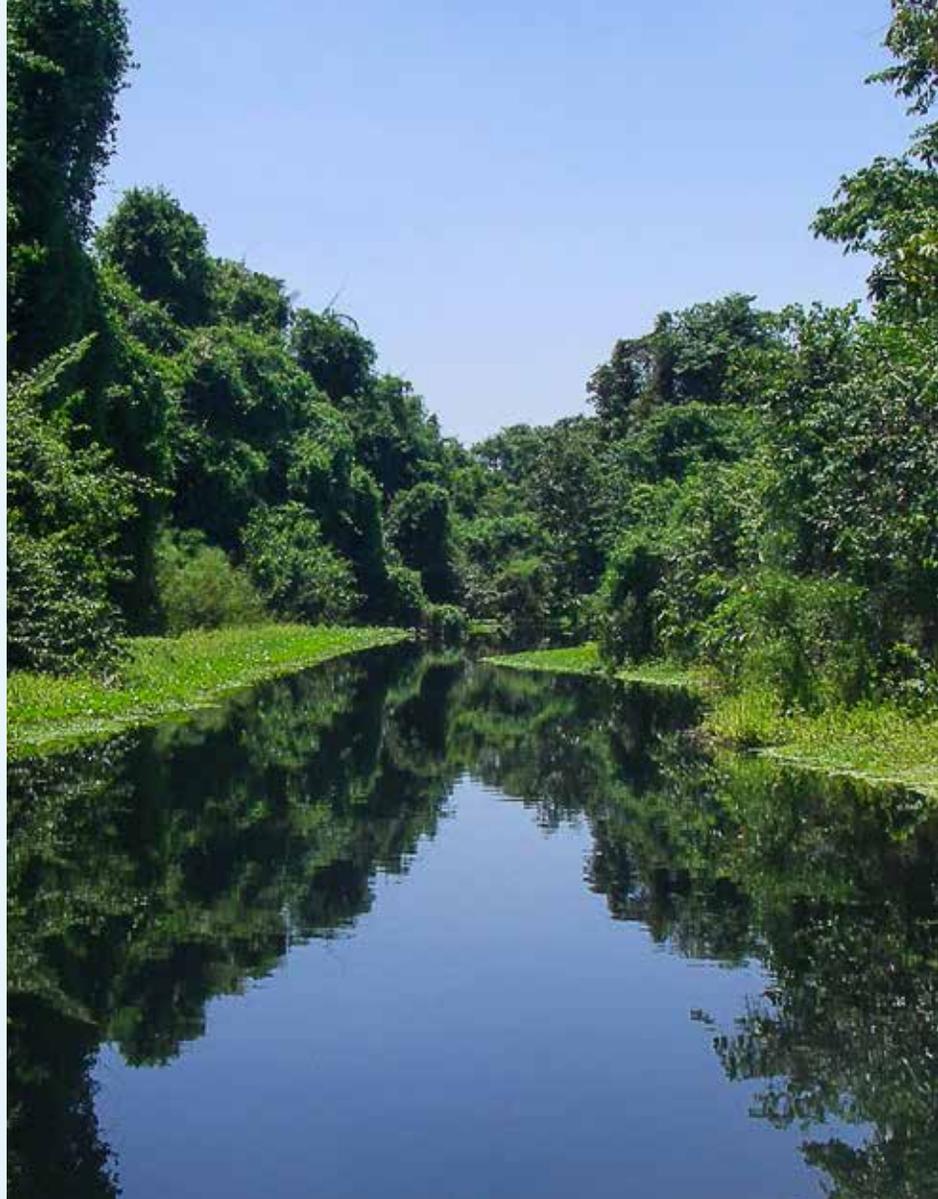


GF03



GF04

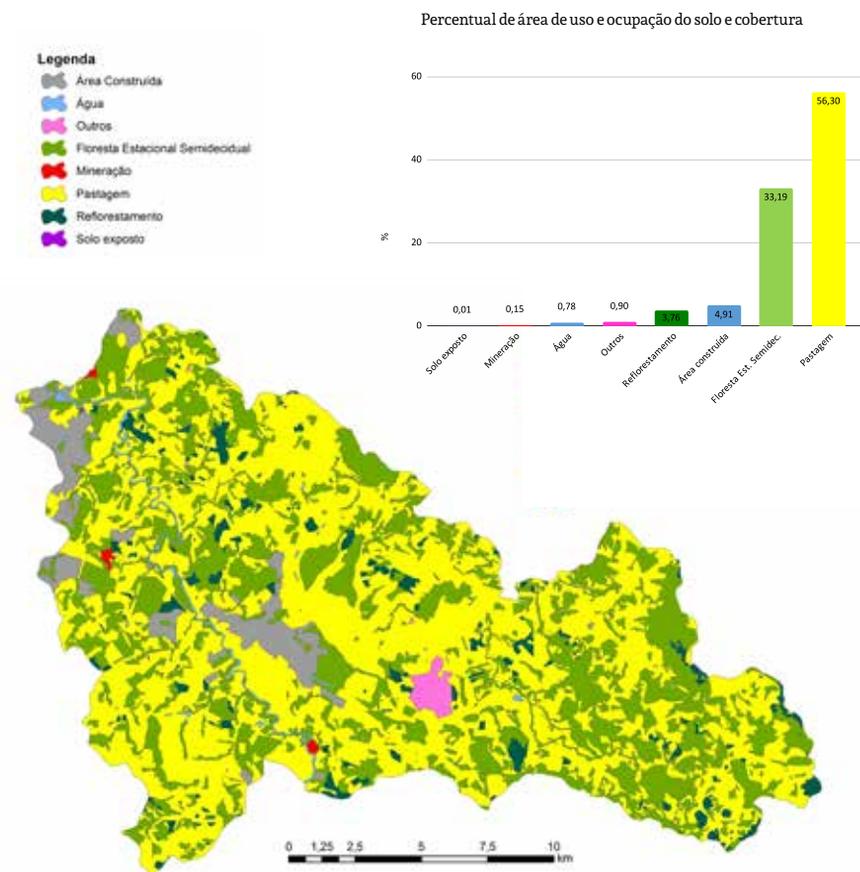




Contexto Ambiental da Bacia de Contribuição

Uso e ocupação do entorno. O uso e a ocupação do solo e cobertura vegetal têm grande importância para o conhecimento do espaço geográfico. De forma geral, esse estudo é feito com a interpretação de imagens de satélite ou aéreas, apoio por software de geoprocessamento e visitas de campo. O resultado é o mapeamento com as classes que ocorrem em uma determinada área, bem como o percentual de presença de cada uma delas. Com essas informações, é possível determinar o grau de preservação de uma região e quais são as principais interferências antrópicas que podem comprometer o meio ambiente, além de possibilitar a criação de um plano de ações para recuperação.

Na bacia hidrográfica do reservatório PCH Gafanhoto, estão presentes atividades de mineração, áreas construídas, solos expostos, pastagens e outros usos antrópicos diversos. Na maior parte da área, predominam as pastagens (56,30%), enquanto as áreas com vegetação nativa correspondem a 33,19%, cobertas com floresta estacional semidecidual.



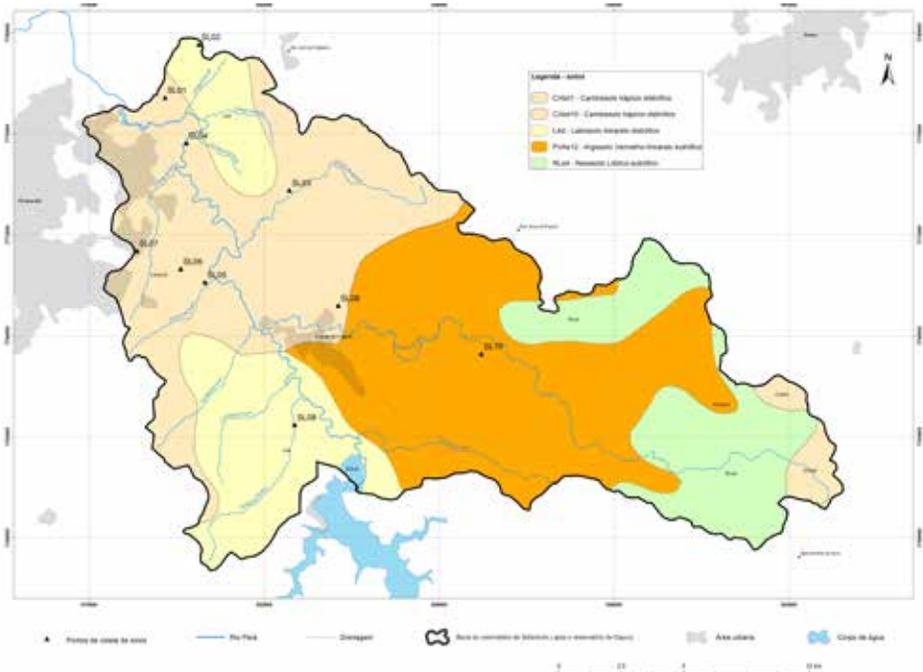
Mapa. Uso e ocupação da bacia hidrográfica do reservatório da PCH Gafanhoto.

Tipos de solo. Os tipos de solo que ocorrem na região são cambissolo háplico distrófico, latossolo amarelo distrófico, argissolo vermelho-amarelo eutrófico e neossolo litólico eutrófico (tabela). O mapa mostra a espacialização das classes dos solos e os dez sítios de coleta de solos.

TIPOS DE SOLO DA ÁREA DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DO RESERVATÓRIO DA PCH GAFANHOTO E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Tipos de solo	Características
Cambissolo háplico distrófico (Cxbd)	Solos pouco desenvolvidos, que ainda apresentam características do material originário (rocha) com argila de alta atividade. Baixa fertilidade.
Latossolo amarelo distrófico (LAd)	Solos de intemperização intensa, chamados popularmente de solos velhos. Baixa fertilidade.
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico (PVAe)	Solos medianamente profundos a profundos, moderadamente drenados. Apresentam argila de atividade baixa e saturação por bases alta. Alta fertilidade.
Neossolo litólico eutrófico (RLe)	Solos rasos de pouca profundidade, associados normalmente a relevos mais declivosos. Alta fertilidade.

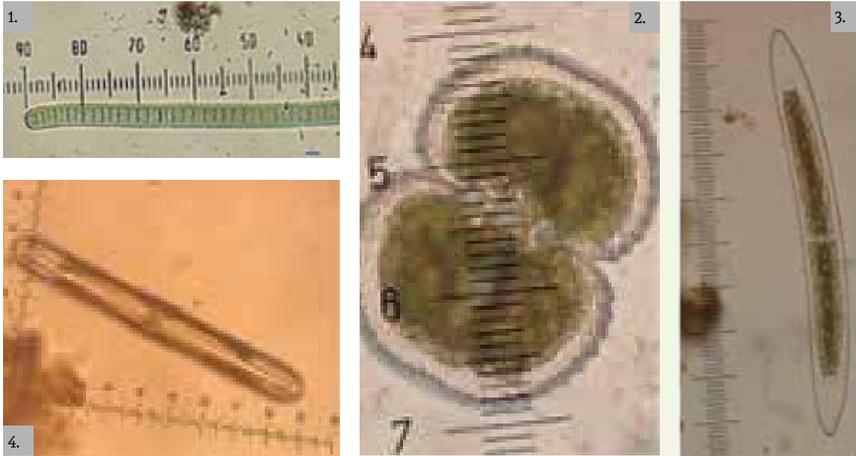
Mapa. Classes de solos do entorno do reservatório da PCH Gafanhoto e a localização dos sítios de coleta.



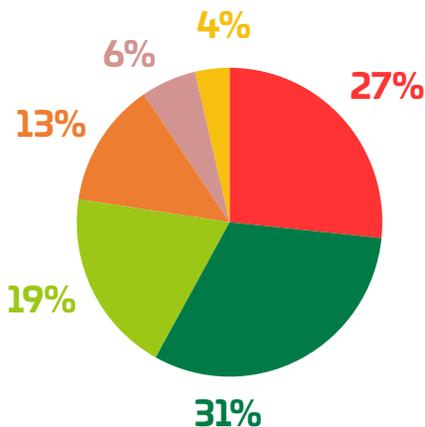


Caracterização Limnológica e Índice de Integridade Ecológica

Fitoplâncton e Cianobactérias. Foram identificados 273 organismos fitoplanctônicos, nas coletas realizadas em novembro de 2018, março e agosto de 2019, distribuídos em nove classes. As classes que apresentaram maior representatividade são as principais descritas para os ambientes continentais: Chlorophyceae, Zygnematomyceae, Cyanophyceae e Bacillariophyceae, que ao todo correspondem a mais de 90% da comunidade da PCH Gafanhoto. A categoria identificada como Outros corresponde às classes: Dinophyceae (3), Chrysophyceae (4), Xanthophyceae (2) e Cryptophyceae (1).

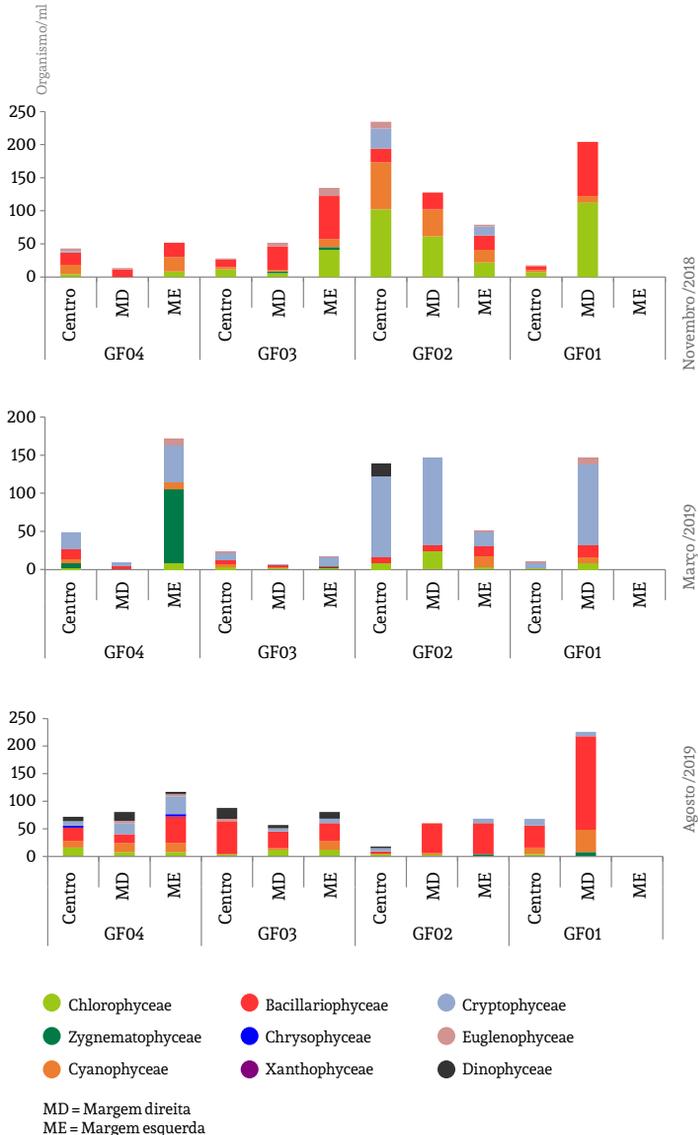


1. *Phormidium* sp. (Cyanophyceae)
2. *Cosmarium* sp. (Zygnematomyceae)
3. *Closterium* sp. (Zygnematomyceae)
4. *Pinnularia* sp. (Bacillariophyceae)

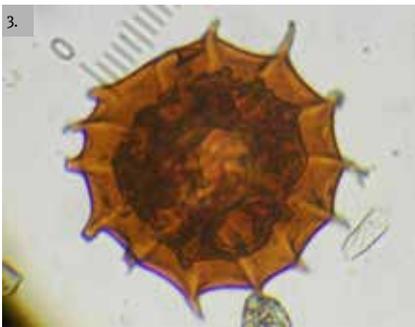


Com relação à representatividade das classes fitoplanctônicas, em geral, observou-se um padrão semelhante de distribuição em todas as coletas realizadas, mas a composição do fitoplâncton demonstrou variação sazonal em alguns pontos. A comunidade de cianobactérias não foi expressiva; no entanto, o manejo das macrófitas é importante para evitar possíveis florações desse grupo potencialmente tóxico.

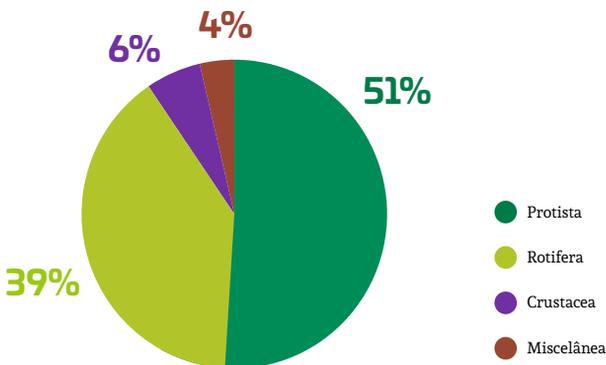
Gráficos. Densidade da comunidade do fitoplâncton nas três campanhas de amostragem.



Zooplâncton. Foram identificados 96 organismos zooplancctônicos, nas coletas realizadas em novembro de 2018, março e agosto de 2019, distribuídos entre os grupos: Protista, Rotifera, Crustacea e Miscelânea. As amebas testáceas apresentaram maior representatividade dentro da comunidade de organismos estudados; elas podem ser encontradas em todos os tipos de águas e são consideradas bons indicadores biológicos. O grupo de Rotifera foi o segundo com maior número de espécies identificadas, com destaque para a família Lecanidae.

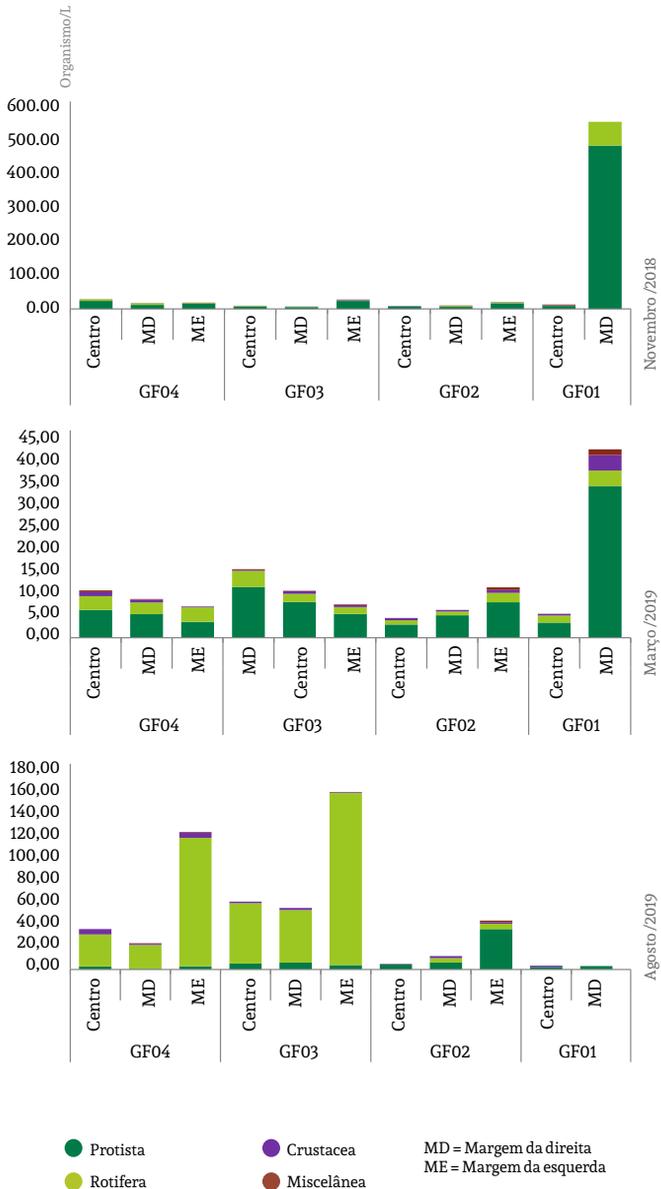


1. *Bosmina freyi*
 2. *Lecane stenroosi*
 3. *Arcella dentata*



Com relação à densidade da comunidade zooplancônica, em geral, observou-se uma variação entre as coletas realizadas, um padrão semelhante em relação ao ponto amostral GF01 para as coletas de novembro de 2018 e março de 2019.

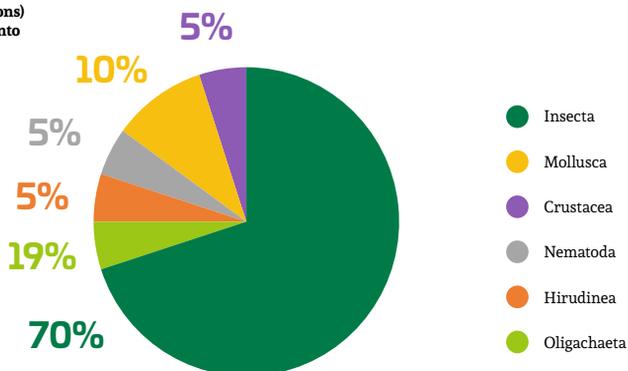
Gráficos. Densidade da comunidade do zooplâncton nas três campanhas de amostragem.



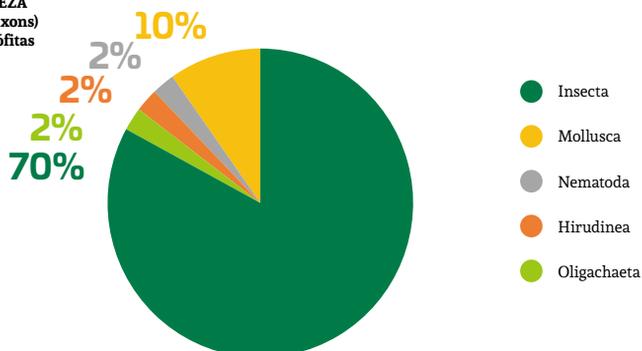
Macroinvertebrados. Os macroinvertebrados presentes nos sedimentos e nas macrófitas nas três campanhas de amostragem em todas as estações estão representados por 48 táxons. A comunidade esteve composta por representantes do Filo MOLLUSCA (Classe Bivalvia e Gastropoda), Filo ANNELIDA (Classe Oligochaeta e subclasse Hirudinea), Filo NEMATODA e Filo ARTHROPODA (Classes Insecta, Arachnida, Entognatha e Crustacea). Verificou-se em todas as coletas que os insetos representam o maior percentual na riqueza da macrofauna associada aos estandes de macrófitas como também ao sedimento, com representantes das ordens Diptera, Coleoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Odonata, Hemiptera e Lepidoptera, somando juntas mais de 70% da riqueza da comunidade. Outros grupos presentes em menor riqueza de táxons foram os moluscos, colêmbolos, oligoquetos e hirudíneos.

Gráficos. Riqueza total em grandes grupos de macroinvertebrados nos sítios amostrais nas três campanhas.

RIQUEZA
(N° Táxons)
Sedimento



RIQUEZA
(N° Táxons)
Macrófitas

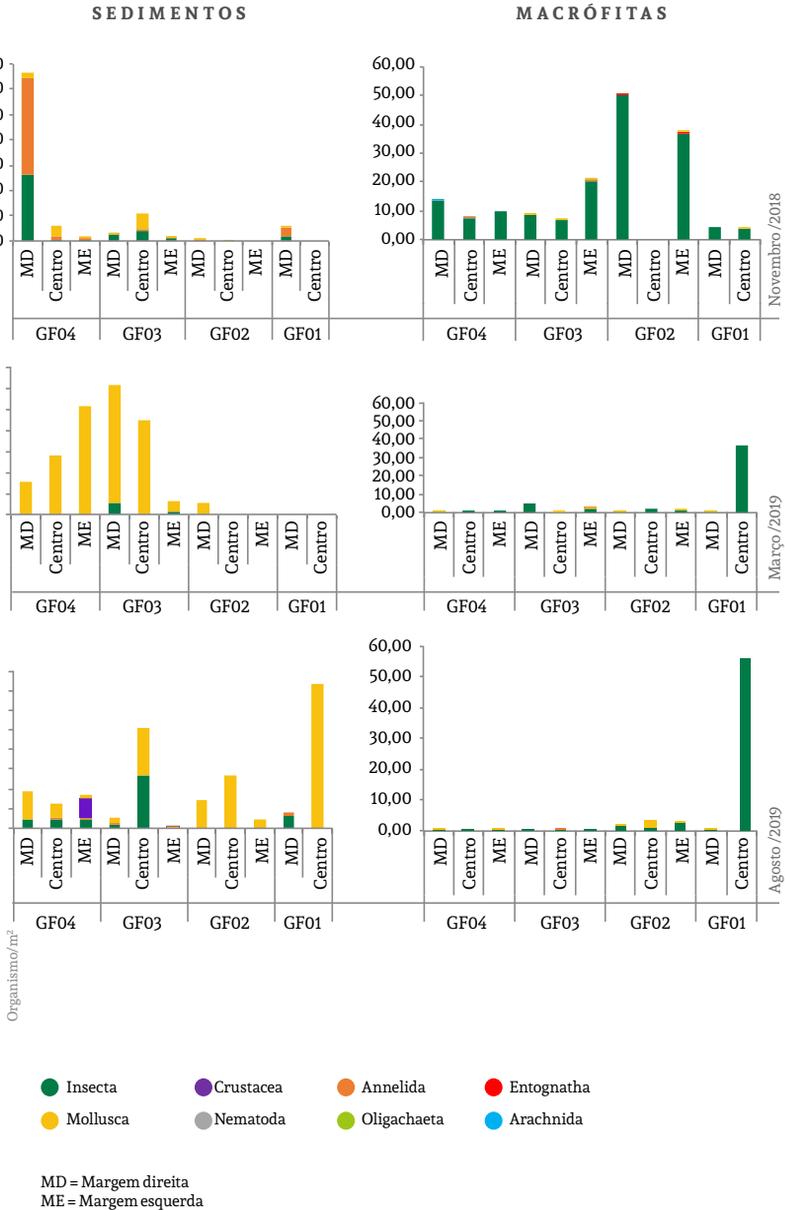




- 1. Coleoptera
- 2. Diptera
- 3. Trichoptera
- 4. Hemiptera
- 5. Ephemeroptera

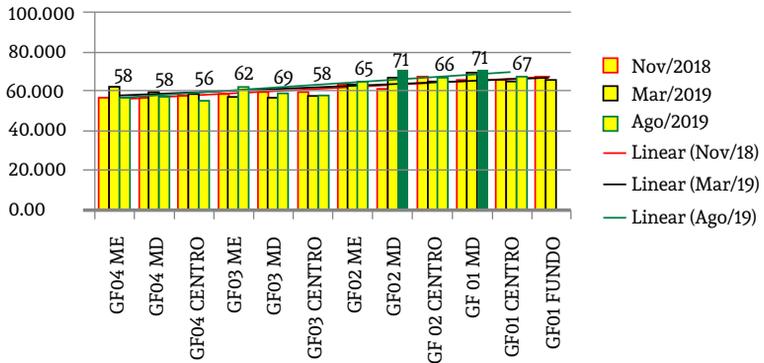
As maiores densidades para o substrato/sedimento ocorreram em GF04, em novembro; já para as macrófitas GF01, agosto foi o mês mais representativo.

Gráficos. Densidade da comunidade de macroinvertebrados em grandes grupos de macroinvertebrados nos sítios amostrais nas três campanhas.



Índice de Qualidade de Águas – IQA. Corresponde a um número que varia de 0 a 100, cujo cálculo é baseado em nove parâmetros, com pesos diferenciados: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, temperatura, pH, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Os níveis de qualidade da água e suas respectivas faixas são: excelente ($90 < IQA < 100$); bom ($70 < IQA < 90$); médio ($50 < IQA < 70$); ruim ($25 < IQA < 50$); muito ruim ($0 < IQA < 25$) (COPAM, 2008). A análise comparativa da qualidade das águas avaliada pelo IQA mostrou que, no geral, a qualidade é média; nenhum dos sítios pode ser enquadrado como excelente. Há uma melhora da qualidade das águas no sentido de montante para jusante, ou seja, de GF04 para GF01.

Índices Médios de Qualidade de Água para os sítios do reservatório da PCH Gafanhoto e trecho a montante em novembro de 2018 e março e agosto de 2019.



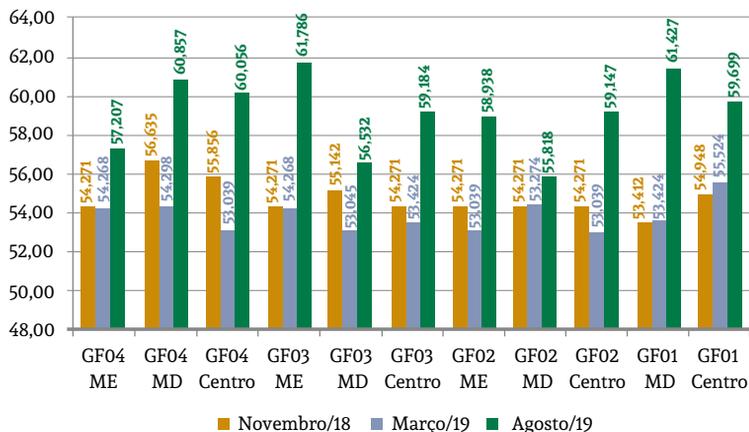
MD = Margem direita
ME = Margem esquerda

Valor do IQA	Classe	Significado
$90 < IQA \leq 100$	Excelente	Águas apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento público
$70 < IQA \leq 90$	Bom	
$50 < IQA \leq 70$	Médio	
$25 < IQA \leq 50$	Ruim	Águas impróprias para o tratamento convencional visando ao abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados
$IQA \leq 25$	Muito Ruim	

Índice de Estado Trófico – IET. De acordo com a metodologia proposta por Lamparelli (2004), que foi uma adaptação para ambientes tropicais do índice adotado por Carlson (1977), utilizado para climas temperados, esse método também é utilizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas, sendo o cálculo baseado nos teores de dois parâmetros: clorofila-a e fósforo total. Os limites dos diferentes níveis tróficos para rios e reservatórios são: ultraoligotrófico ($IET < 47$); oligotrófico ($47 < IET < 52$); mesotrófico ($52 < IET < 59$); eutrófico ($59 < IET < 63$); supereutrófico ($63 < IET < 67$); hipereutrófico ($IET > 67$) (LAMPARELLI, 2004).

O IET médio calculado indicou, nas amostragens de março e novembro, estado mesotrófico. Para agosto, mês de seca, a trofia do reservatório aumentou, passando de uma condição predominantemente mesotrófica para eutrófica.

Índices Médios de Qualidade de Água para os sítios do reservatório da PCH Gafanhoto e trecho a montante em novembro de 2018 e março e agosto de 2019.



MD = Margem direita
ME = Margem esquerda

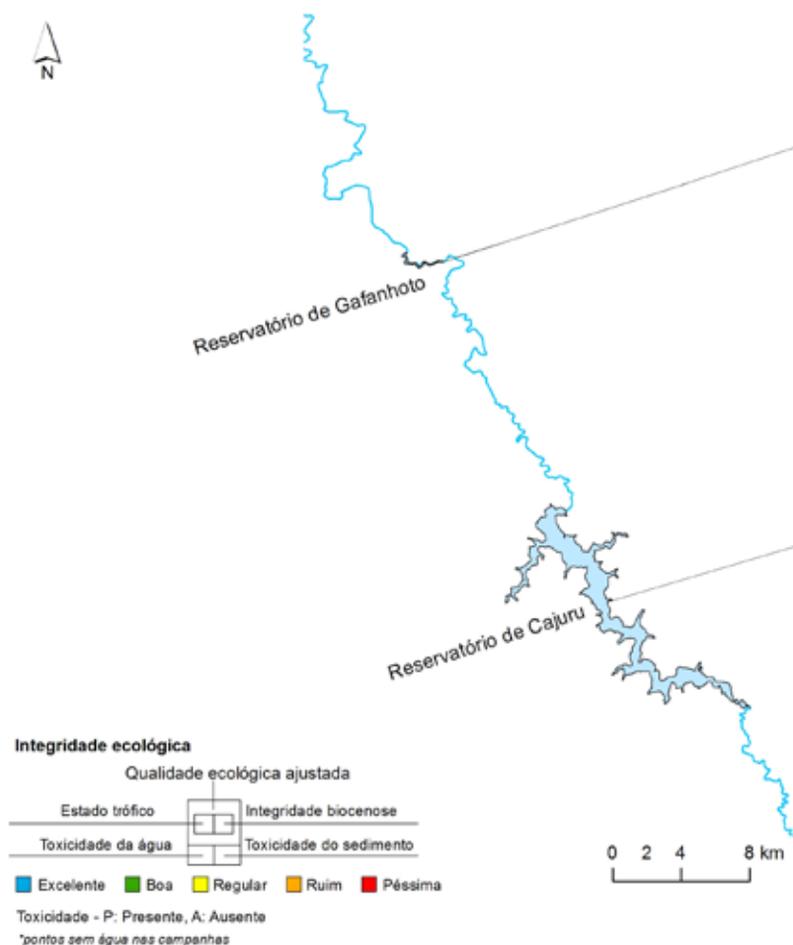
CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO - RIOS				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi - S (m)	P-total - P	Clorofila-a (mg.m ³)
Ultraoligotrófico	IET ≤		P ≤ 13	CL ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52		13 < P ≤ 35	0,74 < CL ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59		35 < P ≤ 137	1,31 < CL ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63		137 < P ≤ 296	2,96 < CL ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67		296 < P ≤ 640	4,70 < CL ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67		640 < P	7,46 < CL

CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO - RESERVATÓRIOS				
Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi - S (m)	P-total - P	Clorofila-a (mg.m ³)
Ultraoligotrófico	IET < 47	S > 2,4	P < 8	CL < 1,17
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	2,4 > S ≥ 1,4	8 < P ≤ 19	1,17 < CL ≤ 3,24
Mesotrófico	52 < IET < 59	1,7 > S ≥ 1,1	19 < P ≤ 52	3,24 < CL ≤ 11,03
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	1,1 > S ≥ 0,8	52 < P ≤ 120	11,03 < CL ≤ 30,55
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,8 > S ≥ 0,6	120 < P ≤ 233	30,55 < CL ≤ 69,05
Hipereutrófico	IET > 67	0,6 > S	233 < P	69,05 < CL

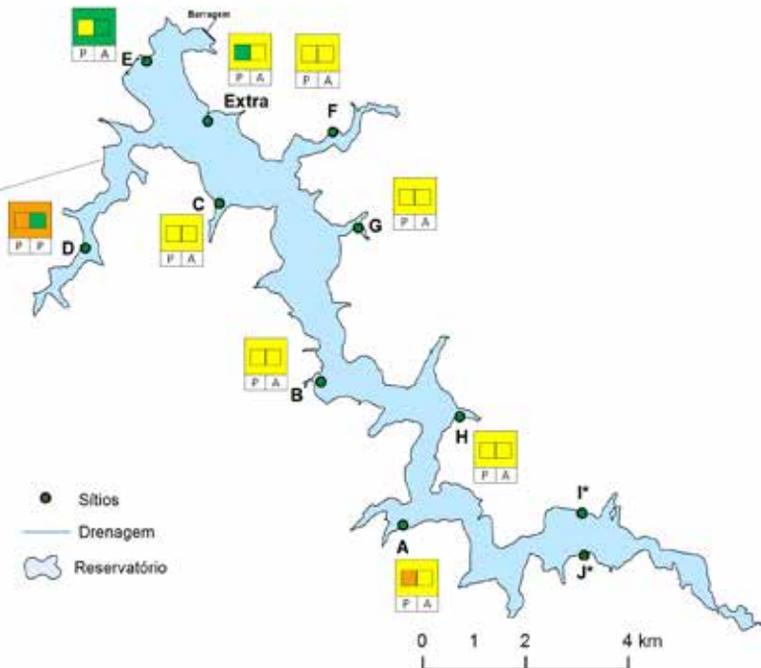
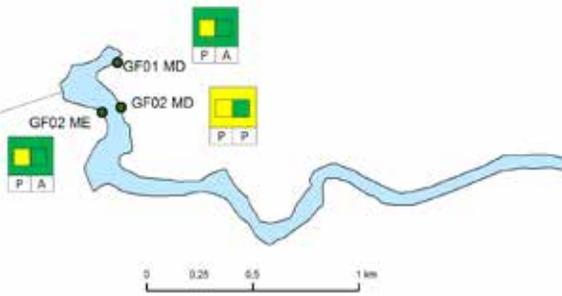
Elementos-traço em sedimentos e águas. O estudo apontou inconformidades em março de 2019, principalmente para Alumínio (Al) e Ferro (Fe), em todos os sítios de amostragem, e para Manganês (Mn), no sítio GF04 – margem direita, considerando as concentrações máximas permitidas de elementos-traço em águas de classe 2 (CONAMA 357/2005). Em relação à presença de contaminantes nos sedimentos, em março de 2019, merecem destaque o valor para o Bário (Ba), em GF04, acima do VP (Valor de Prevenção, que é a concentração de determinada substância acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais na qualidade dos solos e da água subterrânea), e duas ocorrências para o Cromo (Cr), também acima do VP, nos sítios GF04 ME e GF02 MD.

Índice de Integridade Ecológica – IIE. A qualidade ecológica é uma abordagem holística que avalia o estado de conservação, a “saúde” do ecossistema. O uso de bioindicadores é ferramenta-chave para avaliar a qualidade ecológica, comparando locais impactados e locais prístinos (condição de referência). Essa abordagem classifica a qualidade ecológica do ambiente aquático, considerando de forma interativa os processos geomórficos, sedimentológicos, de qualidade físico-química e biológica das águas e sedimentos que se complementam e se reforçam mutuamente para disponibilizarem dados e informações mais completas sobre a capacidade de suporte dos ambientes aquáticos aos impactos antropogênicos e proposição e implantação de ações de manejo e restauração desses ambientes.

Índices de Integridade Ecológica (IIEs) para os reservatórios da UHE Cajuru e PCH Gafanhoto.



Os índices foram recalculados neste trabalho considerando os resultados de CIT (2016) e Ferreira et al. (2017) na bacia do reservatório de Cajuru, atestando que a qualidade ecológica dos ambientes nesse reservatório está mais comprometida do que nos demais. O resultado médio dos IIBs, alinhados a outros indicadores das pressões ambientais, como o IQA (qualidade da água), IET (estado trófico) e a presença ou ausência de metais (elementos-traço) nas águas e sedimentos (em concentrações acima dos limites legais), resultaram nos Índices de Qualidade Ecológica (IIE) e classes correspondentes para os sítios lênticos dos reservatórios da UHE Cajuru e PCH Gafanhoto.





Estudos das Comunidades de Macrófitas Aquáticas

**COMPOSIÇÃO
FLORÍSTICA DAS
MACRÓFITAS
AQUÁTICAS NOS
SÍTIOS AMOSTRAIS
DO RESERVATÓRIO
DA PCH
GAFANHOTO**

Composição florística. Foram identificadas 31 espécies de macrófitas aquáticas nos quatro sítios de amostragem, representadas por 11 famílias de Angiospermas e 1 representante das Samambaias (Salviniaceae). Foi observada a seguinte sequência decrescente para a riqueza florística nos sítios: GF04 > GF03 > GF01 > GF02.

Família/Espécie

ARACEAE

Lemna sp.

Pistia stratiotes L.

COMMELINACEAE

Commelina diffusa Burm.f.

CYPERACEAE

Cyperus aggregatus (Willd.) Endl.

Cyperus luzulae (L.) Retz.

Cyperus surinamensis Rottb.

Eleocharis nana Kunth

Eleocharis minima Kunth

Eleocharis montana (Kunth) Roem. & Schult.

Rhynchospora corymbosa (L.) Britton

FABACEAE

Aeschynomene denticulata Rudd

LYTHRACEAE

Cuphea melvilla Lindl.

OCHNACEAE

Sauvagesia erecta L.

ONAGRACEAE

Ludwigia leptocarpa (Nutt.) H.Hara

Ludwigia martii (Micheli) Ramamoorthy

Ludwigia octovalvis (Jacq.) P.H.Raven

Ludwigia peploides (Kunth) P.H.Raven

Ludwigia sp.

Ludwigia sp.

POACEAE

Hymenachne pernambucensis (Spreng.) Zuloaga

Panicum repens L.

Urochloa arrecta. (Hack. ex T.Durand & Schinz) Morrone & Zuloaga

Poaceae sp.

POLYGONACEAE

Polygonum ferrugineum Wedd.

Polygonum punctatum Elliott

PONTERIACEAE

Eichhornia azurea (Sw.) Kunth

Eichhornia crassipes (Mart.) Solms

Heteranthera reniformis Ruiz & Pav.

RUBIACEAE

Diodia saponariifolia (Cham. & Schlttdl.) K.Schum.

Oldenlandia salzmannii (DC.) Benth. & Hook.f. ex B.D.Jacks.

SALVINIACEAE

Salvinia auriculata Aubl.

	Nome popular	Forma de Vida	Forma Biológica	Sítios			
				GF01	GF02	GF03	GF04
	Erva-de-pato	Erva	Flutuante livre		X	X	
	Alface-d'água	Erva	Flutuante livre	X	X	X	X
	Trapoeiraba	Erva	Emergente	X	X	X	X
	Tiririca	Erva	Anfíbia				X
	Tiririca	Erva	Anfíbia	X			
	Tiririca	Erva	Anfíbia				X
	Tiririca	Erva	Anfíbia			X	
	Tiririca	Erva	Emergente			X	
	Tiririca	Erva	Anfíbia			X	
	Capim-navalha	Erva	Anfíbia	X			
	Angiquinho	Subarbusto	Anfíbia				X
	Sete-sangrias	Subarbusto	Anfíbia			X	X
	-	Erva	Anfíbia				X
	Cruz-de-malta	Arbusto	Anfíbia				X
	Cruz-de-malta	Subarbusto	Anfíbia				X
	Cruz-de-malta	Arbusto	Anfíbia	X		X	X
	Cruz-de-malta	Erva	Flutuante fixa	X	X	X	X
	Cruz-de-malta	Erva	Anfíbia		X		
	Cruz-de-malta	Erva	Anfíbia			X	
	Palha-branca	Erva	Anfíbia	X	X	X	
	Capim-torpedo	Erva	Emergente	X			
	Braquiária	Erva	Emergente	X	X		X
	Capim	Erva	Emergente			X	
	Erva-de-bicho	Erva	Emergente			X	
	Erva-de-bicho	Erva	Emergente	X		X	X
	Aguapé	Erva	Emergente	X	X	X	X
	Aguapé	Erva	Flutuante livre	X	X	X	X
	Hortelã-do-brejo	Erva	Flutuante fixa				X
	Poaia-do-brejo	Erva	Anfíbia				X
	-	Erva	Anfíbia			X	X
	Orelha-de-onça	Erva	Flutuante livre	X	X	X	X
Número de espécies				13	10	18	19

As espécies *Pistia stratiotes*, *Commelina diffusa*, *Ludwigia peploides*, *Eichhornia azurea*, *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata* estiveram presentes nos quatro sítios de amostragem. As famílias mais representativas em número de espécies foram Cyperaceae (7) e Onagraceae (6), Poaceae (4) e Pontederiaceae (3).

Gráfico. Número de espécies por família ocorrentes nos quatro sítios amostrais do reservatório da PCH Gafanhoto.

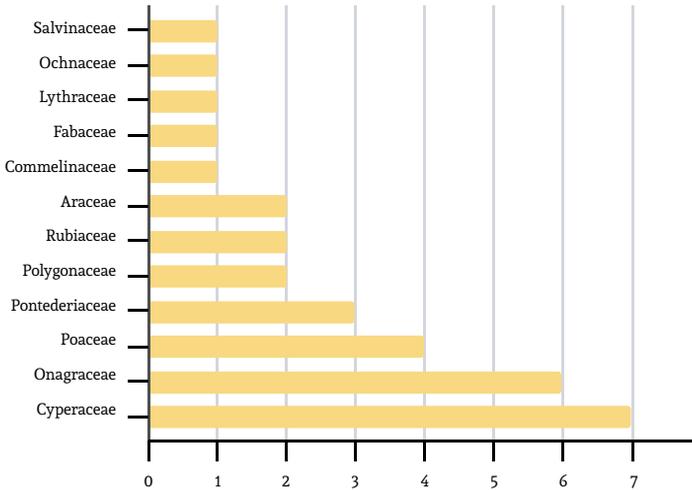
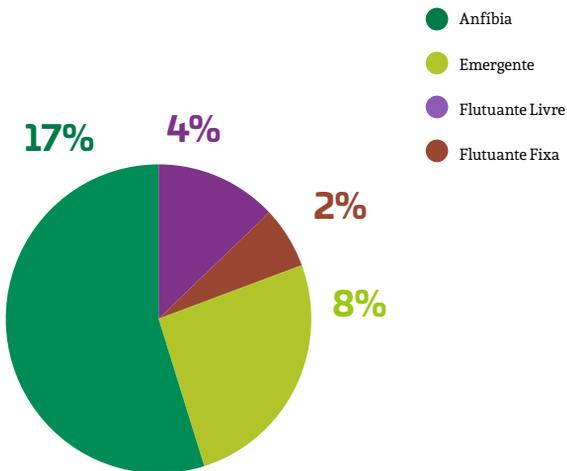
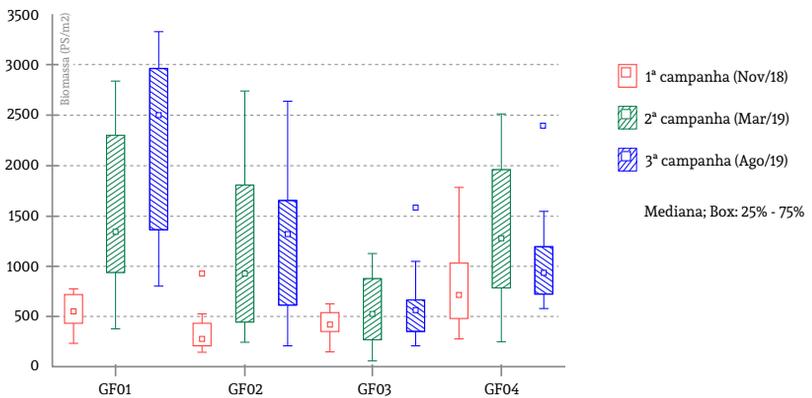


Gráfico. Foram observadas quatro formas biológicas na área de estudo. Dentre elas, o maior número foi registrado para as espécies anfíbias.



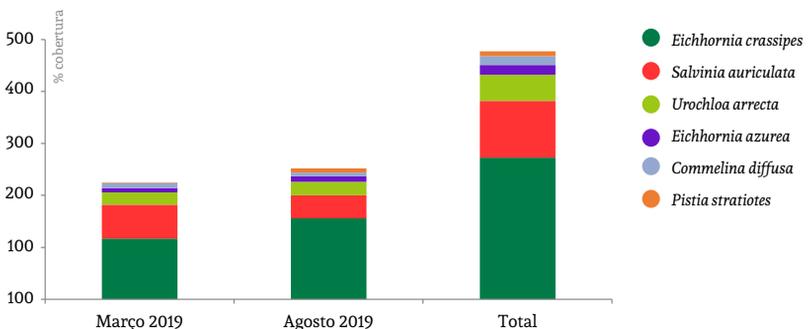
Biomassa e cobertura das macrófitas aquáticas. A comparação dos valores de biomassa/m² entre os sítios mostrou que GF01 e GF02 foram os que contribuíram com o maior quantitativo, e GF03 foi o sítio que apresentou os menores valores de biomassa/m² (gráfico abaixo). No sítio GF01, *Eichhornia crassipes* (flutuante livre) foi a espécie dominante. Observou-se, nesse local, maior adensamento da população com indivíduos de maior porte aéreo e sistemas radiculares muito desenvolvidos, enquanto no sítio GF03 os estandes apresentaram variação em relação às espécies presentes, com *Eichhornia azurea* (fixa no sedimento, geralmente em locais mais rasos). As variações de crescimento de macrófitas aquáticas podem estar relacionadas a diferentes condições ambientais, como a disponibilidade de nutrientes e de *habitat*, densidade vegetal, radiação solar, velocidade de corrente e temperatura.

Gráfico. Biomassa por área (PS g/m²) para os sítios amostrais do reservatório da PCH Gafanhoto.



Considerando o estudo da cobertura vegetal, *Eichhornia crassipes* (agua-pê) apresentou a maior dominância. Outros destaques foram *Salvinia auriculata* (orelha-de-onça) e *Urochloa arrecta* (braquiária-aquática). Essas três espécies foram também as que ocorreram com maior frequência nos quatro sítios estudados.

Gráfico. Espécies de maior cobertura nos quatro sítios amostrais do reservatório da PCH Gafanhoto.



Eichhornia crassipes (aguapé) apresenta tanto a forma fixa, em ambientes rasos, como a flutuante livre, em locais com maior profundidade. Sua dinâmica espacial altera de acordo com a velocidade e a direção dos ventos, ajudadas por sua anatomia com pecíolos flutuadores e suas folhas, que atuam como velas (lemes), direcionando os estandes para vários pontos do reservatório. Essas plantas podem ocorrer em toda a extensão da lâmina d'água, devido à sua grande mobilidade e, ainda, às condições físico-químicas das águas, pois apresentam forte relação com ambientes eutrofizados. Sua alta capacidade de multiplicação vegetativa permite que grandes extensões sejam rapidamente ocupadas.



Salvinia auriculata (orelha-de-onça) é uma planta extremamente vigorosa em condições favoráveis e é rapidamente disseminada por propagação vegetativa. A reprodução também pode ocorrer pela formação de esporângios e esporos nas folhas submersas. A espécie pode colonizar extensas superfícies de água em um curto período, tornando-se uma planta indesejada e tão competitiva quanto o aguapé.



A espécie ***Urochloa arrecta*** (braquiária-aquática) é uma planta africana introduzida no Brasil e que vem causando sérios danos em reservatórios. São plantas muito agressivas, com grande capacidade competitiva e excelente adaptação em terreno de alta umidade, principalmente nas margens. Propaga-se, sobretudo, por meios vegetativos. No sítio GF02, essa espécie apresenta grande dominância.



Biomassa e cobertura das macrófitas aquáticas. Os resultados do mapeamento dos estandes de macrófitas nos sítios amostrais estão apresentados na Tabela 4. Os maiores comprometimentos em área ocupada por macrófitas corresponderam aos sítios GF01 e GF02. Para GF01, o maior percentual de ocupação foi 99,5%, registrado na 2ª campanha (março de 2019); e, para GF02, o maior valor foi de 90,62%, durante a 3ª campanha. A área ocupada (%) por macrófitas no sítio GF03 não sofreu variação representativa ao longo das três campanhas realizadas, variando de 4,01 a 6,6%. Observou-se que, no sítio GF04, a área ocupada pelas macrófitas tem reduzido ao longo do estudo: passou de 32,44%, na 1ª campanha, para 8,21%, na 3ª.

ÁREA DE OCUPAÇÃO DAS MACRÓFITAS POR SÍTIOS DE AMOSTRAGEM DO RESERVATÓRIO DA PCH GAFANHOTO

				Área com macrófitas (m ²)			% área com macrófitas			Área sem macrófitas (m ²)			% área sem macrófitas		
				1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
				GF01	6.977	382	130	5.730	6942	6379	82,13	99,50	98,48	1.247	35
GF02	14.793	554	130	11.274	9.064	13.406	76,21	61,27	90,62	3.519	5.729	1.387	23,79	38,73	9,38
GF03	8.927	522	130	358,3	719	502,3	4,01	6,60	5,63	8.569	10.168	8.424,7	95,99	93,40	94,37
GF04	11.553	444	130	3.748	1.622	876	32,44	13,19	8,21	7.805	10.671	9.797	67,56	86,81	91,79

Com relação aos períodos sazonais, observou-se que houve uma inversão de padrões entre os sítios GF01 e GF02, ou seja, em GF02 ocorreu maior ocupação de macrófitas durante o período de estiagem, enquanto em GF01 houve redução de área ocupada (m²). No sítio GF02, a área ocupada pelas macrófitas em m² foi a mais representativa, chegando a atingir, durante o período seco, 13.406 m².

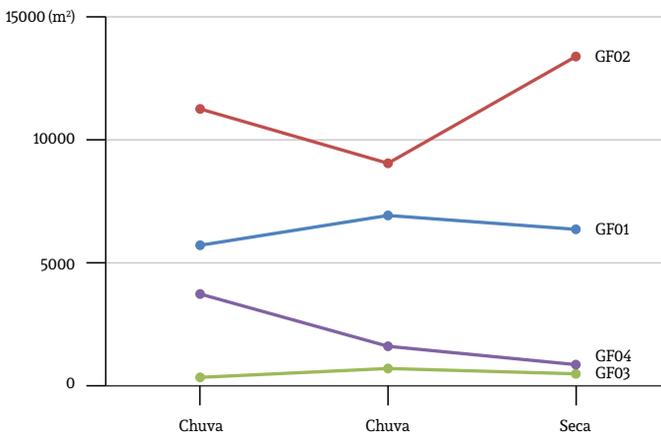
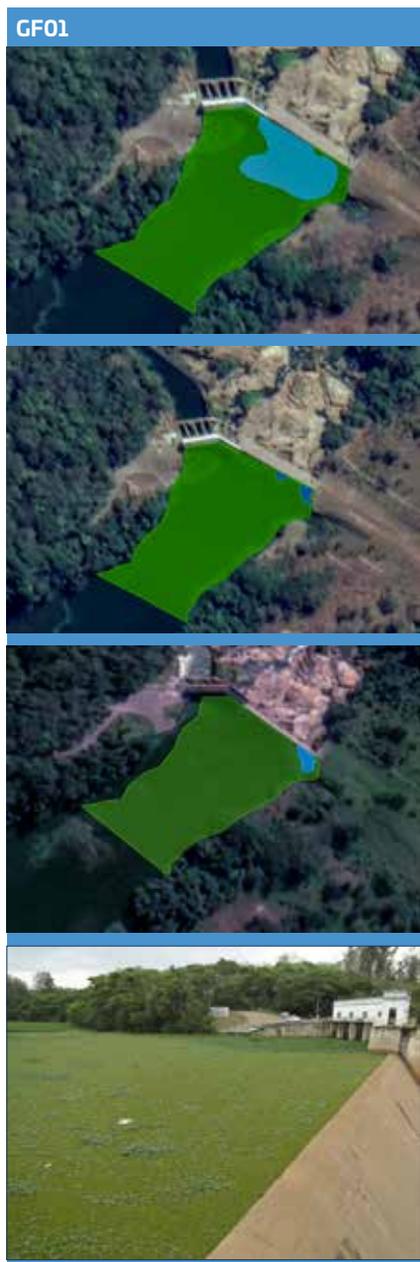
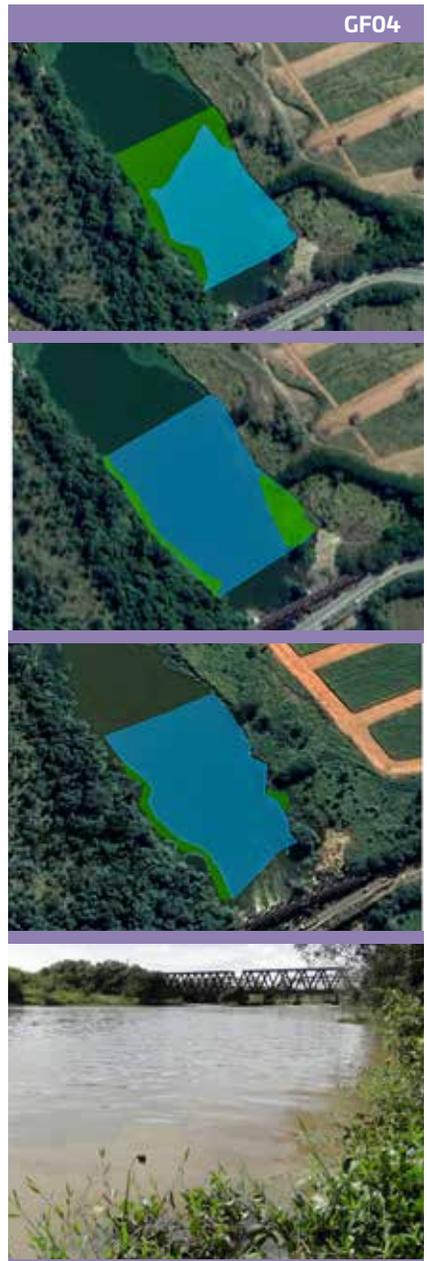
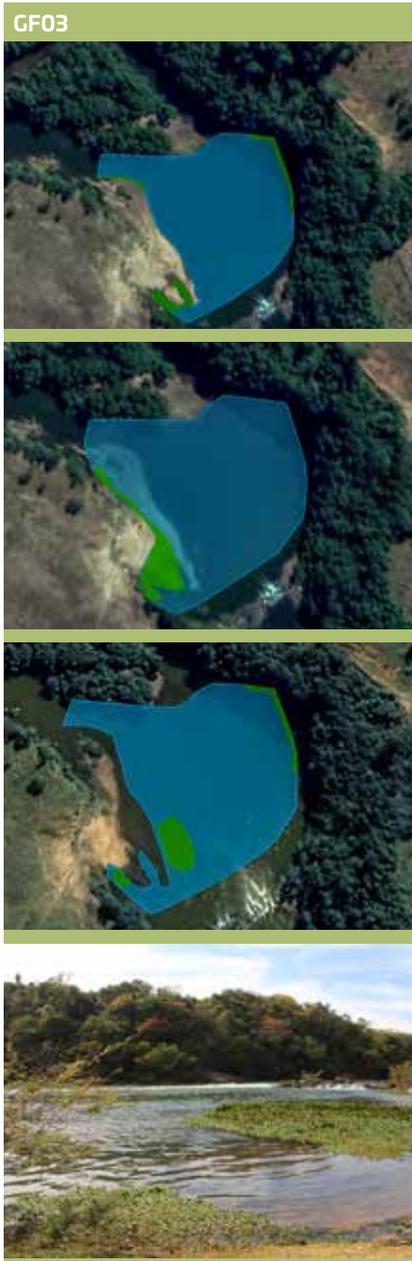


Gráfico. Área ocupada por macrófitas aquáticas (m²) nos sítios de amostragem do reservatório da PCH Gafanhoto nas estações de chuva e seca.

Panorama de ocupação das macrófitas aquáticas ao longo das três campanhas. O panorama da ocupação das macrófitas aquáticas pode ser observado nas imagens aéreas dos quatro sítios de amostragem ao longo do tempo.



Infográfico sobre as colonizações das macrófitas aquáticas nos sítios de amostragem do reservatório da PCH Gafanhoto nas três campanhas de campo.



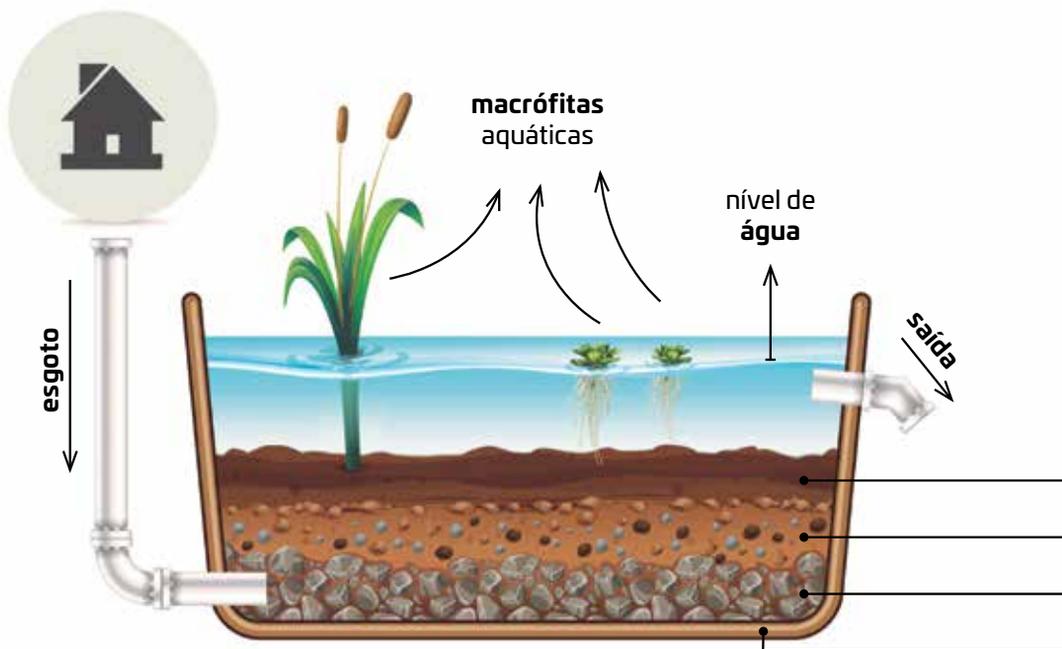


**Wetlands
Artificiais**

Sistema similar a Wetlands artificiais. O uso de plantas aquáticas pode ser uma alternativa para o tratamento e a descontaminação da água enriquecida por nutrientes e contaminantes. Espécies vegetais, aquáticas ou não, são utilizadas em Wetlands (jardins filtrantes) construídos ou alagados artificiais. O conceito de “jardim filtrante” vem sendo desenvolvido nas últimas décadas, e esses sistemas de depuração de águas estão sendo usados com sucesso no tratamento do esgoto proveniente de pias, tanques e chuveiros, ricos em sabões, detergentes, restos de alimentos e gorduras – a chamada “água cinza” (infográfico abaixo). No entanto, também é possível aplicar essa tecnologia para águas correntes naturais por meio do uso de estruturas flutuantes de contenção da biomassa vegetal.

Prioritariamente, seria construído um jardim filtrante no remanso do reservatório da PCH Gafanhoto ou no rio Pará, entre a PCH Gafanhoto e a barragem de Cajuru, ou em outra localização em comum, de acordo com a coordenação. Dessa primeira avaliação, optou-se pela construção do experimento na lateral de uma pequena ilha (para ter a possibilidade de ter o “branco” da qualidade das águas). O jardim foi construído por meio de Log Boom e estruturas flutuantes, como estacas, boias, telas e cabos, para a contenção das macrófitas. O acompanhamento foi feito quinzenalmente (excepcionalmente mensal) para medidas de área ocupada e biomassa fresca das plantas.

Infográfico de um jardim filtrante em funcionamento.



Os resultados dos ensaios no reservatório da PCH Gafanhoto mostraram que, à medida que os aguapés cresceram (aumento da área ocupada), a concentração de fósforo total na água diminuiu de montante para jusante, indicando que as plantas são importante componente do sistema na absorção de fósforo. Esse fato ficou mais claro no primeiro período do experimento (meses de maio, junho, julho e agosto), fase em que as plantas podem ter absorvido nutrientes e estocado para posterior crescimento.

Imagens. Área com polígono do experimento da Wetland da PCH Gafanhoto no reservatório e resultados da concentração de fósforo e área ocupada.



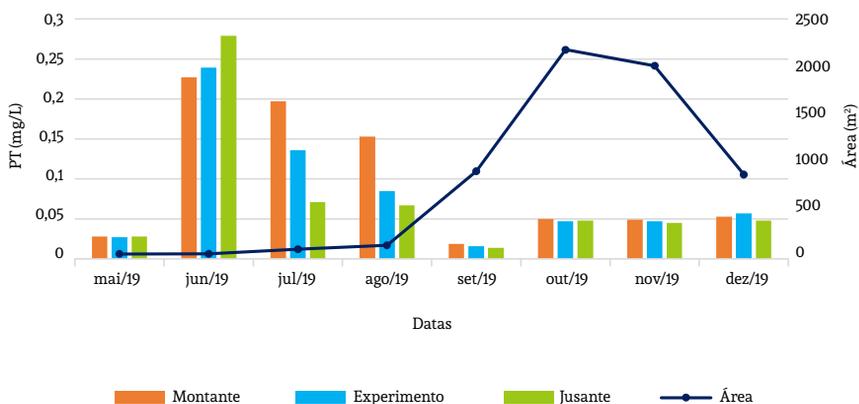
→ matéria **orgânica**

→ cascalho **fino**

→ cascalho **grosso**

→ **argila**

Gráfico. Concentração de Fósforo x Área ocupada por aguapés.

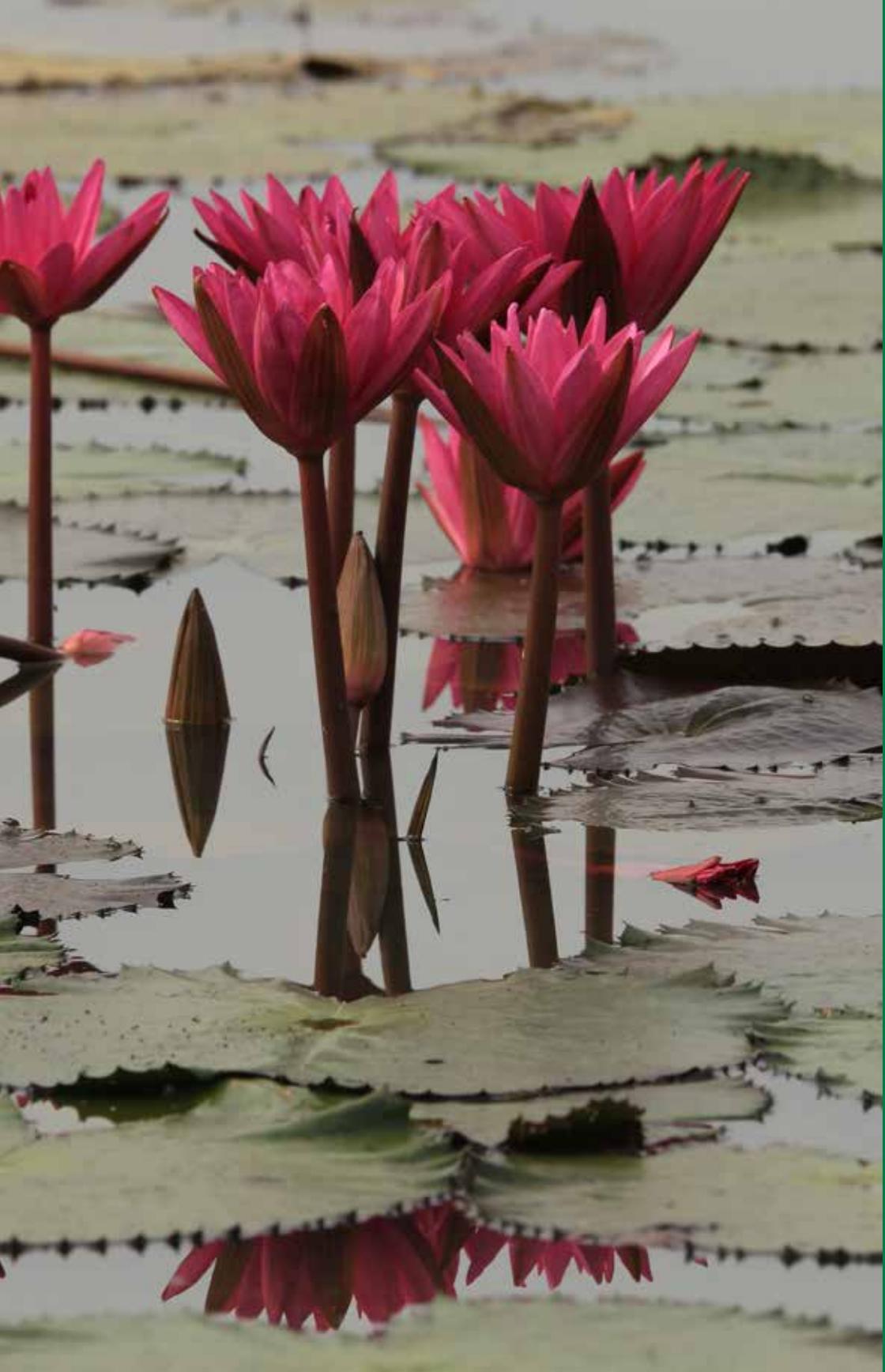


A implantação Wetlands é uma ecotecnologia de baixo custo. Ela pode ser uma alternativa para a redução do aporte de nutrientes em reservatórios e vir a tornar-se uma importante ferramenta de gestão de bacias para processos ambientais e importante componente do plano de manejo que será proposto ao final do projeto. O país ainda tem grande deficiência no setor de tratamento de esgotos. Um dos graves problemas enfrentados hoje no Brasil é a depreciação dos corpos d'água em diversas bacias hidrográficas, que vêm enfrentando crescentes problemas em seus tributários e reservatórios com a diminuição da qualidade das águas, as superpopulações de macrófitas aquáticas e os blooms de cianobactérias.





**Considerações
finais do estudo**





CONCLUSÃO

No entorno do reservatório da PCH Gafanhoto, estão presentes em maior percentual as áreas de pastagens e as cobertas por florestas estacionais semidecíduas. As áreas construídas (cidades) concentram-se nas porções mais a oeste, e as áreas de reflorestamento estão distribuídas em toda a região. As áreas de mineração são representadas por pequenas manchas, a noroeste da bacia.

Quanto aos tipos de solo, os de maior fertilidade concentram-se nas áreas mais declivosas da bacia. A qualidade das águas do reservatório da PCH Gafanhoto, expressa pelo Índice de Estado Trófico (IET), indicou uma condição predominantemente mesotrófica nas coletas de chuva (novembro de 2018 e março de 2019). Porém, na estiagem, a trofia do reservatório aumentou, passando a eutrófica. O IQA refletiu águas de qualidade média ao longo das três coletas realizadas, ou seja, são apropriadas para tratamento convencional visando ao abastecimento. Há uma tendência de melhora da qualidade das águas no sentido de montante para jusante. O Índice de Integridade Ecológico (IIE) do reservatório de Gafanhoto evidenciou uma qualidade ecológica de boa (GF01 MD e GF02 ME) a regular (GF02 MD). No reservatório Gafanhoto, a piora da qualidade ecológica nos sítios GF02 MD deu-se em razão da presença de contaminação por metais tanto na água como nos sedimentos.

Comparativamente ao reservatório de Cajuru, os indicadores da bioce-nose da PCH Gafanhoto mostraram melhores resultados. A comunidade fitoplancônica apresentou, ao longo do estudo, maior densidade nos pontos GF02 C, seguido pelo ponto GF01 MD; esses pontos apresentaram contribuição relevante da classe Chlorophyceae, com destaque para a espécie *Chlorella* sp., em ambos os ambientes. No ponto GF02 C, também foram importantes as classes Cyanophyceae, com destaque para as espécies *Anagnostidinema* sp. e *Pseudoanabaena* sp., e Cryptophyceae, destacando-se a espécie *Cryptomonas* sp. Para o ponto GF01 MD, destacou-se a classe Bacillariophyceae. Pode-se considerar que a variação hidrológica dos quatro ambientes é um fator determinante na densidade do fito-

plâncton; no entanto, foi observada maior variação das comunidades em relação a uma escala longitudinal, em que se compararam as margens e a região central dos ambientes amostrados devido aos *microhabitat* das margens. As cianobactérias também foram quantificadas em número de células, e a densidade do grupo apresentou valores inferiores aos estabelecidos pela legislação (20.000 cél.mL) em todas as coletas. A comunidade zooplanctônica apresentou ao longo do estudo uma variação sazonal no que diz respeito à densidade de organismos, demonstrando valores elevados em novembro de 2018, com baixa considerável em março de 2019 e retomada da densidade em agosto de 2019. A densidade elevada foi representada pelas amebas testáceas, no sítio amostral GF01, local que apresentou maior riqueza de espécies de macrófitas, o que corrobora a associação desses organismos e sua ligação com a alta produtividade dessas plantas.

Quanto à comunidade de macroinvertebrados, de modo geral, os pontos de amostragem nas três coletas, tanto no substrato sedimento quanto nas macrófitas, mostraram o mês de março como o mais crítico para essa comunidade, implicando diminuição geral da densidade como também da riqueza de organismos. Esse fato sugere que as chuvas podem ter influenciado nos valores desses atributos.

Os sítios de maior riqueza de espécies de macrófitas aquáticas foram o GF02 e o GF01 (ambientes lênticos). Também nesses locais, houve maior comprometimento em área ocupada. A espécie de maior dominância foi *Eichhornia crassipes* (aguapé). Também se destacaram *Urochloa arrecta* (braquiária-aquática) e *Salvinia auriculata* (orelha-de-onça). Todas essas espécies são conhecidas como problemáticas em reservatórios. Observa-se, com base nos dados levantados, que as condições de qualidade das águas do reservatório da PCH Gafanhoto, em especial as concentrações de nutrientes, são favoráveis à colonização das macrófitas aquáticas. Entretanto, como demonstrado no ensaio da Wetland artificial, foi relevante o papel das plantas como depuradoras do sistema, contribuindo para a diminuição das concentrações de nutrientes, à medida que os aguapés cresceram (aumento da área ocupada) e a concentração de Fósforo Total na água diminuiu de montante para jusante, indicando que as plantas são importante componente do sistema na absorção de fósforo do sistema. Esse fato ficou mais claro no primeiro período do experimento (meses de maio, junho, julho e agosto), fase em que as plantas podem ter absorvido o nutriente e estocado para posterior crescimento. Após essa fase, as diferenças recaíram mais em alterações da morfologia das plantas.

Logo, para um plano de manejo integrado, vale ressaltar que se torna importante a permanência de macrófitas aquáticas em pontos estratégicos, que devem ser considerados para o gerenciamento de reservatórios e áreas de influência. De acordo com Pompêo (2017), o que norteia um programa de gestão é o conhecimento do objeto de estudo, o reservatório, seu entorno e sua flora aquática. Dessa forma, os resultados parciais referentes ao estudo do reservatório, entorno e flora aquática aqui apresentados subsidiarão o plano de manejo que se encontra em fase final de elaboração e será apresentado ao fim do projeto.

Referências Bibliográficas

- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; JULIO JR., H. F. Relações entre macrófitas aquáticas e fauna de peixes. In: Thomaz, S. M. e Bini, L. M. (Ed.) Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. Maringá: EDUEM, p. 261-280. 2003.
- BARRAT-SEGRETAIN, M. H. Strategies of reproduction, dispersion, and competition in river plants: A review. *Vegetatio*, 123, p. 13-37. 1996.
- BIANCHINI JÚNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: Thomaz, S. M. & Bini, L. M. (Ed.). Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas. EDUEM, Maringá, p. 85-126. 2003.
- CABRAL, E. L.; SALAS, R. In: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB13937>. Acesso em: 25 set. 2019.
- CAVENAGHI, A. L. et al. Monitoramento de problemas com plantas aquáticas e caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Mogi-Guaçu. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 225-231. 2005.
- CARVALHO, F. T.; VELINI, E. D.; MARTINS, D. Plantas aquáticas e nível de infestação das espécies presentes no reservatório de Bariri, no rio Tietê. *Planta Daninha*, v. 23, n. 2, p. 371-374. 2005.
- CLARK, J. R.; VANHASSEL, J. H.; NICHOLSON, R. B.; CHERRY, D. S.; CAIRNS, J. JR. Accumulation and depuration of metals by duckweed (*Lemna perpusilla*). *Ecotoxicology and environmental safety*, v. 5, p. 87-96. 1981.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. São Paulo. (Série Relatórios). 2007.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. Publicada no DOU nº 053, de 18/3/2005, págs. 58-63.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº 1, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais. 2008.
- CORREA, M. P. Dicionário de plantas úteis de Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura. v. 4. 1969.
- COSTA, M. P. F.; AHERN, F. J.; NOVO, E. M. L. M.; PIETSCH, R. W.; NOERNBERG, M. A. Efeito dos dados de multipolarização SAR-C aerotransportado na separabilidade do retroespalhamento de plantas aquáticas do Reservatório de Tucuruí – Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8. (SBSR). 1996. Salvador. Anais. São José dos Campos: INPE, 1996. p. 107-114. CD-ROM. ISBN 85-17-00014-5. (INPE-6169-PRE/2258). Disponível em: <http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/deise/1999/01.28.09.55>.
- CUDA J. P. Introduction to Biological Control of Aquatic Weeds In gettys, L. A.; Haller, W. T. Petty D. G. (Ed.) – Biology and Control of Aquatic Plants. A Best Management Practices Handbook: Third Edition. 229p. 2014.
- EPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization. *Eichhornia crassipes*. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 38: p. 441-449. 2008.
- ESTEVEES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2ª edição. Interciência: Rio de Janeiro – RJ. 1998.
- FORZZA, R. C. et al. Angiospermas. In: Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB128482>. Acesso em: 25 set. 2019.
- GOPAL, B. *Water Hyacinth*. Elsevier, Amsterdam. 1987.
- HENRY, R.; NOGUEIRA, M. G. A Represa Jurumirim (São Paulo): primeira síntese sobre o conhecimento limnológico. In: Henry, R. (ed.) Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais. FAPESP/FUNDIBIO, Botucatu, p. 651-686. 1999.
- HENRY-SILVA, G. G.; CAMARGO, A. F. M. Composição química de quatro espécies de macrófitas aquáticas e possibilidades de uso de sua biomassa. *Naturalia*, v. 25, p. 111-125. 2000.
- HOVEKA, L. N.; BEZENG, B. S.; YESSOUFOU, J. S.; VAN DER BANK, M. Effects of climate change on the future distributions of the top five freshwater invasive plants in South Africa. *South African Journal of Botany*, p. 33-38. 2016.
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2009. Disponível em: http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=146%29. Acesso em: 25 jul. 2014.
- IRGANG, B. E.; GASTAL JR., C. V. S. Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS. Porto Alegre, CPG-Botânica/UFRGS. 290p. 1996.
- KAWAL, H.; GRIECO, V. M. Utilização de aguapé para tratamentos de esgoto doméstico. Estabelecimento de critérios de dimensionamento de lagoa de aguapé e abordagem de alguns problemas operacionais. *Revista DAE*, n. 135, p. 79-90. 1983.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. Plantas infestantes e nocivas: Tomo III. 2. ed. São Paulo: BASF. Tomo III. 722p. 2000.
- LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3. ed. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum. 608p. 2000.
- MARCONDES, D. A. S.; MUSTAFÁ, A. L. & TANAKA, R. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupia. In: Thomaz, S. M. & Bini, L. M. (Ed.). Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas. EDUEM, Maringá, p. 299-318. 2003.
- MARTINS, A. T.; PITELLI, R. A. Efeitos do manejo de *Eichhornia crassipes* sobre a qualidade da água em condições de mesocosmos. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 233-242. 2005.
- MATAGI, S. V.; SWAI, D.; MUGABE, R. A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. *African Journal of Tropical Hydrobiology and Fisheries*, v. 8, p. 23-35. 1998.
- MELO, E. de. Polygonaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB13728>. Acesso em: 26 set. 2019.

- MEERHOFF, M.; MAZZEO, N.; MOSS, B.; RODRIGUÉZ-GALLEGO, L. The structuring role of free-floating versus submerged plants in a subtropical shallow lake. *Aquatic Ecology*. v. 37, p. 377-391. 2003.
- MEERHOFF, M.; MAZZEO, N. Importancia de las plantas flooantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. *Ecosistemas* 2004/2. 2004. Disponível em: <http://www.aet.org/ecosistemas/042/revision1.htm>. Acesso em: 15 jan. 2020.
- MURPHY, K. J. Predizendo alterações em ecossistemas aquáticos continentais e áreas alagáveis: o potencial de sistemas bioindicadores funcionais utilizando macrófitas aquáticas. *Maringá: Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*. n. 27, p. 7-9. 2000.
- OERTLI, B.; LACHAVANNE, J. B. The effects of shoot age on colonization of an emergent macrophyte (*Typha latifolia*) by macroinvertebrates. *Freshwater Biology*. v. 34, p. 421-431. 1995.
- OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvinia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. v. 13, n. 3, p. 329-341. 2001.
- PEDRALLI, G. Macrófitas Aquáticas: Técnicas e Métodos de Estudos. *Estudos de Biologia*. n. 26, Curitiba: EDUCA, 24p. 1990.
- PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M. C. B. Macrófitas aquáticas como agentes filtradores de materiais particulados, sedimentos e nutrientes. In: Henry, R. (org.). *Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos*. São Carlos: Rima, p. 177-194. 2003.
- POTT, V. J.; POTT, A. Plantas aquáticas do Pantanal. Brasília, DF: Embrapa. 404 p. il. SMEWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW). 22 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2017. v. 1. 2000.
- POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas. *Oecol. Bras.*, 12 (3):406-424. 2008.
- POMPÊO, M. L. M. (ed.). *Perspectivas da limnologia no Brasil*, São Luís: Gráfica e Editora União, 198p. 1999.
- POMPÊO, M. Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros. – São Paulo: Instituto de Biociências da USP, 138p. il. 2017.
- POMPÊO, M. L.; MOSCHINI-CARLOS, V. Macrófitas aquáticas e perifiton – Aspectos ecológicos e metodológicos. São Carlos: Rima. 124p. 2003.
- POTT, V. J.; POTT, A. Potencial de uso das plantas aquáticas na despoluição da água. *Campo Grande: Embrapa Gado de Corte*. 25p. 2002.
- RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. 7. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 332p. 2007.
- SILVA, S. S. L. Caracterização ecológica e estrutural de macrófitas em reservatórios no estado de Pernambuco. Tese (Doutorado em Biologia) – Universidade Federal Rural Pernambuco. 108p. 2011.
- SIMPSON, D. A.; INGLIS, C. A. *Cyperaceae of economic, etnobotanical and horticultural importance: a checklist*. *Kew Bulletin*. v. 56, p. 257-360. 2001.
- ST-CYR, L.; CAMPBELL, P. G. G. Trace metals in submerged plants of St. Lawrence River. *Can. J. Bot.* v. 72, p. 429-439. 1994.
- TAKEDA, A. M.; SOUZA-FRANCO, G. M.; MELO, S. M.; MONKOLSKI, A. Invertebrados associados às macrófitas aquáticas da planície de inundação do alto rio Paraná. In: Thomaz, S. M. e Bini, L. M. (Ed.). *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: EDUEM, p. 243-260. 2003.
- THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Valores energéticos da biomassa de algumas espécies de macrófitas aquáticas tropicais. *Ciência e Cultura*. v. 38, n. 10, p. 1691-1694. 1986.
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Editora da Universidade Estadual de Maringá. 341p. 2003.
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. *Ecologia e manejo de macrófitas em reservatórios*. *Acta Limnol. Brasil.*, v. 10, n. 1, p. 103-116. 1999a.
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. A expansão das macrófitas aquáticas e implicações para o manejo de reservatórios: um estudo na represa de Itaipu. In: HENRY, R. *Ecologia de reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais*. Botucatu: Fundibio. p. 599-625. 1999b.
- THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. *Planta daninha [online]*. 2002, vol. 20, n.spe [cited 2021-02-09], p. 21-33. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-8358200200040003-&lng=en&nrmiso>. ISSN 1806-9681. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582002000400003>
- THOMAZ, S. M.; BINI, L. M.; PAGIORO, T. A. Métodos em Limnologia: Macrófitas aquáticas. In: Bicudo, C. E. M. & Bicudo, D. C. (Org.). *Amostragem em Limnologia*. Rima, p. 193-212. 2004.
- TRIPATHI, B. D.; SRIVASTAVA, J.; MISRA, K. Nitrogen and phosphorus removal-capacity of four chosen aquatic macrophytes in tropical freshwater ponds. *Environmental Conservation*. v. 18, n. 2, p. 143-147. 1991.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 3. ed, v. 1. p. 452. 2005.
- ZARDINI, E. M.; RAVEN, P. H. *Onagraceae. Flora dos Estados de Goiás e Tocantins. Coleção Rizzo, Goiânia*. Editora UFG. v. 20. Adaptado de Cunha Santino e Bianchini (2011). 1997.