

## ÍNDICE

6 - Conclusões.....	1/8
---------------------	-----



## 6 - CONCLUSÕES

Em síntese, as seguintes considerações podem ser feitas acerca das condições limnológicas do rio Madeira, dos tributários e dos lagos e canais, a partir dos resultados obtidos da campanha de janeiro de 2013 (enchente) do reservatório da UHE Santo Antônio no rio Madeira:

### Variáveis abióticas

- Coluna d'água

Apesar do reservatório da UHE Santo Antônio funcionar a fio d'água, o que promove constante renovação da água e dificulta a formação de estratificação térmica, os perfis de temperatura das estações amostradas na calha central do rio Madeira mostraram que a temperatura nas estações de montante do rio Madeira decresceram levemente em direção ao fundo, mais notadamente nas estações MON.03 e MON.01. Em relação ao oxigênio dissolvido, foi observada pouca variação vertical nas estações do rio Madeira. As concentrações de OD sempre superiores a 5 mg/L e houve um aumento das concentrações de OD a jusante em virtude da passagem da água pelos vertedouros.

Nos tributários, com exceção dos tributários de jusante (JAT II, BEL e JAM) e as estações JAC.02 e JAC.03, todas as estações apresentaram estratificação térmica. Nos tributários de montante, o tempo de residência da água é mais elevado do que na calha central do rio Madeira, o que favorece a estratificação térmica. Os tributários que apresentaram estratificação térmica tenderam a apresentar estratificação química de oxigênio. A ocorrência de estratificação, tanto térmica como química, é comum e esperada, em virtude da formação do reservatório. Nos lagos e canais, situados a jusante do reservatório, no geral, houve estratificação térmica ou química ao longo do período de estudo. No entanto, estes ambientes não sofrem grande influência do barramento, de forma que estes resultados não indicaram efeitos do represamento.

As estações situadas no rio Madeira mantiveram elevados valores de sólidos e turbidez durante o período estudado (enchente), embora tenha havido uma tendência de diminuição gradual de sólidos em direção à barragem. Essa diminuição pode ser um indicativo de sedimentação, que acontece em função da diminuição do fluxo da água. A análise de componentes principais separou claramente os ambientes estudados, agrupando as estações do rio Madeira em quadrantes distintos das estações dos tributários e dos lagos e canais.

No rio Madeira, nos tributários e nos lagos e canais, a DBO foi baixa e não se alterou em função da criação do reservatório.

No rio Madeira, nos tributários e nos lagos e canais a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido foi o nitrato (acima de 90%). Isso é esperado, visto que é mais provável a ocorrência de nitrato em águas bem oxigenadas, como foi geralmente o caso dos ambientes estudados. Os resultados encontrados não indicaram mudanças na dinâmica do nitrogênio nos ambientes amostrados.

Quanto ao fósforo, as concentrações foram elevadas, principalmente no rio Madeira. Contudo, a maior parte do fósforo está na forma particulada e indisponível para uso da biota. O rio Madeira transporta naturalmente uma elevada carga de fósforo, carregado para o rio em grandes proporções na parte andina da bacia de drenagem. Por ser predominantemente particulado e ter sido observada tendência de sedimentação em direção à barragem, houve diminuição gradual de fósforo total entre as estações MON.05 e MON.01.

A qualidade da água foi classificada como boa na maior parte das estações. Os piores cenários de qualidade da água classificaram-na como aceitável em algumas estações, o que aconteceu em função de baixas concentrações de oxigênio.

#### ▪ Sedimento

Durante a enchente de 2013 do reservatório da UHE Santo Antônio do rio Madeira, os compartimentos estudados (rio Madeira e tributários) não apresentaram diferenças expressivas para os nutrientes essenciais e elementos-traço avaliados.

A baixa concentração de matéria orgânica nos sedimentos destes ambientes permite classificá-los como minerais.

A natureza de granulometria mais fina (predominância de silte) do sedimento desses ambientes pode estar influenciando, de forma geral, na dinâmica da concentração dos elementos - traço, uma vez que essas frações granulométricas tendem a apresentar maior capacidade de retenção. A estação CAR, apresentou predominância de areia grossa e, por essa razão, apresentou menores concentrações de elementos-traço e de nutrientes essenciais.

De maneira geral, as concentrações de elementos-traço se dispõem em ordem decrescente da seguinte forma: Fe > Al > Mn > Ba > Zn > Cu > Pb > Cr > Ni > Co > Sn > Hg. A concentração dos nutrientes essenciais (N, P, Ca, K e Mg) apresentou maior variação nos tributários, do que no rio Madeira.

Os PCBs, HPAs e demais compostos biocidas avaliados apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação.

A partir do enchimento, a tendência é que a concentração de elementos-traço no sedimento das estações de monitoramento dos tributários (principalmente as situadas na foz) sejam semelhantes as estações de monitoramento do rio Madeira situadas a montante do eixo da barragem.

As concentrações das variáveis medidas no sedimento estão dentro da amplitude de variação registrada nas campanhas de monitoramento passadas, nos respectivos ambientes. Todas as variáveis também se mantiveram abaixo dos valores de alerta estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012.

Dessa maneira, é possível concluir que a permanência do nível do reservatório da UHE Santo Antônio não proporcionou alterações expressivas na estrutura física e composição química do sedimento dos ambientes no trecho médio do rio Madeira e tributários monitorados.

### Variáveis bióticas

- Fitoplâncton

No conjunto total de dados no mês de janeiro de 2013 foram registrados 310 táxons também distribuídos em 10 classes taxonômicas (65 cianobactérias, 12 criptofíceas, 12 dinoflagelados, 26 crisofíceas, 04 xantofíceas, 42 diatomáceas, 01 rafidofíceas, 22 euglenóides, 94 clorofíceas e 32 zignematofíceas).

As clorofíceas apresentaram a maior contribuição entre os táxons, no conjunto total dos dados (~35%). Considerando-se os sistemas em separado, o rio Madeira apresentou maiores contribuições de cianobactérias (34%) e diatomáceas (28%); tributários apresentaram maiores contribuições de clorofíceas (33%) e cianobactérias (22%) para a riqueza de espécies. Nos lagos e canais, clorofíceas (24%), cianobactérias (20%) e diatomáceas (20%) contribuíram mais para a riqueza de espécies;

As densidades médias foram de 113 ind/mL no rio Madeira, 1.666 ind/mL nos tributários e 6.380 ind/mL nos lagos e canais. No rio Madeira a composição das classes taxonômicas foi representada exclusivamente por cianobactérias, exceto em JUS.01 e JUS.03 onde diatomáceas representaram cerca de 10% e 30% respectivamente da densidade total do fitoplâncton; nos tributários a densidade das classes taxonômicas apresentou marcada variabilidade com maiores contribuições de cianobactérias (entre 5% a 100%) e clorofíceas (entre 3% a 80%) e nos lagos e canais a densidade das classes taxonômicas nos tributários apresentou marcada variabilidade. De forma geral, ocorreram maiores contribuições de cianobactérias (entre 5% a 100%) e clorofíceas (entre 3% a 80%).

O biovolume das populações de algas variou desde ausência total de algas no rio Madeira (MON.05 e MON.02) e nos tributários JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT I-M e JAT I-F a 18,44 mm<sup>3</sup>/L em CUJ. No rio Madeira a composição das classes taxonômicas expressa em biovolume foi predominante de cianobactérias (entre 5% a 100%) e diatomáceas (90% em JUS.01 e JUS.03); nos tributários de uma forma geral, criptofíceas (entre 10% a 97%), clorofíceas (entre 5% a 95%) e cianobactérias (entre 5% a 100%) foram as classes que mais contribuíram para o biovolume e nos lagos e canais as classes taxonômicas que mais contribuíram para o biovolume foram diatomáceas (entre 5% a 100%) e criptofíceas (entre 5% a 75%).

Considerando os três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais), no mês de janeiro de 2013 as menores riquezas de espécies foram registradas no rio Madeira (1 táxon/amostra; MON.04, MON.03, MON.01 e JUS.02) e a maior riqueza de espécies foi registrada em CUJ (31 táxons/amostra). As menores diversidades foram registradas em JAT II-S e JAT II-F (0,4 bit/ind) e a maior em CEA.01-S (3,6 bits/ind). A menor equitabilidade foi registrada em JAT II-S (16%) e as maiores em TEO-S, BEL-F e LC.01-F (100%).

A alfa diversidade, expressa como a média do número de espécies considerando o conjunto total dos dados, foi de 8 táxons. Considerando-se cada sistema, a alfa diversidade foi de 1 táxon no rio Madeira, 7 táxons nos tributários e 9 táxons nos lagos e canais; a beta diversidade, no conjunto total dos dados, foi de 32%, evidenciando relativamente elevado intercâmbio e homogeneidade na composição de espécies. Considerando cada sistema em separado as estações do rio Madeira apresentaram beta diversidade máxima (100%) evidenciando uma composição totalmente heterogênea. Esse resultado reflete a baixa riqueza de espécies (alfa-média de 1 táxon) aliada a exclusividade de espécie apresentada em cada estação amostral. As estações dos tributários e lagos e canais apresentaram uma composição mais heterogênea (45% e 66% respectivamente).

No mês de janeiro de 2013 apenas uma espécie foi considerada dominante no rio Madeira (*Synechocystis aquatilis*, cianobactéria), três espécies foram consideradas pouco abundantes (PA) nos tributários (*Synechococcus nidulans* e *Synechocystis aquatilis*, cianobactérias e *Chlorella minutíssima*, clorofíceas), duas espécies nos lagos e canais (*Aphanocapsa incerta* e *Synechocystis aquatilis*, cianobactérias).

Desconsiderando as amostras com total ausência de algas (MON.05, MON.02, JAC.01-F, CRC-S, TEO-M, TEO-F, JAT I-M e JAT I-F) e em um total de 48 amostras, não foram registradas cianobactérias em cinco amostras (CRC-F, CEA-F, MIG, LC.01-S e LC.03). A densidade de cianobactérias variou de 64 céls/mL em LC.01-M a 935.840 céls/mL em CUJ, sendo expressivamente maiores nesse lago se comparadas às demais estações de coleta no rio Madeira, tributários e demais lagos e canais.

Considerando-se uma mesma unidade de esforço, a riqueza de espécies esperada no mês de janeiro de 2013 foi maior nos tributários (96 espécies), seguida da riqueza registrada nos lagos e canais (66 espécies) e, por fim, do rio Madeira.

Considerando a biomassa das classes taxonômicas no rio Madeira, apenas cianobactérias não apresentaram diferença significativa entre as diferentes enchentes. As demais classes taxonômicas (criptofíceas, crisofíceas, diatomáceas, euglenóides, clorofíceas e zignematofíceas), apresentaram sempre maiores biomassas na enchente de 2010 (fase de pré-enchimento 2010) se comparadas às demais fases ( $p$  variou de  $<0,0001$  a  $0,03$ ).

A análise de componentes principal aplicada à biomassa do fitoplâncton, expressa em biovolume com o ambiente (variáveis físicas e químicas) nos períodos de enchente, nas diferentes fases do empreendimento (pré-enchimento 2010 e 2011, enchimento mensal-3, estabilização mensal-1 e operação) no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais, revelou que no rio Madeira as fases de um mesmo período hidrológico são marcadas e diferentes entre si, enquanto que nos tributários e lagos e canais não houve diferenciação entre as fases do empreendimento (amostras distribuídas heterogeneamente). De uma forma geral, as mudanças encontradas comparando-se os períodos de enchente nas diferentes fases do reservatório, podem estar relacionadas à dinâmica da comunidade fitoplanctônica, não podendo ainda ser atribuídas à implantação do reservatório. Para tanto, comparações de outros períodos hidrológicos são necessárias objetivando a busca por padrões.

## ▪ Zooplâncton

A comunidade zooplancônica da sub-bacia do rio Madeira na área de influência da UHE Santo Antônio do Madeira foi constituída principalmente por grupos de organismos verdadeiramente planctônicos, com destaque para os grupos Rotifera, Protozoa, Cladocera e Copepoda. Nos três sistemas avaliados (rio Madeira, tributários e lagos e canais) a importância dos principais grupos taxonômicos em relação ao componente riqueza para a diversidade do sistema regional foi em ordem decrescente Rotifera> Cladocera>Protozoa>Copepoda.

O inventário taxonômico dos invertebrados zooplancônicos no rio Madeira realizado no mês de janeiro de 2013 evidenciou uma comunidade de elevada riqueza de espécies, principalmente nos tributários, constituída em sua maioria por espécies de ampla distribuição geográfica. As variações na densidade numérica e riqueza de espécies foram mais pronunciadas nos tributários e lagos e canais do que no rio Madeira, evidenciando a maior estabilidade deste último.

Em geral houve elevada diversidade nos tributários e nos lagos e canais e baixa diversidade no rio Madeira. Os valores de equidade e dominância seguiram os mesmos padrões entre os pontos, porém, com valores bastante variados entre eles. Os grupos Copepoda e Rotifera contribuíram com maiores valores de biomassa nos sistemas amostrados (rio Madeira, tributários e lagos e canais).

A diversidade alfa foi elevada, mas foi diferenciada entre os sistemas, sendo: tributários > lagos e canais > rio Madeira. A diversidade beta (entre os sistemas) evidenciou que os sistemas rio Madeira e lagos e canais foram mais heterogêneos entre si e baixa heterogeneidade foi registrada entre os sistemas rio Madeira e os tributários. A diversidade gama se manteve relativamente elevada na região estudada, característica dos sistemas tropicais amazônicos.

A análise estatística adotada mostrou que o rio Madeira apresentou diferenças significativas da riqueza de espécies e diversidade entre os diferentes períodos de enchente, sendo essas variáveis maiores na enchente de 2011 se comparada às demais fases. Para os tributários registrou-se diferença significativa apenas para a riqueza de espécies, sendo que também foi maior na enchente de 2011. Os lagos e canais apresentaram diferenças significativas apenas para a diversidade e assim como para a riqueza de espécies e diversidade, no rio Madeira, os maiores valores foram registrados na enchente de 2011.



Para o rio Madeira, a Análise de Componentes Principais revelou que as fases de um mesmo período hidrológico são marcadas e diferentes entre si, enquanto que nos tributários e lagos e canais não houve diferenciação entre as fases do empreendimento, de forma que a distribuição foi heterogênea.

- Invertebrados Bentônicos

Nesse período de amostragem foi registrada a ocorrência de 27 táxons sendo 22 pertencentes à Classe Insecta. A diversidade de espécies, a riqueza taxonômica e a densidade numérica foram maiores nos Tributários, comparado com o rio Madeira. A densidade numérica média de invertebrados bentônicos foi de 195 ind.m<sup>-2</sup> no rio Madeira e de 859 ind.m<sup>-2</sup> no Tributários. Os Chironomidae foram os mais abundantes no rio Madeira e nos Tributários, sendo *Djalmabatista* sp e *Ablabesmyia gr.annulata* os táxons mais frequentes da fauna.

O Grupo Trófico Funcional mais abundante foi o dos coletores nos tributários e os predadores no Madeira. A elevada abundância de Ephemeroptera/Polymitarcidae - *Campsurus* nos Tributários indica uma boa qualidade ambiental (água e sedimento) nesse local. Contudo, foi registrada a ocorrência de Planorbidae (hospedeiros intermediários do *Schistosoma mansoni*, trematódeo causador da Esquistossomose) na estação TEO (Tributários), em janeiro de 2013.

Com relação à similaridade dos invertebrados bentônicos entre as estações de coleta foi evidenciada a formação de vários agrupamentos entre as estações do rio Madeira e as estações dos Tributários.

- Macrófitas Aquáticas

As comunidades de macrófitas aquáticas no rio Madeira, seus tributários e lagos e canais na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira apresentaram uma riqueza de espécies moderada, padrão semelhante observado em campanhas anteriores desde a fase de estabilização e pré-enchimento.

*Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata* foram as espécies que mais contribuíram em densidade numérica e biomassa, sendo dominantes na maioria dos sistemas amostrados, diminuindo o valor do índice de equitabilidade, assim como observado em amostragens anteriores. Ainda, a dominância da família Pontederiace nos sistemas avaliados contribuiu com os baixos valores da diversidade específica, além do grande número de espécies raras registradas.

As densidades das espécies *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* podem ser um alerta para a possibilidade de crescimento das populações de macrófitas flutuantes, o que precisa ser monitorado, pois caso ocorra deverá ser alvo de intervenção ainda na fase inicial da proliferação.

Em relação à quantificação de elementos-traço nas macrófitas aquáticas em janeiro de 2013, os elementos Cd, Hg, Pb, Cr e Sn ficaram abaixo do limite de quantificação do método. Os elementos Co e Ni não foram quantificados em todas as estações monitoradas. Para os elementos quantificados em todas as estações de monitoramento avaliadas observou-se que as concentrações se dispõem, em ordem decrescente, da seguinte maneira: Fe > Mn > Si > Ba > Al > Zn > Cu > Ni > Co.

### Monitoramento em tempo real

Os resultados obtidos pelo monitoramento em tempo real da qualidade da água não indicaram impactos significativos da construção da barragem na qualidade da água. As modificações mais evidentes estiveram relacionadas com o aumento das concentrações de oxigênio a jusante da barragem da UHE Santo Antônio, devido ao turbilhonamento da água pela passagem no vertedouro. A supersaturação em oxigênio não tem nenhum potencial impacto na biota do rio a jusante.

A turbidez apresentou valores elevados, uma vez que as medições foram feitas nos períodos de enchente e águas altas, quando ocorre as maiores concentrações de sólidos em suspensão no rio Madeira .. Em relação ao pH e ao oxigênio dissolvido, as medições estiveram de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

De maneira geral, as variáveis pH, condutividade elétrica, TDS, oxigênio dissolvido e turbidez foram superiores a jusante em relação a montante no período de estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio. Já a temperatura da água não apresentou variação entre as estações de montante e jusante da barragem da UHE Santo Antônio. Em todo o período avaliado, a variável oxigênio dissolvido foi significativamente maior a jusante.