

ÍNDICE

6 - Conclusões.....	1/9
---------------------	-----

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 nas campanhas de monitoramento do enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio no rio Madeira:

Variáveis abióticas

- Coluna d'água

Os perfis de temperatura das estações amostradas na calha central do rio Madeira mostraram que mesmo com a criação do reservatório houve manutenção da uniformidade térmica a montante. É comum que reservatórios de hidrelétrica apresentem estratificação térmica, mas o fato de o reservatório da UHE Santo Antônio funcionar a fio d'água promove constante renovação da água e dificulta a formação de estratificação térmica. Da mesma forma que não houve estratificação térmica, não foi observada variação vertical de oxigênio dissolvido nas estações da calha central do rio Madeira. As concentrações foram sempre superiores a 5 mg/L e houve um acréscimo das concentrações a jusante em virtude da passagem da água pelos vertedouros.

Dentre os tributários de montante, os igarapés Caripuna (CAR) e o rio Jaci-Paraná (JAC.01, JAC.02, JAC.03), não apresentaram estratificação térmica, ao contrário dos demais tributários situados a montante (igarapés Teotônio, Jatuarana I e Ceará e o rio Caracol). 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. Contudo, este evento não foi observado em todos os meses monitorados, o que mostra que a estratificação térmica não é permanente, uma vez que misturas da massa d'água podem ocorrer. Os mesmos tributários que apresentaram estratificação térmica apresentaram estratificação química de oxigênio, com exceção da estação CEA, no igarapé Ceará. A ocorrência de estratificação, tanto térmica como química, é comum e esperada, em virtude da formação do reservatório e, além da influência do período do ciclo hidrológico. Nos anos anteriores do Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas já foram observados eventos de estratificação. Nos lagos e canais, não houve estratificação térmica nem química ao longo do enchimento. Os resultados não apontaram nenhum tipo de efeito do enchimento nesses ambientes.

As estações situadas no rio Madeira mantiveram altos valores de sólidos e turbidez, e não houve indicativos de sedimentação de material sólido em função da formação do reservatório. Isso se deve provavelmente ao fato de que o reservatório tem um baixo tempo de residência, dificultando a sedimentação. As estações dos tributários TEO, JAT I e CEA apresentaram característica da água semelhante à do rio Madeira. Essas estações estão em braços do reservatório, que foram inundados por água do rio Madeira. As estações que caracterizam a água dos igarapés que antes banhavam essas estações são, respectivamente, TEO.01, JAT I.01 e CEA.01. Essas estações apresentam, geralmente, menores concentrações de oxigênio dissolvido. Isso ocorre tanto em função do maior tempo de residência da água como das características naturais desses ambientes, que apresentam água menos oxigenada que o rio Madeira.

No rio Madeira, a DBO não se alterou em função do enchimento do reservatório, com exceção da estação MON.03 em dezembro de 2011. Foi previsto pelo Modelo Prognóstico de Qualidade da Água a ocorrência de maior DBO em alguns estratos da coluna d'água do rio Madeira, para um curto espaço de tempo. Já nos tributários, a estação JAT I.01 apresentou elevação da DBO de outubro a janeiro, o que pode ter acontecido devido ao aumento do aporte de material orgânico em função do enchimento. Nos lagos e canais, a alta DBO encontrada na estação LC.02 em dezembro de 2011 não tem relação com o enchimento, e sim com características naturais desse ambiente.

Em relação aos íons, nos pontos amostrados no rio Madeira, em média, os cátions mais abundantes foram o cálcio (51%), o sódio (20%), o magnésio (20%) e o potássio (10%), ao passo que os ânions foram o sulfato (78%), bicarbonato (40%) e o cloreto (5%). Nos tributários, o potássio foi o cátion com maior abundância média (40%), seguido do cálcio (28%), do sódio (19%) e do magnésio (14%). Em relação aos ânions, o mais abundante foi o bicarbonato (57%), seguido pelo sulfato (37%) e pelo cloreto (6%). Já nos lagos e canais, o potássio foi o cátion com mais abundância média (31%), seguido do cálcio (27%), do sódio (24%) e do magnésio (19%).

No rio Madeira, nos tributários e nos lagos e canais a fração que mais contribuiu para o nitrogênio inorgânico dissolvido foi o nitrato (92%, 92% e 85%, respectivamente). 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 é um rio que carrega naturalmente uma elevada carga de fósforo, que é carregado para o rio em grandes proporções na parte andina da bacia de drenagem. O fósforo variou sazonalmente, o que está ligado à dinâmica do pulso de inundação e não ao efeito do represamento, já que as concentrações aumentaram em janeiro. Caso fosse esperado algum efeito do barramento, este seria a diminuição do fósforo em função de uma potencial perda por sedimentação. Todavia, a sedimentação no reservatório da UHE Santo Antônio é dificultada pelo baixo tempo de residência, já que a usina opera a fio d'água, aproveitando a própria vazão do rio para geração de eletricidade.

Os resultados obtidos durante o enchimento encaixaram-se dentro do padrão de variabilidade natural do rio Madeira, conforme os resultados obtidos durante a fase rio.

- Sedimento

Durante a fase de enchimento 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 permitem 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 concentração dos nutrientes essenciais, elementos-traço, matéria orgânica e das frações granulométricas pouco variaram no rio Madeira com o enchimento. Nos tributários, a maior amplitude de variação nessas variáveis é comum a estes ambientes, portanto apenas pequenas diferenças são registradas.

De maneira geral, as concentrações dos elementos avaliados no sedimento da área de influência da UHE Santo Antônio do rio Madeira ao longo do enchimento estão dentro da amplitude de variação registrada nas campanhas de monitoramento passadas, nos respectivos ambientes, estando de acordo também com os resultados encontrados nos estudos realizados para

elaboração do EIA RIMA. Esses resultados também estiveram abaixo dos limites preconizados pela Resolução CONAMA 344/2004, para sedimento Nível 2.

Dessa maneira, é possível concluir que o enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio não proporcionou alterações expressivas na composição química do sedimento no trecho médio do rio Madeira.

Variáveis bióticas

▪ Fitoplâncton

A riqueza taxonômica no mês de outubro foi de 150 táxons distribuídos em 10 classes taxonômicas e no mês de dezembro 149 táxons também distribuídos em 10 classes taxonômicas, com maior contribuição das clorofíceas em ambas as datas.

O número de espécies registrado variou de 31 a 8 espécies no rio Madeira e de 57 a 126 espécies nos tributários nos meses de outubro e dezembro, respectivamente. Nos lagos e canais a riqueza taxonômica aumentou em apenas uma espécie (61 e 62 espécies nos meses de outubro e dezembro, respectivamente).

No rio Madeira, no mês de outubro, foram registradas maiores contribuições de cianobactérias (20%) e clorofíceas (35%), se comparado ao mês de dezembro, onde esta contribuição foi de 12 e 25% respectivamente.

Nos tributários, a classe das clorofíceas foi a que mais contribuiu para a riqueza taxonômica nos meses de outubro e dezembro (44% e 48% respectivamente).

Nos lagos e canais, clorofíceas e cianobactéria foram as classes que mais contribuíram para a riqueza taxonômica no total dos dois meses de coleta, sendo a contribuição de clorofíceas de 44% no mês de outubro e de 32% no mês de dezembro. Já as cianobactérias contribuíram com 21% no mês de outubro e com 24% no mês de dezembro.

As densidades médias no mês de outubro variaram entre 1.316 ind/mL no rio Madeira e 4.104 ind/mL nos tributários, e no mês de dezembro entre 39 ind/mL no rio Madeira e 3.861 ind/mL nos lagos e canais.

No rio Madeira, densidade média menor foi observada em dezembro (39 ind/mL) se comparada a outubro (1.316 ind/mL).

Nos tributários assim como no rio Madeira, densidades médias menores foram observadas em dezembro, se comparadas a outubro. Clorofíceas e diatomáceas foram as classes que mais contribuíram para a densidade total nos dois meses de coleta, ultrapassando 60% de contribuição.

Nos lagos e canais, menores densidades foram encontradas em LC.01 fundo em ambos os meses de coleta (51 e 179 ind/mL, outubro e dezembro, respectivamente), tendo a densidade variado a partir destes valores a 12.940 ind/mL (CUJ, outubro) e 18.120 ind/mL (LC.02, dezembro);

Considerando os três compartimentos (rio Madeira, tributários e lagos e canais) a riqueza de espécies variou entre zero em MON.04, JUS.02, JUS.03 (dezembro) e JAT II (outubro) e 39 táxons/amostra em CRC sup (dezembro). Maiores e menores médias foram alcançadas no mês de dezembro 5 táxons/amostra no rio Madeira e 12 táxons/amostra nos tributários e lagos e canais.

A diversidade flutuou entre zero em TEO e JAT II (outubro) e em MON.04, MON.02, JUS.01, JUS.02, JUS.03 e JAT I superfície (dezembro) e 4,0 bits/ind em 10 amostras das 25 coletadas nos tributários (CAR fundo, JAC.03, CAR meio CRC fundo, JAC.01 superfície, JAC.01 meio, JAC.02 meio, JAC.02 superfície, CRC superfície, CRC meio) e em LC.01 superfície. Os maiores valores médios da diversidade foram alcançados nos tributários e lagos e canais em dezembro (3 bits/ind).

O intervalo da equitabilidade foi de zero em TEO, JAT II (outubro) e MON.04, MON.02, JUS.01, JUS.02, JUS.03, JAT I superfície (dezembro) a 100% em MON.05, MON.01, TEO.01-M, JAT I meio, JAT I fundo, LC.01 fundo e LC.03 (dezembro). Os maiores valores médios da equitabilidade ocorreram nos lagos e canais no mês de dezembro (82%).

A gama diversidade da comunidade fitoplanctônica em outubro e dezembro foi praticamente a mesma (150 e 149 táxons, respectivamente). O intercâmbio de espécies (beta diversidade) levando-se em conta os três sistemas no mês de outubro de 2011 ocorreu em níveis intermediários (58%). Considerando cada sistema em separado, as estações no rio Madeira tiveram uma composição mais homogênea (41%) se comparada aos tributários (52%) e lagos e canais (51%).

O intercâmbio de espécies (beta diversidade) levando-se em conta os três sistemas no mês de dezembro de 2011 foi relativamente alto (menor valor de beta diversidade - 25%). Considerando cada sistema em separado, as estações no rio Madeira tiveram uma composição totalmente heterogênea (100%), sem intercâmbio entre as espécies. Nos tributários a composição das espécies foi mais homogênea (36%) e relativamente heterogênea nos lagos e canais (60%).

Em outubro foi possível reconhecer que, à exceção de duas espécies no rio Madeira (*Aulacoseira granulata* var. *angustissima* e *Choricystis minor*) que foram pouco abundantes (PA), as demais espécies nos três compartimentos foram representadas por espécies raras.

Em dezembro, as populações fitoplanctônicas expressas em densidade foram, em sua maioria, representadas por espécies raras. Contudo quatro espécies no rio Madeira (*Pseudanabaena limnetica*, *Dinobryom bavaricum*, *Nitzschia palea* e *Scenedesmus ellipticus*), uma nos tributários (*Choricystis minor*) e duas nos lagos e canais (*Chrysophyceae 2* e *Choricystis minor*), foram consideradas pouco abundantes.

As densidades de cianobactérias foram expressivamente maiores em CUJ, se comparadas às demais estações de coleta no rio Madeira, tributários e demais lagos e canais. Considerando os dois meses de coleta e os três compartimentos a densidade de cianobactérias variou entre zero (38% do total de amostras) e 298.271 céls/mL em CUJ no mês de outubro;

Durante o mês de outubro de 2011, apenas na estação CUJ a densidade de cianobactérias superou o limite de 50.000 céls/mL, limite preconizado para águas de Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005. As espécies que ocorreram em maiores densidades foram *Cyanodictium imperfectum* (89.479 céls/mL) e *Microcystis wesenbergii* (86.038 céls/mL). Dentre essas espécies de cianobactérias, *Microcystis wesenbergii* é considerada potencialmente tóxica (Sant'Anna e Azevedo 2000). Os resultados obtidos para a concentração de cianotoxinas em outubro de 2011 foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado.

Em dezembro de 2011 também apenas na estação CUJ (205.670 céls/mL) a densidade de cianobactérias atingiu limites maiores preconizado para águas de Classe 2 (50.000 céls/mL). A maior contribuição para essa densidade foi da espécie *Aphanocapsa delicatissima* (140.394 céls/mL). Os resultados obtidos para a concentração de cianotoxinas em dezembro de 2011 foram inferiores ao limite de detecção do método analítico utilizado.

O lago Cujubim, que atingiu densidades de cianobactérias superiores ao estabelecido pela legislação, localiza-se a jusante da UHE Santo Antônio, não estando, portanto, sob influência direta do empreendimento, não conferindo risco de contaminar os pontos de captação de água, situados a montante deste lago, por dispersão de células de cianobactérias;

A riqueza esperada pela curva de rarefação padronizada mostra claramente diferenças significativas entre a riqueza de espécies nos diferentes compartimentos, para uma mesma densidade (não há sobreposição dos intervalos de confiança das três curvas), sendo maior nos lagos e canais, seguida da riqueza registrada nos tributários e por fim do rio Madeira;

As diferenças estatísticas na comunidade fitoplanctônica encontradas entre os meses de outubro de 2011 e dezembro de 2011, e que não foram encontradas nos meses de janeiro de 2011 e dezembro de 2011, tiveram, provavelmente, maior influência do pulso de inundação natural da bacia hidrográfica do que do enchimento do reservatório *per si*.

- Zooplâncton

O inventário taxonômico dos invertebrados zooplanctônicos no rio Madeira realizado nos meses de outubro e dezembro de 2011 evidenciou uma comunidade de elevada riqueza de espécies, principalmente nos lagos e canais, constituída em sua maioria por elementos de ampla distribuição geográfica, e com cerca de 10% de componentes endêmicos da região Amazônica.

A comunidade zooplanctônica da sub-bacia do rio Madeira na área de influência da UHE Santo Antônio no rio Madeira foi constituída principalmente por grupos de organismos verdadeiramente planctônicos, com destaque para os grupos Rotifera, Cladocera, Copepoda e Protozoa.

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.

Espacialmente, houve maior riqueza de espécies na porção a montante do que na porção a jusante da barragem da UHE Santo Antônio no rio Madeira. As variações na densidade numérica e riqueza de espécies foram mais pronunciadas no rio Madeira e nos tributários do que nos lagos e canais, evidenciando a maior estabilidade destes últimos. 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. A diversidade alfa é elevada, mas difere entre os sistemas, sendo: tributários > lagos e canais > rio Madeira. A diversidade beta (entre os sistemas) demonstrou que os sistemas rio Madeira e tributários foram mais heterogêneos entre si e baixa heterogeneidade foi registrada entre os sistemas rio Madeira e lagos e canais. A diversidade gama se manteve elevada, dentro da faixa de variação característica dos sistemas tropicais amazônicos, e sob a influência do pulso hidrológico.

A comunidade zooplânctônica se manteve com composição taxonômica, diversidade e densidades populacionais similares às registradas no período de monitoramento anterior ao enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio do Madeira.

Invertebrados Bentônicos

A riqueza de espécies e a diversidade dos organismos bentônicos foram maiores nos sedimentos dos tributários do que naqueles do rio Madeira. CAR, nos tributários, e JUS.02, no rio Madeira, registraram os maiores valores de riqueza taxonômica. Quanto à densidade de organismos, esta foi maior nos tributários do que no rio Madeira, notadamente no ponto JAT I. Os Chironomidae foram os mais representativos, numericamente da fauna bentônica, nos tributários em outubro de 2011 e no rio Madeira em dezembro de 2011. Para a diversidade de espécies, o maior valor de diversidade foi registrado na estação JUS.02, no rio Madeira e CAR, nos tributários. Em relação aos Grupos Tróficos Funcionais, o mais abundante foi o dos coletores.

A análise de Cluster revelou que espacialmente houve diferenciação das comunidades bentônicas dos pontos do rio Madeira e dos tributários, exceto MON.01 e CEA, MON.03 e JUS.02 e entre JUS.01 e CRC, que tiveram composição taxonômica semelhantes. A análise de CCA revelou que em outubro de 2011 os Oligochaeta associaram-se positivamente com as concentrações da maioria dos metais no sedimento, notadamente na estação JAC.01, enquanto que em dezembro de 2011 esses anelídeos associaram-se positivamente com a fração argila; já os Chironomidae em outubro de 2011 associaram-se positivamente com a fração de argila e as concentrações da maioria dos metais no sedimento em dezembro de 2011. A curva de rarefação indicou uma tendência assintótica, evidenciando que a maior riqueza dos tributários deverá permanecer mesmo que o esforço amostral seja aumentado.

Embora tenha havido diminuição na densidade e riqueza taxonômica no período de enchimento (outubro e dezembro de 2011), quando comparados com outras campanhas no mesmo período do Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, os resultados encontrados seguem o padrão encontrado para estes períodos do ciclo hidrológico e encaixaram-se dentro do espectro de variação sazonal natural do rio Madeira.

Macrófitas Aquáticas

O monitoramento da composição da comunidade de macrófitas na área de influência da UHE Santo Antônio do Madeira em outubro de 2011 e em dezembro de 2011 indicou a ocorrência de uma comunidade de baixa riqueza de espécies, a qual foi maior nos lagos e canais do que no rio Madeira. O lago São Miguel (MIG) em outubro de 2011 e o lago Cuniã (LC.01) em dezembro de 2011 foram os sistemas aquáticos com maiores riquezas entre os ecossistemas aquáticos monitorados, embora as riquezas sejam ainda baixas, de acordo com os critérios propostos no plano de trabalho deste monitoramento. Os estimadores de riqueza de espécies empregados revelam com base na tendência observada que a riqueza esperada para o sistema é mais elevada.

A biomassa da comunidade de macrófitas nas diversas estações monitoradas em toda a extensão do sistema foi baixa nestes períodos, quando comparada àquela registrada para outros rios brasileiros. Há indícios de alteração na riqueza de espécies no rio Madeira e seus tributários em função do enchimento do reservatório. Porém, há de se considerar que esse impacto era previsto, uma vez que o nível d'água é um dos fatores que mais influenciam na dinâmica da comunidade de macrófitas aquáticas. É necessário um monitoramento por um período de tempo mais longo para que este diagnóstico seja confirmado e sua magnitude dimensionada. Embora nem a densidade nem a biomassa registradas para as macrófitas no recém-criado reservatório da UHE Santo Antônio no rio Madeira sejam preocupantes, a redução no número de espécies pode ser um alerta para a possibilidade de crescimento exponencial das populações de macrófitas flutuantes, o que precisará ser monitorado, pois caso ocorra deverá ser alvo de intervenção ainda na fase inicial da proliferação.

Monitoramento em tempo real

Os resultados obtidos nos 454 dias de monitoramento em tempo real da qualidade da água indicam condições relativamente preservadas no rio Madeira e evidenciaram a forte influência do pulso hidrológico na qualidade da água, além de pequenas modificações em função do enchimento. As modificações em função do enchimento não foram negativas e 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 água do rio Madeira apresentou, no geral, altas temperaturas e altos valores de turbidez no período de outubro a dezembro de 2011, com pequena variação no período amostrado. Oscilações naturais bruscas na cota do rio Madeira exercem forte influência sobre a turbidez e condutividade elétrica, que apresentaram picos de variação relacionados aos períodos hidrológicos nas mesmas ocasiões dos pulsos de inundação do rio Madeira. Em relação ao pH e ao oxigênio dissolvido, as concentrações estiveram de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

As variáveis analisadas no período de enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, nas estações de amostragem do rio Madeira não apresentaram diferenças significativas entre as estações a montante e a jusante das obras da UHE Santo Antônio, que estejam associadas a impactos do enchimento.

Conclusão Geral

Considerando todas as variáveis analisadas durante as coletas já realizadas durante o enchimento, pode ser concluído que o espectro de variação encontrado durante essa fase do empreendimento foi semelhante ao registrado na fase rio.