



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA

**VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA
NO LEITO PRINCIPAL DO RIO AMAZONAS EM FRENTE À
CIDADE DE ÓBIDOS – PA.**

MIYUKI MITSUYA

SANTARÉM, PARÁ
JUNHO DE 2014.

MIYUKI MITSUYA

**VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA
NO LEITO PRINCIPAL DO RIO AMAZONAS EM FRENTE À
CIDADE DE ÓBIDOS – PA.**

ORIENTADOR: DOUTOR JOSÉ MAURO SOUSA DE MOURA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Ciências Ambientais. Linha de Pesquisa: Processos de interação da biosfera e atmosfera

**SANTARÉM, PARÁ
JUNHO DE 2014.**

VARIAÇÃO SAZONAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA NO LEITO PRINCIPAL DO RIO AMAZONAS EM FRENTE À CIDADE DE ÓBIDOS – PA.

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Ciências Ambientais. Linha de Pesquisa: Processos de interação da biosfera e atmosfera. Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em 30 de Junho de 2014.

Prof. Dr. Luís Reginaldo R. Rodrigues (UFOPA)

Coordenador do PPGRNA

Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores:

Prof. Dr. Marcos Sarmet Moreira de Barros Salomão (UENF)

Examinador 01

Prof. Dr. Keid Nolan Silva Sousa (UFOPA)

Examinador 02

Prof. Dr. Fabio Marques Aprile (UFOPA)

Examinador 03

Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura (UFOPA)

Orientador

**SANTARÉM, PARÁ
JUNHO DE 2014.**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao casal Wandson Ramos e Yukimi Mitsuya que desde o início me apoiaram, e ao meu sobrinho Takeshi por ser a alegria da família.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura, pela confiança e incentivo, refletindo assim em autonomia para o desenvolvimento deste trabalho. Pelos conselhos quando fui ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em Piracicaba-SP para treinamento e na viagem para os Estados Unidos;

Ao Dr. Robert Spencer e toda a equipe do Woods Hole Research Center (WHRC) em Falmouth-MA/EUA, pela parceria no Projeto: Amazon River Observatory e por realizarem as análises de nossas amostras. Agradeço ainda à atenção e paciência durante o mês de Abril/14, nas orientações e conhecimentos compartilhados comigo;

À Dr^a. Adelaine Michela e Silva Figueira, que ainda considero minha “mãe” na pesquisa, me instigando a melhorar;

Ao PPGRNA e à Capes pela concessão da bolsa de mestrado;

A todos os amigos do LBA, representados pelo Prof. Dr. Rodrigo da Silva que desde a graduação me acolheu no Treinamento & Educação (T&E) e acompanhou meu desenvolvimento acadêmico;

Aos bolsistas de iniciação científica que pude supervisionar: Gisllane Oliveira, Arlan Picanço, Gabriele Vidal, Rardiles Branches e Bruno Bota que seguiram minhas instruções e foram de enorme ajuda;

Aos colegas do PPGRNA/2012 pelas horas compartilhadas. Em especial: Alessandra Damasceno, Suellen Castro, Jéssica Lira, Adriano Silva, Eduardo Almeida. E agradecimento mais que especial à Safira (de Maria) Canto que se tornou minha irmã querida.

E principalmente à minha família que gradativamente me apoiou e incentivou durante os anos deste mestrado, em destaque aos meus pais que são a base da minha formação.

MITSUYA, Miyuki. **Variação sazonal na composição química da água no leito principal do Rio Amazonas em frente à cidade de Óbidos-PA**. 2014. 68p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Ciências Ambientais. Linha de Pesquisa: Processos de interação da biosfera e atmosfera – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2014.

RESUMO

Os rios são importantes vias de informação do que ocorre na bacia de drenagem. As águas interiores são processadoras importantes de carbono orgânico, pois transportam, mineralizam e enterram aproximadamente 2,7 Pg C por ano, um montante equivalente ao tamanho do sumidouro terrestre de carbono para as emissões antrópicas. Apesar da emergente valorização, há poucos dados sobre as conexões entre o ciclo de carbono terrestre e aquático atualmente em curso para o rio Amazonas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar o fluxo de carbono solo-oceano do Rio Amazonas que transita no ponto mais estreito de seu canal principal. Também foram estimadas as cargas de nitrogênio e nutrientes, observando suas variações em dois anos de ciclo hidrológico. Coletas mensais de água superficial do Rio Amazonas foram realizadas em frente à cidade de Óbidos-PA durante o período de 2012 a 2013. As amostras foram filtradas (filtro <0,45 µm) e congeladas até o envio para análise no Woods Hole Research Center (Falmouth, MA, USA). Para quantificar as concentrações das variáveis em estudo, foi utilizado um Shimadzu TOC-V em combinação com um TNM-1 para o carbono orgânico total e nitrogênio dissolvido total. A análise dos nutrientes foi realizada por detecção colorimétrica em um analisador Astoria®. E para estimar as cargas, foi utilizado o programa LOADEST (LOAD ESTimator). A carga total média transitada de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) foi de 29,85 TgC ano⁻¹, Nitrogênio Dissolvido Total (NOT) foi igual a 2,355 TgN ano⁻¹. O Fosfato (PO₄) foi quantificado com 0,08 TgP em ambos os anos. E o silicato (SiO₂) apresentou quantidade total média de 59,75 Tg ano⁻¹ para o biênio 2012-2013. Diferenças significativas (p<0,05) foram encontradas entre as estações da hidrografia do ponto de vista intra e inter anual para algumas das variáveis do estudo. Embora tenha sido observado o aumento do transporte de cargas como o COD e SiO₂, em comparação com valores já registrados, ressalta-se a importância de continuar as medições mensais para o estabelecimento de uma linha de base consistente e atual das cargas transitadas do Rio Amazonas para sua foz, pois há indicativos de que a contribuição da região Amazônica vem sendo subestimadas nos balanços globais.

Palavras-chave: Rio Amazonas, Carbono, Ciclo Hidrológico.

MITSUYA, Miyuki. **Variação sazonal na composição química da água no leito principal do Rio Amazonas em frente à cidade de Óbidos-PA**. 2014. 68p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Ciências Ambientais. Linha de Pesquisa: Processos de interação da biosfera e atmosfera – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2014.

ABSTRACT

Rivers are important sources of information about what occurs in the drainage basin. Inland waters are important processors of organic carbon, because they transport, mineralize and bury approximately 2,7 Pg C per year, an amount equivalent to the size of the terrestrial carbon sink for anthropogenic emissions. Despite the emerging recovery, there are few data on the connections between the cycle of terrestrial and aquatic carbon currently to the Amazon River. In this context, the aim of this study was to quantify land-ocean carbon flux of the Amazon River transiting at the narrowest point of its mainstem. In the perspective of estimating also the loads of Nitrogen and Total Dissolved nutrients, observing their variations in two years of hydrological cycle. Monthly samples of surface water from the Amazon River were held in front of the city of Óbidos-PA during the period 2012-2013. Samples were filtered (filter <0,45 μm) and frozen until the shipment to analysis in the Woods Hole Research Center (Falmouth, MA, USA). To quantify the concentrations of the studied variables, Shimadzu TOC-V was used in combination with a TNM-1 for total organic carbon and nitrogen dissolved total. Nutrient analysis was performed by colorimetric detection in an Astoria[®] Analyzer. And to estimate loads, the program LOADEST (LOAD ESTimator) was used. The average total charge over of dissolved organic carbon was 29,85 TgC ano⁻¹, Total Dissolved Nitrogen with 2,355 TgN ano⁻¹. The Phosphate (PO₄) was quantified with 0,08 TgP in both years. And Silicate (SiO₂) showed total average amount of 59,75 Tg ano⁻¹ for the biennium 2012-2013. Significant differences (p<0,05) were found between the stations of hydrograph from the point of view of intra and inter annual for some of the variables. Although the increase of freight transportation as the COD and SiO₂ has been observed, compared with values recorded, it emphasizes the importance of continuing the monthly measurements for the formation of a consistent baseline and current loads carried over from the Amazon River to its mouth, as there are indications that the contribution of the Amazon region has been underestimated in the overall balance.

Key-words: Amazon River, Carbon, Hydrological Cycle.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE TABELA.....	ix
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1 Revisão Bibliográfica	13
1.1.1 CAMREX, HiBAm e Projeto LBA	16
1.1.2 Observatório Rio Amazonas.....	19
1.2 Objetivos.....	20
1.2.1 Objetivo Geral	20
1.2.2 Objetivos Específicos	20
2. MATERIAL E MÉTODOS	20
2.1 Descrição da área de estudo.....	20
2.2 Coleta de dados.....	25
2.2.1 PROCEDIMENTO EM CAMPO.....	25
2.2.2 PROCEDIMENTO EM LABORATÓRIO (UFOPA/BRASIL).....	26
2.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS (WHRC/EUA).....	27
2.3 Análise dos dados	33
CAPÍTULO I.....	34
3. SÍNTESE INTEGRADORA.....	59
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS.....	66
ANEXO A: Normas para submissão de artigo para a Revista Geochimica Brasiliensis.....	66

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Fontes de Na, K, Mg e Ca em diferentes tipos de rios.	14
Tabela 2: Relação de alguns artigos publicados, período de coleta e principais variáveis analisadas.....	17
Tabela 3: Meses distribuídos de acordo com a variação da vazão (km ³ /s) em 2012 e 2013 segundo dados disponíveis pela Agência Nacional das Águas (ANA) para a cidade de Óbidos-PA.....	25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Distribuição espacial de descarga e fluxo de HCO_3^- no canal principal do rio Solimões/Amazonas e principais tributários, desde Vargem Grande – AM até Óbidos – PA. Fonte: Mortatti et al., 1994. 15
- Figura 2: Delimitação da Bacia Amazônica (linha amarela). Porção da área que converge ao ponto mais estreito do canal principal em frente à cidade de Óbidos-PA (em azul claro: aproximadamente 69% da área total da bacia). 21
- Figura 3: Registro de precipitação total mensal média durante 1980-2013 da estação meteorológica de Óbidos-PA, dados disponíveis no INMET. 22
- Figura 4: Registro de precipitação total mensal média durante 2012-2013 da estação meteorológica de Óbidos-PA, dados disponíveis no INMET. 23
- Figura 5: Relação entre a precipitação total referente aos anos 2012 e 2013 (INMET) em conjunto com medidas de vazão (disponíveis na Agência Nacional das Águas – ANA), em frente à cidade de Óbidos-PA. 24
- Figura 6: Esquema dos procedimentos para armazenagem. 26
- Figura 7: A) Analisador Shimadzu TOC-V com carrossel para padrões e amostras, B) Sistema interno onde é realizada a medição de COD e C) Visualização do TNM-1 acoplado ao TOC-V. Fonte: Arquivo pessoal. 27
- Figura 8: Representação esquemática do sistema HTCO com medição simultânea de COD e NDT. A: amostra; B: válvula de 4-portas; C: gás de arraste; D: catalisador platina alumínio; E: unidade de combustão; F: condensador; G: aprisionador de água; H: câmara de reação do carbono inorgânico; I: desumidificador; J: Depurador de halogênio; K: detector NDIR; L: Depurador de CO_2 ; M: desumidificador de gás; N: câmara de reação; O: gerador de ozônio; P: tubo fotomultiplicador e refrigerador; Q: detector de quimioluminescência do Nitrogênio; R: interface do computador (Shimadzu, 1999). 28
- Figura 9: Analisador Astoria com Fluxo de Ar-segmentado e leitura espectrofotométrica. Fonte: Arquivo pessoal. 30
- Figura 10: Modelos matemáticos de regressão do LOADEST. Fonte: Runkel *et al.*, 2004. 33

1. INTRODUÇÃO GERAL

Segundo Nobre (2001) nota-se que a projeção de aumento de temperatura global segue a mesma tendência de aumento de temperatura à superfície devido ao desmatamento. A expansão e intensificação do setor agrícola, tanto quanto atividades agropecuárias, têm repercussões nos principais ciclos da matéria: o do carbono e do nitrogênio (LIMA, 2002), e no ciclo hidrológico (FEARNSIDE, 2005).

Na visão de Nobre *et al.* (2007) sobre as projeções para futuros cenários, é muito provável que haverá aumento na quantidade de precipitação nas altas latitudes, enquanto que para a maior parte das regiões continentais subtropicais ocorrerá redução de pluviosidade. Tais autores também citam estudos que identificaram anomalias negativas de precipitação no centro, norte e leste da Amazônia com associação a eventos de El Niño.

De acordo Machado (2005) a tríade: conservação das florestas tropicais, atendimento às necessidades das populações humanas e o almejado crescimento econômico, remetem à questões de grande preocupação mundial que unem diferentes grupos de pesquisa, segmentos sociais e governamentais, ao longo das últimas décadas. É neste sentido que tais inquietações justificam o atual enfoque atribuído à adoção de projetos de desenvolvimento sustentável como indicadores de uma possível conservação dos recursos naturais (BELLEN, 2007). Historicamente, é justamente nas áreas intertropicais que se encontram os países onde a relação natureza-sociedade apresenta elevados níveis de degradação (MACHADO, 2005).

Neste contexto, Fearnside (2006) discute que a história do desenvolvimento amazônico está associada, principalmente, com o processo de expansão territorial impulsionado por programas governamentais que subsidiaram a instalação e ocupação populacional. É possível perceber que uma característica do processo de derrubada e queimada das áreas de floresta densa na Amazônia refere-se à simbiose que existe entre madeireiros e pequenos agricultores (HOMMA *et al.*, 1998).

Com uma visão semelhante, Serrão *et al.* (1998) ressaltam que o trinômio: extração madeireira, agricultura migratória e operações pecuárias, se unem em um processo dinâmico em função da abertura de fronteiras com desmatamento de floresta primária. Preliminarmente, Homma *et al.* (1993) observaram que grande parcela das áreas desmatadas e queimadas na Amazônia são estoque de vegetação secundária, decorrentes de desmatamentos de floresta densa de anos anteriores.

Em um relatório sobre as estimativas de emissão de CO₂ por desmatamento na Amazônia publicado em 2009, os autores lembram que o Governo Federal anunciou compromisso voluntário de reduzir de 36,1% a 38,9% suas emissões de gases causadores do efeito estufa até 2020. Anteriormente, já havia sido anunciado o compromisso de reduzir em 80% o desmatamento da Amazônia até 2020, como decorrência direta do Plano Nacional de Mudanças Climáticas (AGUIAR *et al.*, 2009). Os resultados deste relatório mostram a importância de considerar as diferenças intra-regionais, tanto para estimar as emissões, quanto para nortear ações governamentais visando à redução das emissões (AGUIAR *et al.*, 2009).

Perdas de carbono são previstas como resultado de pressões locais, incluindo mudança no uso dos solos (desmatamento, por exemplo) e mudanças globais decorrentes de aumento da temperatura e mudanças nos padrões de precipitação que induzem a redistribuições inevitáveis de biomas estabelecidos, afetam a estabilidade do C do solo e aumentam a intensidade de eventos de tempestade e, assim, a erosão e a deposição de C e minerais para e dentre os rios.

Com base nestas informações e associado à definição de bacia hidrográfica, os rios são importantes vias de informação do que ocorre na área drenada. As águas interiores são processadoras importantes de carbono orgânico, pois transportam, mineralizam e enterram aproximadamente 2,7 Pg C por ano, um montante equivalente ao tamanho do sumidouro terrestre de C para as emissões antrópicas (BATTIN *et al.*, 2009). No entanto, os fluxos de C em águas interiores têm sido negligenciados em análises de escala mundial.

Alterações nos fluxos fluviais de C também podem levar à transferência de estoques de C terrestre da Bacia Amazônica para a atmosfera provocando o aquecimento climático e concomitantemente perturbando o funcionamento do ecossistema amazônico. Desta forma, compreender a dinâmica do carbono orgânico por meio da sua quantificação no canal principal da maior descarga fluvial e com resolução temporal mensal, formando assim uma linha de base consistente deste constituinte transportado para o Oceano, é muito importante.

1.1 Revisão Bibliográfica

Por definição, bacia hidrográfica é uma área do terreno limitada por divisores – cristas ou elevações do terreno por onde toda a água da chuva escoar, para um ou outro lado – que vertem toda a sua água para a rede de rios que a drenam (PRESS *et al.*, 2006)

Em relação aos corpos d'água, é importante ressaltar que existem condições naturais que influenciam a qualidade da água, tais como a geologia, o clima, vegetação, morfologia e localização (VIGIL, 2003) e determinam também o tamanho e o fluxo dos rios (DEVOL e HEDGES, 2001). Tais condições favoreceram para a formação e atualmente indicam as características do Rio Amazonas.

O Rio Amazonas é produto do escoamento da maior bacia de drenagem do mundo: a Bacia Amazônica, que circunscreve aproximadamente 7.000.000 de km² ou cerca de 2/5 da América do Sul (Bolívia, Brasil, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela). Sendo a maior extensão localizada nos domínios do Brasil, aproximadamente 4.800.000 km², correspondente a 60% do território nacional (ESTEVEZ, 1993). Possui padrão de drenagem dendrítica (do grego *dendron*, que significa “árvore”) típico de superfícies de substrato rochoso uniforme e caracterizada pela ramificação similar aos galhos de uma árvore (PRESS *et al.*, 2006)

Para obter um panorama de sua grandeza, em nível de comparação, a soma dos 20 maiores rios do Planeta transportam cerca de 40% do escoamento continental para os oceanos (ANDREWS *et al.*, 2004), o Rio Amazonas sozinho, é responsável por 20% escoado para o Oceano Atlântico e maior contribuinte de descarga de sólidos (MARTINELLI *et al.*, 1989), ou seja, os outros 19 rios correspondem aos outros 20% de toda água doce mundial lançada nos oceanos (ANDREWS *et al.*, 2004). Continuando esta relação comparativa, o total volumétrico na foz do Amazonas é cinco vezes mais que o Rio Congo na África, o segundo do mundo que mais debita água doce (DEVOL e HEDGES, 2001).

A composição da água fluvial é uma função complexa de diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio rio (HEDGES *et al.*, 1986). Um dos primeiros trabalhos publicados no sentido de compreender os mecanismos que controlam a composição química das águas no planeta, foi publicado por Gibbs (1970) com base em dados de água pluviométrica, fluviométrica, de lagos e de oceanos.

Estes mecanismos foram classificados como: precipitação atmosférica, rocha dominante e processo de evaporação-cristalização, sendo os três principais fatores que controlam a composição dos sais dissolvidos (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+}) em águas que circulam em diferentes vias/reservatórios mundiais (GIBBS, 1970).

Segundo esta classificação, os mecanismos que influenciam na composição química do Rio Amazonas são a precipitação atmosférica e as características da rocha dominante. Uma comparação apresentada por Gibbs (1970) entre dois tributários do Amazonas, o Ucayali¹ e o Tefé (afluente do Rio Solimões, pela margem direita), pode ser visualizada na tabela 1 que exemplifica também o processo regente em rio de região de clima quente e árido: Rio Grande (América do Norte, divisa entre Estados Unidos e México).

Tabela 1: Fontes de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} em diferentes tipos de rios.

Rio	Contribuição da precipitação (%)	Contribuição da rocha (%)
<i>Rio tipo dominância da chuva</i>		
Rio Tefé	81	19
<i>Rio tipo dominância da rocha</i>		
Ucayali	4.8	95.2
<i>Rio tipo evaporação-cristalização</i>		
Rio Grande	0.1	99.9

Fonte: Adaptado de GIBBS, 1970.

Mortattiet al. (1994) ressalta ainda que a bacia Amazônica é caracterizada pela diversidade de formações geológicas, sendo as principais zonas morfoestruturais: os escudos pré-Cambrianos com rochas ígneas e metamórficas (ao norte e ao sul); a Cordilheira dos Andes com predominância de rochas sedimentares (a leste) e a Depressão Amazônica com depósitos fluviais pleistocênicos para o centro da bacia (STALLARD e EDMOND, 1983).

E como observado na figura 1, o incremento na evolução do transporte de bicarbonato (HCO_3^-) pode ser comparado à do escoamento total e desta forma: 68% do fluxo total de HCO_3^- , calculado para a estação de Óbidos, têm origem na parte superior da bacia que representa uma região que supre apenas 30% do total de descarga Amazônica (MORTATTI *et al.*, 1994).

¹ Nomenclatura do Amazonas em território peruano, quando entra no Brasil é chamado de Rio Solimões e após a confluência deste com o Rio Negro, pela margem esquerda, recebe enfim o nome Rio Amazonas até sua foz no Oceano Atlântico.

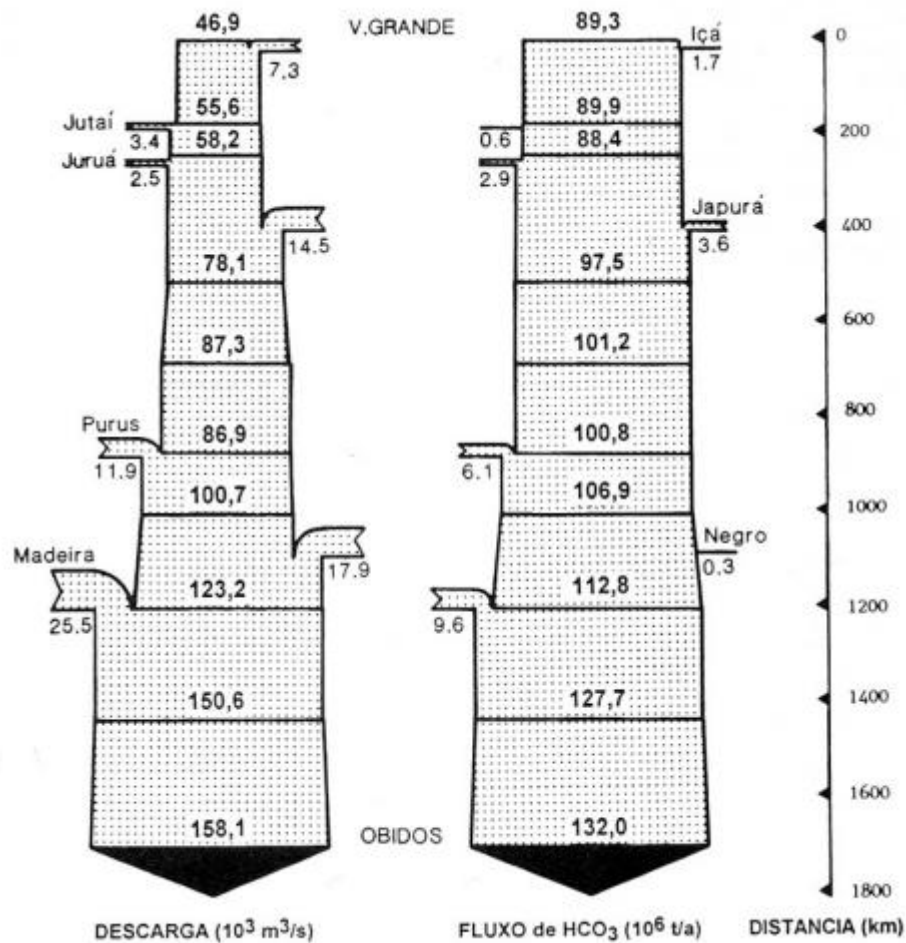


Figura 1: Distribuição espacial de descarga e fluxo de HCO_3^- no canal principal do rio Solimões/Amazonas e principais tributários, desde Vargem Grande – AM até Óbidos – PA. Fonte: Mortatti et al., 1994.

Em termos de descarga, Richey *et al.* (1986) quantificaram a vazão ao longo do canal principal Solimões/Amazonas entre o percurso de aproximadamente 1800 Km, definido pela cidade de Vargem Grande – AM (variando entre $31.700 \text{ m}^3/\text{s}$ e $69.700 \text{ m}^3/\text{s}$) e pela cidade de Óbidos – PA ($91.700 \text{ m}^3/\text{s}$ a $203.000 \text{ m}^3/\text{s}$, tais valores representam as médias no período seco e chuvoso, respectivamente). Caso seja considerada a média de $200.000 \text{ m}^3/\text{s}$, durante um ano a vazão é de aproximadamente $6 \times 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ (VICTORIA et al., 1991), podendo sofrer variações devido a eventos de grande escala como El Niño e La Niña (MARENGO e NOBRE, 2001).

Wissmar *et al.* (1981) estudaram a atividade fotossintética e de respiração da comunidade planctônica em diferentes águas superficiais na Amazônia, indicando que eventos de larga escala podem ter um grande impacto sobre estes seres que representam a base da teia energética (FORSBERG *et al.*, 1992). Um descontrole da descarga de carbono no ambiente

resulta na remoção de oxigênio da água, ameaçando a saúde dos peixes e outras espécies aquáticas (VIGIL, 2003).

Os processos físico-químicos também podem ser controlados em função de variáveis como pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido (QUAY *et al.*, 1995), carbono dissolvido e sedimentos (RICHEY *et al.*, 1986; 1990; DUNNE *et al.*, 1998; AMORIM *et al.*, 2009), pressão parcial do carbono ($p\text{CO}_2$) (RAYMOND e COLE, 2001; RICHEY, 2004; SOUSA *et al.*, 2008) e elementos traços (SEYLER e BOAVENTURA, 2001; KOUMROUYAN e SANTANA, 2008).

1.1.1 CAMREX, HiBAm e Projeto LBA

A importância do ecossistema amazônico ultrapassa sua magnitude dimensional. Justificando assim, a implantação de inúmeros projetos de pesquisa de âmbito global que, dentre vários objetivos, foram ativados principalmente com a perspectiva de quantificar as contribuições da Amazônia no balanço global do carbono.

É importante ressaltar que os ciclos biogeoquímicos na bacia amazônica estão conectados aos ciclos globais, através das trocas gasosas com a atmosfera (DEVOL *et al.*, 1990; MORTATTI *et al.*, 1994; ALMEIDA *et al.*, 2001; RICHEY *et al.*, 2002; MAYORGA *et al.*, 2005; RASERA *et al.*, 2008; RICHEY *et al.*, 2009; REMINGTON *et al.*, 2011) e das descargas fluviais (MARTINELLI *et al.* 1989; RICHEY *et al.*, 1989; CALLÉDE *et al.*, 1996) ao Oceano Atlântico (MCCLAIN, 2001).

Assim sendo, com um enfoque mais voltado para os corpos d'água, os projetos CAMREX (Carbon in the Amazon River Experiment) e HiBAm (Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica) foram iniciativas a fim de obter uma linha de base a respeito da qualidade e quantidade dos recursos hídricos da região amazônica.

Com uma proposta interdisciplinar o CAMREX, conduzido no período entre 1982-1991 com parceria entre instituições brasileiras e dos Estados Unidos, e contribuição do LBA (Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in the Amazon) na região (suporte logístico e humano, com inserção de bolsistas nas campanhas de coleta) teve como objetivo definir o balanço de massa e obter medidas diretas dos processos que controlam a distribuição elementos bioativos (C, N, P e O) no canal principal do Rio Amazonas (NASA, 2012). Este experimento contribuiu com inúmeras publicações e teses acadêmicas, contabilizando mais de 150 e 60, respectivamente (RICHEY, 2009). Assim fortalecendo substancialmente o conhecimento sobre a hidrologia em ecossistemas tropicais (MCCAIN, 2001).

Entre os vários estudos realizados, o grupo de pesquisadores do CAMREX observou que há indicativos de que efeitos na mudança do uso da terra também podem ser observados na biogeoquímica dos corpos d'água, com disrupção da estrutura e funcionamento dos ecossistemas fluviais detectáveis na micro e meso escala, e alterações significativas na ciclagem de nutrientes (KRUSCHE *et al.*, 2005) e principalmente que o papel dos rios amazônicos tem grande importância no ciclo do carbono regional.

O HiBAm, projeto de cooperação internacional entre França e Brasil, realizou estudos vinculados ao balanço dos fluxos no transporte de elementos dissolvidos e sob forma particulado nos rios da Amazônia, tendo direcionado um enfoque importante para as várzeas da região (IRD/CNPq, 2006).

Porém, embora os estudos realizados no âmbito do projeto CAMREX ou HiBAm sejam concisos, o método de amostragem era realizado através de campanhas periódicas de acordo com o fluxo hidrográfico (subida das águas, águas altas, decida das águas e/ou águas baixas), ou seja, desconsiderada a variabilidade temporal de curto prazo. A tabela 2 relaciona alguns artigos publicados no âmbito do projeto CAMREX.

Tabela 2: Relação de alguns artigos publicados, período de coleta e principais variáveis analisadas.

Artigo	Local de coleta	Período	Variáveis
Richey <i>et al.</i> , 1980	Transecto Manaus/Brasil – Iquitos/Peru	Fev-Mar/1977	Fluxo de carbono orgânico e descarga do rio.
	Transecto Iquitos/Peru – Belém/Brasil	Mai-Jun/1977	
Richey <i>et al.</i> , 1986	Rio Solimões/Amazonas e seus principais tributários	8 campanhas entre Abr/1982-Ago/1984	Sedimento em suspensão e descarga.
Devol <i>et al.</i> , 1987	Vargem Grande-AM a Óbidos-PA	Fev-Mar/1984	Oxigênio dissolvido, ²²² Rn, pCO ₂ , alcalinidade, taxa de respiração e descarga.
Richey <i>et al.</i> , 1990	Rio Solimões/Amazonas e seus principais tributários	8 campanhas entre Abr/1982-Ago/1984	Sedimento fino e grosso, CID, COD e TOC.
Quay <i>et al.</i> , 1995	Vargem Grande-AM a Óbidos-PA	Dez/1988, Abr/1990 e Ago/1991	¹⁸ O, oxigênio dissolvido, taxa de respiração e fotossíntese.
Aufdenkampe <i>et al.</i> , 2001	Próximo aos Andes	Out/1996	Matéria orgânica particulada e dissolvida.
Mayorga <i>et al.</i> , 2005	Rio Solimões/Amazonas e seus principais tributários e bacia Ji-Paraná	Campanhas entre 1991 a 2003	Matéria orgânica e efluxo de CO ₂ .
Alin <i>et al.</i> , 2010	Bacia do rio Amazonas (Brasil) e Bacia do rio Mekong (Sudeste Asiático)	Campanhas entre 2004 a 2007 (Brasil) e Set-Out/2004 e Set/2005 (Sudeste Asiático)	Fluxo de CO ₂ , velocidade de troca de gás e pressão parcial do CO ₂ .

A dificuldade em desenvolver pesquisa que descreva representativamente a variabilidade espacial e temporal, nos rios da Amazônia, é causada principalmente pelas limitações quanto aos recursos técnicos e humanos. Os maiores centros de pesquisa na Amazônia estão localizados nas capitais: Manaus-AM e Belém-PA, sendo que a distância entre estes dois locais é de aproximadamente 1.295 km. Por conveniência, os estudos tendem a ser realizados nas proximidades destes centros de pesquisa prejudicando assim o entendimento da variabilidade espacial do que acontece em regiões mais periféricas a estes centros considerando suas alterações ao longo do tempo.

Este problema também foi relatado em Richey *et al.* (2009) como sendo o primeiro problema no entendimento da dinâmica fluvial do carbono em escalas mais amplas. Assim, determinar as distribuições espaciais e temporais em uma variedade de ambientes na vasta e remota natureza da Bacia Amazônica, sem uma logística para se estabelecer uma rede ampla e representativa de amostragem é consideravelmente um processo árduo.

Com este pensamento, foi proposta uma rede integrada de amostragem Rede Beija Rio, à qual o projeto LBA também participa. Durante as primeiras fases do projeto LBA a preocupação e/ou investigação inicial levou a estudar o ciclo do carbono em ambiente terrestre (floresta), como Batistella *et al.* (2009) cita, originalmente possuía duas questões essenciais: “(1) Como a Amazônia funciona quanto entidade regional? (2) como as mudanças climáticas e no uso da terra afetam as funções físicas, químicas e biológicas da Amazônia, incluindo a sustentabilidade da região e sua influência no clima regional e global?”

Questões que embasaram mais de 1000 artigos em periódicos especializados e a partir de resultados integrados, desde 1998, têm “permitido entender alguns mecanismos que governam as interações da floresta com a atmosfera, tanto em condições naturais (da floresta intacta) como alteradas” (LBA, 2012) sendo que uma parte das pesquisas difundidas foi realizada na região central da Bacia Amazônica, por meio de uma base de pesquisa localizada em Santarém-PA (cidade situada entre Manaus-AM e Belém-PA).

Com a instalação da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) com sede principal em Santarém-PA, que é outra unidade que deve fornecer e fortalecer o conhecimento nesta região da Amazônia, estas limitações começam a ser reduzidas e mais pesquisas de longa duração poderão ser realizadas nesta região. Tais pesquisas devem dar importância para o monitoramento de possíveis alterações na composição química da água do rio Amazonas, fornecendo assim informações sobre as perturbações provocadas em sua bacia de drenagem.

1.1.2 Observatório Rio Amazonas

Levando a dinâmica destes processos em consideração e, mediante a pressão antropogênica com projeções imediatistas de desenvolvimento, mostra-se necessário a consolidação de dados sobre o comportamento atual do carbono e sua tendência para anos posteriores, a fim de direcionar a tomada de decisões para o almejado desenvolvimento sustentável na Amazônia.

Assim, o projeto Amazon River Observatory (Observatório do Rio Amazonas) ao qual este presente trabalho está vinculado e integra o grande projeto do centro de pesquisa WHRC (Woods Hole Research Center) intitulado “Global Rivers Observatory”, tem como proposta melhorar o entendimento de como as mudanças climáticas, o desmatamento e outros distúrbios estão impactando a química dos rios e a conexão solo-oceano, pois são informações vitais pra predizer o comportamento futuro das águas, ao longo da transição continente-oceano, e dos ciclos biogeoquímicos (WHRC, 2012).

Em 2012, o WHRC recebeu o reconhecimento como a terceira instituição no mundo com maior influência dentre os grupos e/ou organizações que atuam no campo de estudos sobre mudanças climáticas. Este ranking foi o primeiro desenvolvido pela ICCG (International Center for Climate Governance) com uma metodologia baseada em 5 indicadores. Veja mais em: http://www.whrc.org/news/pressroom/PR-2013-ICCG_Think_Tank.html ou no link do relatório oficial do ICCG: <http://www.thinktankmap.org/FilePagineStatiche/Report%202012%20ICCG%20Climate%20Think%20Tank%20Ranking.pdf>

Além das técnicas de datação por carbono, o grupo do WHRC desenvolve protocolos extensos para abordar o destino microbial e fotoquímico do Carbono Orgânico em águas interiores. Estas técnicas foram desenvolvidas em outros grandes rios mundiais do Ártico (Yukon, Mackenzie, Ob', Lena, Yenisey, Kolyma) e em rios tropicais e subtropicais (Congo, Ganges-Brahmaputra). As técnicas desenvolvidas pelo Grupo de Woods Hole estão sendo repassadas para pesquisadores e estudantes envolvidos no projeto, aumentando a capacidade do Brasil de avaliar a vulnerabilidade das florestas tropicais e águas interiores às mudanças globais. Assim, a colaboração entre UFOPA, Woods Hole Research Center e Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) permitirá o avanço do conhecimento sobre os efeitos das mudanças globais com foco na dinâmica dos rios amazônicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Quantificar o fluxo de carbono solo-oceano do Rio Amazonas que transita no ponto mais estreito de seu canal principal, na cidade de Óbidos-PA, para estabelecer uma linha de base consistente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar o fluxo de Carbono Orgânico Dissolvido (COD) em frente à cidade de Óbidos-PA no curso principal do Rio Amazonas;
- Estimar a carga de Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD), NH_4^+ , NO_x ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$), PO_4 e SiO_2 transitado durante 2012 e 2013;
- Comparar a variação inter e intra-anuais, no período 2012-2013, das variáveis em estudo de acordo com o ciclo das águas na região durante estes dois anos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área de estudo

A cidade de Óbidos-PA está localizada geograficamente nas coordenadas $1^\circ 55' 4''$ S e $55^\circ 31' 4''$ W, integra a mesorregião do Baixo Amazonas e está a 37m de altitude (acima do nível médio do mar).

É um município histórico, fundado por volta de 1697 e desde a instalação do Forte Pauxis, Óbidos-PA é reconhecido por ser um ponto estratégico para a fiscalização das embarcações que por ali navegam. Isto se deve principalmente por ser o local onde o Rio Amazonas se estreita (aproximadamente 1.500 m de uma margem à outra no período de seca, podendo atingir profundidade superior a 100 m), e por tais fatores é também nomeado como Garganta do Rio Amazonas ou Estreito de Óbidos.

A condição de afunilamento do Rio Amazonas em frente à cidade contribui para que seja um ponto de coleta estratégico em termos científicos dos grandes projetos, concluídos e/ou em andamento. Levando em consideração a definição de bacia hidrográfica e que há convergência dos fluxos tributários à montante de Óbidos que deságuam no canal principal, a área de integração e influência acima do ponto de coleta é representada na figura 2, em que a delimitação da Bacia Amazônica drenada até Óbidos equivale a aproximadamente 69% de toda a bacia: $4,67 \times 10^6 \text{ Km}^2$.



Figura 2: Delimitação da Bacia Amazônica (linha amarela). Porção da área que converge ao ponto mais estreito do canal principal em frente à cidade de Óbidos-PA (em azul claro: aproximadamente 69% da área total da bacia).

Segundo registro de 1980 a 2013 (Figura 3), disponível pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), o regime pluviométrico na região é bem definido. O período chuvoso, com precipitação total média acima de 100 mm, estende-se de Dezembro a Maio e o intervalo de meses com diminuição das chuvas entre Junho e Novembro, caracteriza o período menos chuvoso na região.

De acordo com a classificação Köppen, Óbidos-PA situa-se em uma área de clima Am (ou Tropical Úmido) com precipitação excessiva durante alguns meses, o que compensa a ocorrência de um ou dois meses com precipitação média inferior a 60 mm.

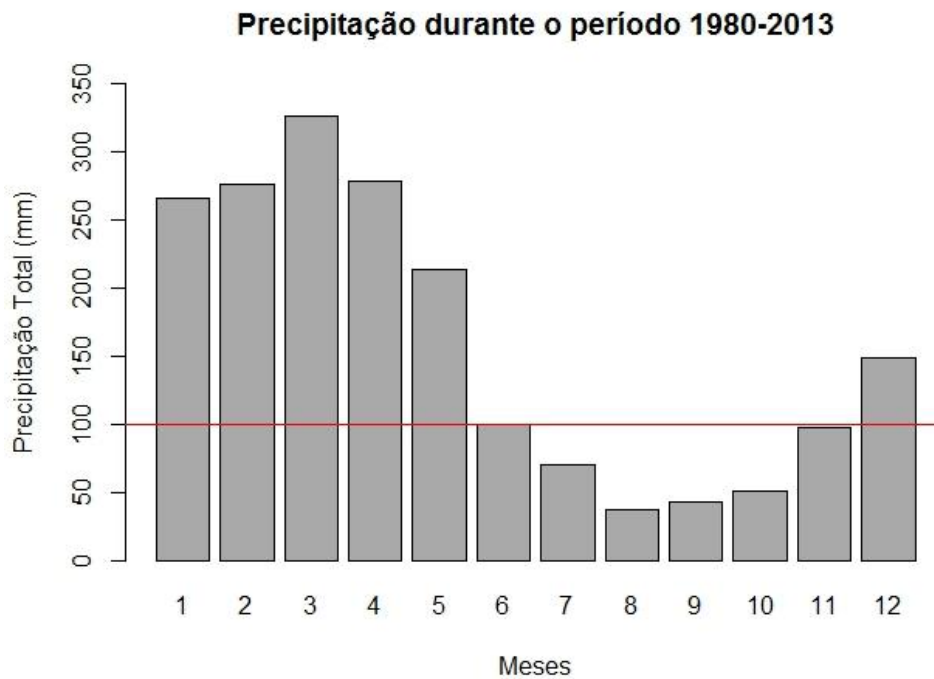


Figura 3: Registro de precipitação total mensal média durante 1980-2013 da estação meteorológica de Óbidos-PA, dados disponíveis no INMET.

Separando o biênio (2012-2013), o qual os dados desta pesquisa estão relacionados, o perfil de precipitação total mensal médio (figura 4) mostra que o período chuvoso estendeu-se de Novembro à Maio, sendo o mês de Fevereiro com maior precipitação total 395,1 mm (média de Fevereiro para os anos 2012-2013, com 452,1 e 338,1 mm, respectivamente). E o período menos chuvoso limitou-se entre os meses de Junho à Outubro. O índice médio de precipitação total anual para o mesmo período foi de 2.142,7 mm. Apresentando média anual de temperatura média compensada do ar de 27,3 °C e média mensal de umidade relativa do ar variando entre a máxima de 88% e mínima de 74%, sendo valores característicos da região Amazônica.

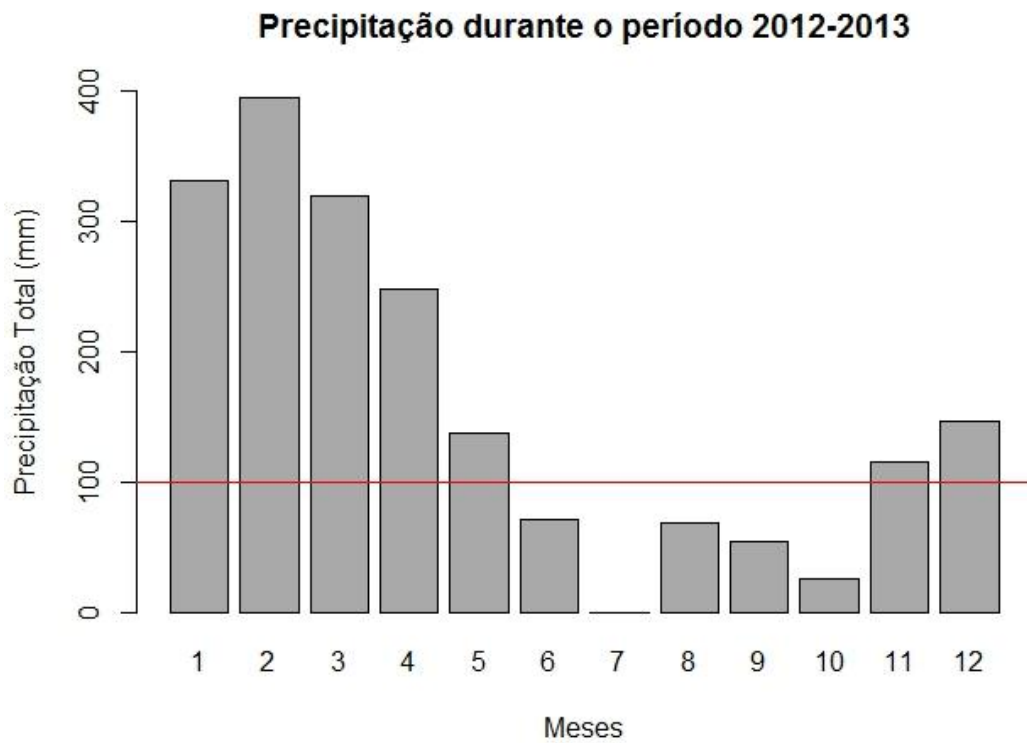


Figura 4: Registro de precipitação total mensal média durante 2012-2013 da estação meteorológica de Óbidos-PA, dados disponíveis no INMET.

Embora em uma análise conjunta do padrão de precipitação total em Óbidos seja semelhante ao período da série histórica de 1980-2013, isolado, é possível perceber que o ano de 2012 apresentou uma seca prolongada de Maio à Novembro, consequência de apenas 1.656 mm de quantidade total pluviométrica.

No entanto, em 2013 o total precipitado foi de 2.394 mm, ou seja, aproximadamente 31% a mais que 2012 e com meses do período menos chuvoso ultrapassando o nível de 100 mm (Agosto com 127,4 mm e Novembro com 165,8 mm). A figura 5 relaciona a sequência mensal de 2012-2013 com dados de vazão média.

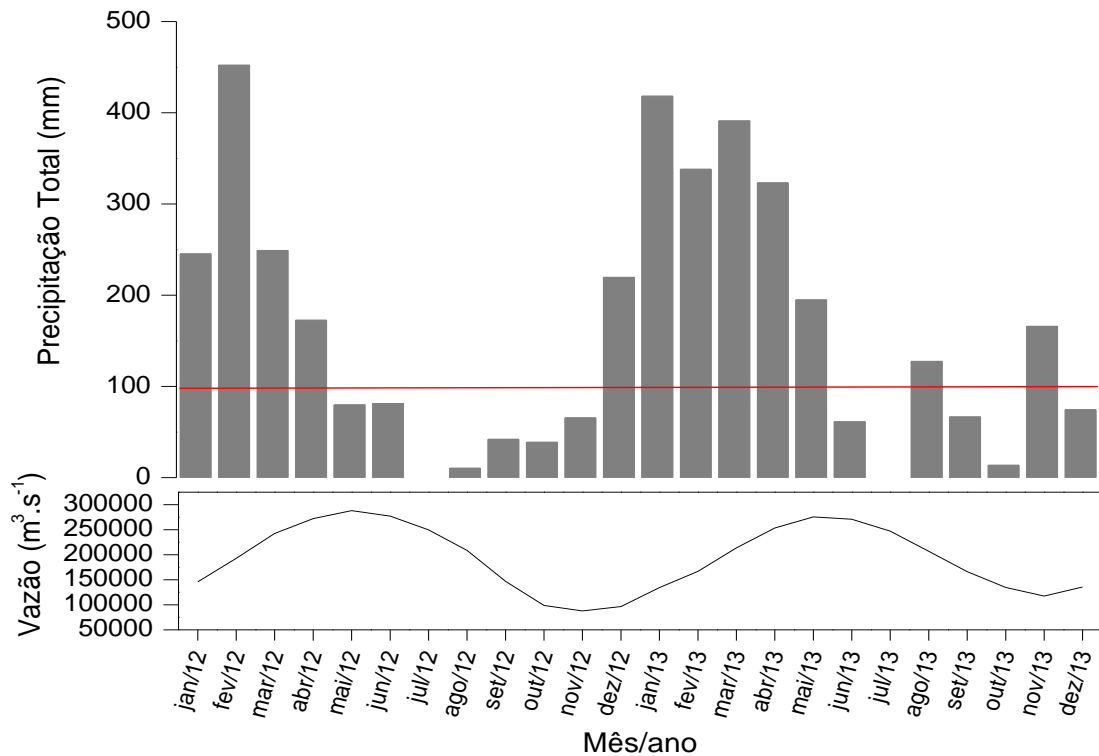


Figura 5: Relação entre a precipitação total referente aos anos 2012 e 2013 (INMET) em conjunto com medidas de vazão (disponíveis na Agência Nacional das Águas – ANA), em frente à cidade de Óbidos-PA.

O volume médio transitado na secção transversal do canal principal em frente à cidade de Óbidos foi de $192.292 \text{ m}^3/\text{s}$ no ano de 2012, com máximo de $288.229 \text{ m}^3/\text{s}$ no mês de Maio e mínimo de $87.917 \text{ m}^3/\text{s}$ em Novembro. Para o ano de 2013, a vazão média foi de $193.573 \text{ m}^3/\text{s}$ e os valores de máximo e mínimo ocorreram nos mesmos meses do ano anterior, $275.753 \text{ m}^3/\text{s}$ em Maio e $117.358 \text{ m}^3/\text{s}$ em Novembro.

Em ambos os anos (tabela 3), o mês de Maio representou o ápice da Cheia e Novembro foi o período de menor proporção no nível do rio, a Seca, de acordo com as quatro fases do regime hidrográfico: Enchente (E), Cheia (C), Vazante (V) e Seca (S).

Tabela 3: Meses distribuídos de acordo com a variação da vazão (km^3/s) em 2012 e 2013 segundo dados disponíveis pela Agência Nacional das Águas (ANA) para a cidade de Óbidos-PA.

2012												
		ABR			MAI	JUN	JUL		AGO			
JAN	FEV	MAR	C	C	C	V	V	SET	OUT	NOV	DEZ	
E	E	243	272	288	277	250	208	V	S	S	S	
145	193							147	98	88	97	
2013												
		MAR		ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
JAN	FEV	E	E		C	C	V	V	V	S	S	E
S	E	214	254	254	276	272	247	210	171	S	S	136
130	167									132	119	

Os períodos do ciclo das águas na região de Óbidos-PA foi determinado como o primeiro quartil (valor mínimo até o valor correspondente a 25%) dos dados de vazão representando a Seca e o último quartil (75% a 100%) a Cheia. Optou-se por convencionar o intervalo entre Seca e Cheia: Enchente, e o intervalo entre Cheia e Seca: Vazante.

2.2 Coleta de dados

2.2.1 PROCEDIMENTO EM CAMPO

Coletas mensais de 4L de água superficial (0.5 m de profundidade) do Rio Amazonas foram realizadas em frente à cidade de Óbidos-PA. Basicamente, com um recipiente de 1L, retirou-se uma amostra composta da água: 2L no centro do canal e 1L de cada lateral equidistante do centro, depositados em recipiente HDPE 4L (High-density polyethylene – polietileno de alta densidade).

Os parâmetros físico-químicos da água foram medidos, no centro do canal, utilizando uma sonda multiparamétrica (YSI Professional Plus) com sensores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pressão (mmHg), condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (em porcentagem [%] e concentração [$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$]) e pH; e a profundidade (m) medida com um sonar portátil.

2.2.2 PROCEDIMENTO EM LABORATÓRIO (UFOPA/BRASIL)

Após o retorno, no laboratório de química da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), foram realizados os procedimentos de armazenagem (refrigeração e congelamento) das amostras (Figura 6), para posterior transporte ao WHRC.

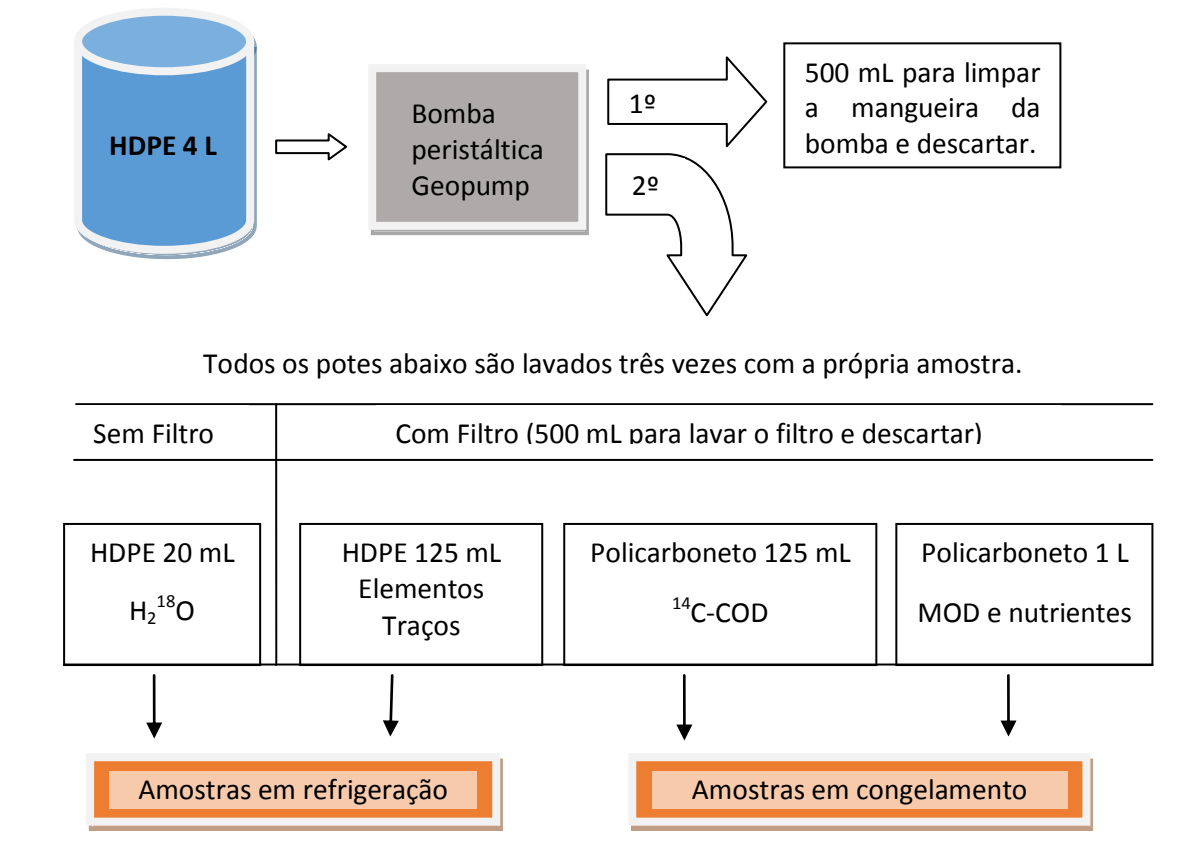


Figura 6: Esquema dos procedimentos para armazenagem.

Desde o início do projeto (Novembro/2011) as amostras ficaram armazenadas no laboratório da UFOPA, ou seja, variando de anos a meses de armazenagem. No entanto, de acordo com protocolo de coleta, conservando sob baixas temperaturas as características da amostra (para as variáveis analisadas) são preservadas.

As amostras, de Novembro de 2011 à Novembro de 2013, foram enviadas ao laboratório da instituição WHRC em Novembro de 2013 e em Abril de 2014 novas amostras foram encaminhadas para análise. No presente momento, as análises isotópicas para ^{18}O , ^{14}C e ^{15}N estão sendo realizadas e, portanto os resultados serão publicados em artigos científicos posteriores. Assim como as análises da MOD e Elementos Traço. Para este trabalho foram utilizados os dados referentes aos meses de 2012 e 2013 (23 meses, pois em Julho/2012 houve perda da amostra) das variáveis: Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Nitrogênio Orgânico

Dissolvido (NOD), Nitrogênio Dissolvido Total (NDT), Amônio (NH_4^+), Nitrito (NO_2^-) e Nitrato (NO_3^-); Fosfato (PO_4^{3-}) e Silicato (SiO_2)

É importante ressaltar que este projeto continua em andamento, com previsão de conclusão em 2016. Deste ponto de vista, realizando coletas com resolução temporal mensal, o projeto visa se estabelecer como um referencial para pesquisas posteriores visto que dados de longa duração são insípidos para esta região.

2.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS (WHRC/EUA)

- *Medição do COD e NDT - High Temperature Catalytic Oxidation (HTCO)*

Foi utilizado um Shimadzu TOC-V em combinação com um TNM-1 (Figura 7) que possui um sistema acoplado de alta temperatura de oxidação catalítica (high temperature catalytic oxidation – HTCO) para o carbono orgânico total (COT) e medição de NDT com Detector de Quimioluminescência do Nitrogênio (DQN). Este sistema efetua medição simultânea de COD e NDT a partir da mesma amostra.

A)



B)



C)

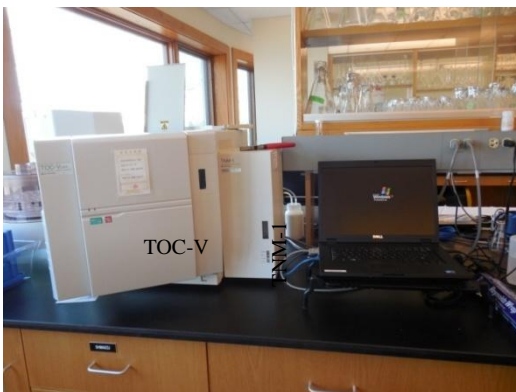


Figura 7: A) Analisador Shimadzu TOC-V com carrossel para padrões e amostras, B) Sistema interno onde é realizada a medição de COD e C) Visualização do TNM-1 acoplado ao TOC-V. Fonte: Arquivo pessoal.

Após remoção do Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) por acidificação e de aspersão (cerca de 8 min) com um gás isento de carbono (oxigênio ultrapuro), a amostra é injectada (100 μ L) dentro da coluna de combustão. Nesta fase, o COD e NDT são oxidados a CO_2 , NO e H_2O a 680°C , na presença de um catalisador (0,5% de platina sobre óxido de alumínio).

Os gases da combustão foram posteriormente secos utilizando um desumidificador, purificado por meio de um lavador de halogênio e as concentrações de CO_2 determinadas por um detector não-dispersivo de infravermelho (non-dispersive infra-red detector – NDIR). O sinal (tensão) do NDIRD foi registado utilizando um sistema de coleta de dados e integração, assim a área do pico foi utilizada para quantificar as concentrações de COD. Na figura 8 são esquematizadas as etapas (A-K) até a quantificação do COD (mg L^{-1}) na interface do computador (R).

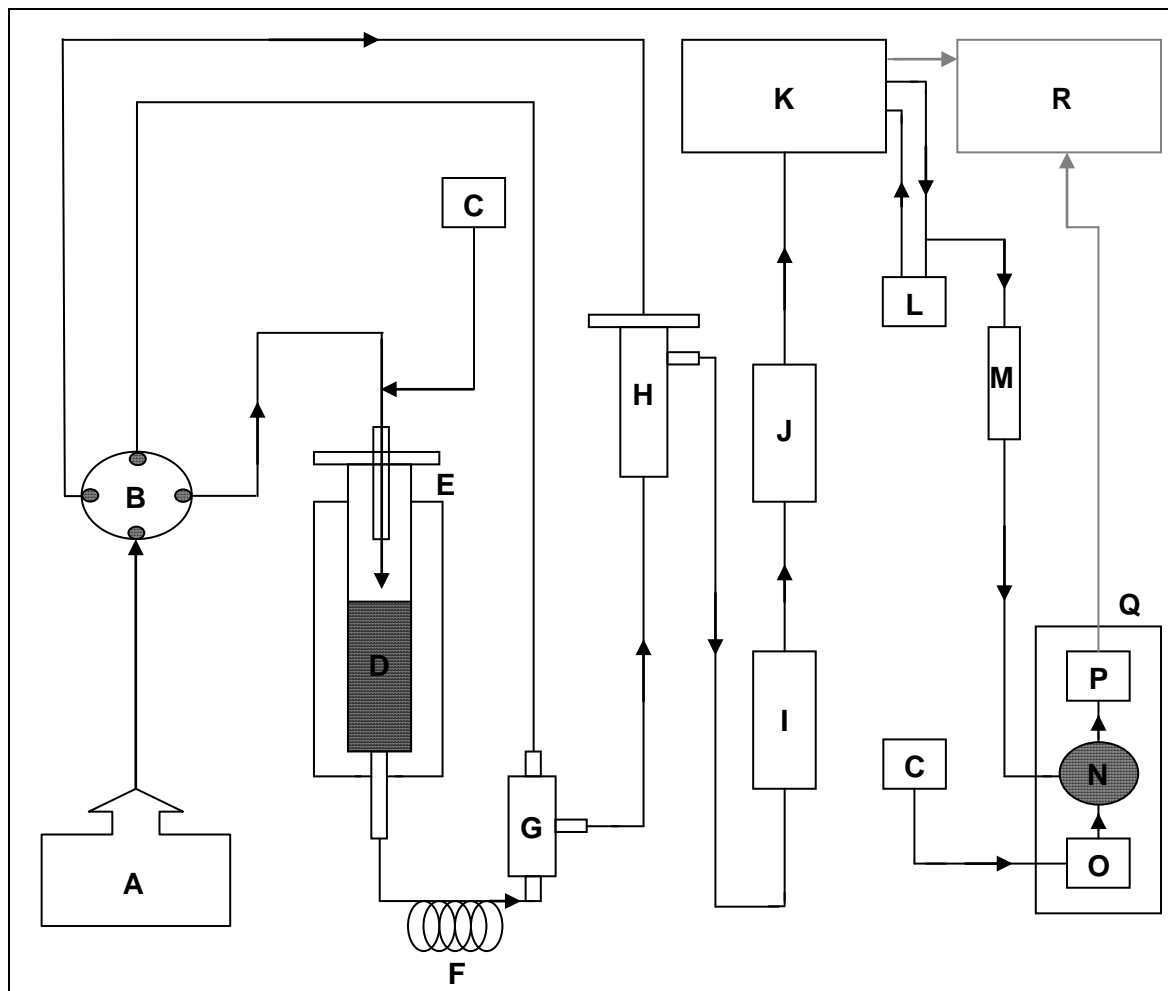


Figura 8: Representação esquemática do sistema HTCO com medição simultânea de COD e NDT. A: amostra; B: válvula de 4-portas; C: gás de arraste; D: catalisador platina alumínio; E: unidade de combustão; F: condensador; G: aprisionador de água; H: câmara de reação do carbono inorgânico; I: desumidificador; J: Depurador de halogênio; K: detector NDIR; L: Depurador de CO_2 ; M: desumidificador de gás; N: câmara de reação; O: gerador de ozônio; P: tubo fotomultiplicador e refrigerador; Q: detector de quimioluminescência do Nitrogênio; R: interface do computador (Shimadzu, 1999).

Os gases da combustão liberados do NDIRD foram transferidos diretamente para o DQN, por meio de uma bomba de vácuo. As etapas de M à Q da figura 8 acontecem no TNM-1 (Figura 7C). Antes de os gases entrarem no DQN, passam através de um gás desumidificador para remover qualquer vapor d'água não removido pelo desumidificador COT, este procedimento é necessário devido à umidade extinguir a reação de quimioluminescência.

O NO (Óxido de Nitrogênio) presente entre os gases da combustão foi então reagido com O₃ (Ozônio) produzido dentro do DQN para formar o NO₂ (Dióxido de Nitrogênio), que é uma molécula que quimioluminesce por decaimento para o seu estado fundamental:



A luz emitida ($h\nu$) foi detectada por um tubo fotomultiplicador e do sinal (tensão) foi registrado utilizando um sistema de coleta de dados e integração, sendo que pela área do pico foi quantificada a concentração de NDT. A utilização da bomba de vácuo reduz a pressão dentro da câmara de reação e, assim, minimiza o sinal luminescente de fundo e, consequentemente, aumenta a sensibilidade da análise NDT.

- *Análise das espécies de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e obtenção do valor de Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD)*

A análise dos nutrientes foi realizada de acordo com protocolos estabelecidos com um analisador Astoria[®] (Figura 9). O instrumento emprega análise de fluxo de ar-segmentado (FAS), com detecção colorimétrica. Segmentos de ar introduzido na corrente separam a amostra, reduzindo os efeitos de decantação e ajudando na mistura da amostra com o reagente (HANSEN E KOROLEFF, 1999).



Figura 9: Analisador Astoria com Fluxo de Ar-segmentado e leitura espectrofotométrica. Fonte: Arquivo pessoal.

O nutriente sob investigação reage para formar um composto colorido e a absorvância da cor é, então, determinada espectrofotometricamente. A análise de alta precisão de nutrientes durante este estudo foi assegurada através de participação no esquema inter-laboratório de controle de qualidade da USGS (United States Geological Survey). Toda a vidraria analítica, os tubos das amostras, etc foram cuidadosamente lavados com ácido clorídrico diluído e água Milli- Q antes da preparação dos reagentes e da análise.

No laboratório são preparadas soluções “estoque” de 100 μM , a cada seis meses para NO_3^- , e a cada quatro meses para NO_2^- . Para o NH_4^+ é preparado a cada duas semanas a solução “estoque” de 10 μM . Todas as soluções são comparadas com os padrões "velhos" para a assim concluir a substituição.

O NO_x ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) foi determinado com uma versão modificada do método descrito por Brewer e Riley (1965) . Neste método o NO_3^- é em primeiro lugar reduzido a NO_2^- em um fio revestido com cobre-cádmio (Cu-Cd), coluna de redução de 1m. Foi usada uma coluna redutora tubular aberta, uma vez que se verificou ter a mesma eficiência de uma coluna redutora de enchimento, mas foi mais fácil de manter e regenerar do que uma coluna redutora de enchimento (KITIDIS, 2002).

A eficiência da redução do NO_3^- pela coluna CuCd foi verificado rotineiramente, por conseguinte comparação de ambas as matrizes, de água doce e água do mar, por meio da comparação das alturas dos picos dos respectivos padrões de NO_2^- e NO_3^- equimolares passados através da coluna . A eficiência média do redutor foi de 99,5% com um desvio padrão de 0,6% (n= 6), seguindo reações de redução procededidos para NO_2^- .

As concentrações de NH_4^+ foi determinada pelo método salicilato/DTT (Skalar, 1996). NH_4^+ nas amostras reage com dicloro-s-triazina-2,4,6-triona (DTT) e trisódio-citrato (TSC)/NaOH tampão com pH 10,6.

Salicilato é então usado como uma fonte do anel fenólico, em vez de fenol e nitroprussiato de sódio atua como um agente de acoplamento para se obter o complexo “indefenol azul”, que é detectado espectrofotometricamente a 630 nm. O método do salicilato/DTT tem a vantagem de não ter a inconveniente associação com a utilização de fenol, um produto químico muito perigoso como descrito no método de análise fenol/hipoclorito para análise do NH_4^+ (Mantoura e Woodward, 1983).

Após a mensuração dos valores da fração inorgânica dissolvida na amostra, a quantidade orgânica dissolvida é obtida através da subtração de NID presente em NDT, assim:

$$\text{NOD} = \text{NDT} - \text{NID} \quad \text{[Equação 3];}$$

onde NID refere-se à soma de NH_4^+ e NO_x , sendo NO_x a soma de NO_2^- e NO_3^- .

- *Medições de SiO_2 e PO_4^{3-}*

Para as medições destes dois constituintes também foi usado o mesmo equipamento Astoria[®] seguindo a mesma metodologia, com diferença apenas nos reagentes para detecção dos compostos. É possível realizar a leitura através de 6 canais disponíveis no Astoria[®], desta forma, as análises de NH_4^+ , NO_x , SiO_2 e PO_4^{3-} foram efetuadas simultaneamente a partir da mesma amostra.

- *Uso do programa LOADEST para estimativas de carga (Ton dia⁻¹)*

Para estimar as cargas de COD, NDT, NOD, NH_4^+ , NO_x , PO_4^{3-} e SiO_2 , foi utilizado o programa em linguagem FORTRAN desenvolvido pela USGS: LOADEST (LOAD ESTimator). Este programa estima, dentro de 9 modelos matemáticos (além das opções 10, 11 e 99), qual a melhor equação apresentada pelos dados e fornece a carga diária do elemento em estudo.

Fornecendo uma série temporal da descarga do rio, dados adicionais de variáveis e concentração de constituintes, o LOADEST auxilia o usuário a desenvolver um modelo de regressão para a carga do constituinte. O modelo de regressão formulado é então usado para estimar cargas ao longo de um intervalo de tempo especificado pelo usuário. Médias, erros

padrões e intervalos de confiança a 95% são obtidos a partir de uma base mensal ou sazonal (RUNKEL, *et al.*, 2004).

Para executar o programa é necessário organizar quatro arquivos de entrada, sendo dois referentes aos dados de (1) descarga diária (m^3/s foram convertidos para pés³/s, por ser a unidade fixa no comando do LOADEST) e dados do (2) elemento que se deseja quantificar a carga transitada por dia (Ton/dia) e os outros arquivos de entrada são os de (3) controle e (4) cabeçalho, onde é inserido informações como informações gerais fixas em cada arquivo de saída, nome do constituinte (NC) que nomeia os arquivos de saída, a unidade do constituinte em $mg L^{-1}$ ou $\mu g L^{-1}$ e o modelo.

Os arquivos de entrada são reconhecidos pelo programa como:

- (1) est.inp
- (2) calib.inp
- (3) control.inp
- (4) header.inp

Após a execução do LOADEST, são gerados 3 arquivos de saída que correspondem ao (1*) arquivo com as estimativas diárias do constituinte em Ton/dia, (2*) arquivo especificando o modelo usado e informações estatísticas e (3*) arquivo de dados residuais.

Os arquivos de saída são reconhecidos pelo programa como:

- (1*) NC.ind
- (2*) NC.out
- (3*) NC.res

Os procedimentos de calibração e estimação dentro do LOADEST são baseados em três métodos estatísticos de estimativa. Os dois primeiros métodos, Estimativa Ajustada da Máxima Verossimilhança (Adjusted Maximum Likelihood Estimation - AMLE) e Estimativa da Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood Estimation - MLE) são apropriados quando os erros do modelo de calibração (resíduos) são normalmente distribuídos. O terceiro método, Menos Desvio Absoluto (Least Absolute Deviation - LAD), é uma alternativa para a MLE quando os resíduos não apresentam distribuição normal (RUNKEL, *et al.*, 2004).

Entre os testes de normalidade dos resíduos gerados pelo LOADEST apenas os resíduos dos constituintes NH_4^+ e SiO_2 não apresentaram distribuição normal, portanto os valores diários usados foram os da estimativa LAD. Para os demais constituintes usou-se os valores da estimativa AMLE.

Em relação ao modelo de regressão (Figura 10), foi inserido na linha de comando, referente ao número do modelo, do arquivo (4) de entrada o comando 0 que significa ao

programa: Selecione automaticamente entre os modelos (#1 ~ #9). A seleção é realizada com base em dois critérios a partir dos resultados da AMLE: o AIC (Akaike Information Criterion, Critério de Informação Akaike) e o SPPC (Schwars Posterior Probability Criteria, Critério de Probabilidade Posterior Schwars). O modelo selecionado apresenta o menor valor de AIC e maior valor de SPPC respectivamente, quando isto não ocorre, é priorizado o modelo que possui o menor valor de AIC.

Specified value	Regression model
0	automatically select best model from models 1-9.
1	$a_0 + a_1 \ln Q$
2	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2$
3	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 dtime$
4	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \sin(2\pi dtime) + a_3 \cos(2\pi dtime)$
5	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 dtime$
6	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \sin(2\pi dtime) + a_4 \cos(2\pi dtime)$
7	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \sin(2\pi dtime) + a_3 \cos(2\pi dtime) + a_4 dtime$
8	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \sin(2\pi dtime) + a_4 \cos(2\pi dtime) + a_5 dtime$
9	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \sin(2\pi dtime) + a_4 \cos(2\pi dtime) + a_5 dtime + a_6 dtime^2$

Figura 10: Modelos matemáticos de regressão do LOADEST. Fonte: Runkel *et al.*, 2004.

$\ln Q$ = logaritmo natural da descarga [$\ln(Q)$] – logaritmo natural do valor central da descarga [$\ln(Q_c)$]; e $dtime$ = tempo decimal – valor central do tempo decimal. Sendo $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, coeficientes do modelo.

2.3 Análise dos dados

Aplicou-se teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para verificar se as variáveis estudadas apresentavam distribuição normal e então efetuar teste paramétrico com adoção de nível de significância (p-valor) menor que 5%, ou seja, $p < 0,05$.

Para a produção dos gráficos de precipitação foi usado o programa R, para as análises estatísticas e para os gráficos dos resultados utilizou-se o programa Statistica7. As estimativas de carga foram obtidas através da execução do programa LOADEST.

CAPÍTULO I

QUANTIFICAÇÃO DAS CARGAS DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO, NITROGÊNIO DISSOLVIDO TOTAL E NUTRIENTES NO CANAL PRINCIPAL DO RIO AMAZONAS EM FRENTE À CIDADE DE ÓBIDOS-PA, 2012-2013.¹

MIYUKI MITSUYA²

JOSÉ MAURO SOUSA DE MOURA³

ROBERT GEORGE MARTIN SPENCER⁴

¹ *Geochimica Brasiliensis* (ISSN: 0102-9800)

² Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – Santarém-PA, Brasil - miyukimitsuya@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – Santarém-PA, Brasil - jmaurosm@gmail.com

⁴ Woods Hole Research Center (WHRC) – Falmouth-MA, Estados Unidos - rspencer@whrc.org

1 **QUANTIFICAÇÃO DAS CARGAS DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO,**
 2 **NITROGÊNIO DISSOLVIDO TOTAL E NUTRIENTES NO CANAL PRINCIPAL DO RIO**
 3 **AMAZONAS EM FRENTE À CIDADE DE ÓBIDOS-PA, 2012-2013.**

4
 5 MIYUKI MITSUYA¹

6 JOSÉ MAURO SOUSA DE MOURA²

7 ROBERT GEORGE MARTIN SPENCER³

8 Apesar da emergente valorização, há poucos dados sobre as conexões entre o ciclo de carbono terrestre e
 9 aquático atualmente em curso para o rio Amazonas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi
 10 quantificar o fluxo de carbono solo-oceano do Rio Amazonas que transita no ponto mais estreito de seu canal
 11 principal. E também de estimar as cargas de Nitrogênio Dissolvido Total e nutrientes, observando suas variações
 12 em dois anos de ciclo hidrológico. Coletas mensais de água superficial do Rio Amazonas foram realizadas em
 13 frente à cidade de Óbidos-PA durante o período de 2012 a 2013. Para quantificar as concentrações das variáveis
 14 em estudo, foi utilizado um Shimadzu TOC-V em combinação com um TNM-1 para o carbono orgânico total e
 15 nitrogênio dissolvido total. A análise dos nutrientes foi realizada de acordo com protocolos estabelecidos com
 16 um analisador Astoria®, com detecção colorimétrica. E para estimar as cargas, foi utilizado o programa
 17 LOADEST (LOAD ESTimator). A carga total média transitada de Carbono Orgânico Dissolvido foi de 29,85
 18 TgC ano⁻¹, Nitrogênio Dissolvido Total com 2,355 TgN ano⁻¹. O Fosfato (PO₄³⁻) foi quantificado com 0,08 TgP
 19 em ambos os anos. E Silicato (SiO₂) apresentou quantidade total média de 59,75 Tg ano⁻¹ para o biênio 2012-
 20 2013.

21
 22 **Palavras-chave:** Rio Amazonas, Carbono, Ciclo Hidrológico.

23
 24 **1. INTRODUÇÃO**

25
 26 Em ambientes terrestres, a exportação de carbono (C) fluvial desempenha um importante
 27 papel no equilíbrio do C do ecossistema, particularmente nos trópicos úmidos onde os rios podem
 28 adquirir, transportar e remineralizar quantidades de carbono orgânico derivado do solo que são
 29 equivalentes à produção líquida do ecossistema de florestas tropicais (Battin *et al.*, 2009).

30 O Rio Amazonas é produto do escoamento da maior bacia de drenagem do mundo: a Bacia
 31 Amazônica, que circunscreve 7.406.000 km² cerca de 2/5 da América do Sul, sendo a maior extensão
 32 localizada nos domínios do Brasil (Esteves, 1993). Para obter um panorama de sua grandeza, em nível
 33 de comparação, a soma dos 20 maiores rios do Planeta transportam cerca de 40% do escoamento
 34 continental para os oceanos (Andrews *et al.*, 2004), o Rio Amazonas sozinho, é responsável por 20%
 35 escoado para o Oceano Atlântico e o maior contribuinte de descarga sólida (Martinelli *et al.*, 1989).

36 Em termos de descarga, Richey *et al.* (1986) quantificaram a vazão ao longo do canal principal
 37 Solimões/Amazonas entre o percurso de aproximadamente 1800 Km, definido pela cidade de Vargem
 38 Grande – AM (com médias variando entre 31.700 m³/s e 69.700 m³/s) e pela cidade de Óbidos – PA
 39 (91.700 m³/s a 203.000 m³/s) no período seco e chuvoso. Caso seja considerada a média de 200.000
 40 m³/s, durante um ano, a vazão é de aproximadamente 6 x 10¹² m³ ano⁻¹ (Victoria *et al.*, 1991), podendo

¹ Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – Santarém-PA, Brasil - miyukimitsuya@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) – Santarém-PA, Brasil - jmaurosm@gmail.com

³ Woods Hole Research Center (WHRC) – Falmouth-MA, Estados Unidos - rspencer@whrc.org

41 sofrer variações devido a eventos de grande escala como El Niño e La Niña (Marengo & Nobre,
42 2001).

43 A composição da água fluvial é uma função complexa de diversos processos físicos, químicos
44 e biológicos que ocorrem na bacia de drenagem e no próprio rio (Hedges *et al.*, 1986). Ressalta-se
45 também que os ciclos biogeoquímicos na bacia amazônica estão conectados aos ciclos globais, através
46 das trocas gasosas com a atmosfera (Devol *et al.*, 1990; Mortatti *et al.*, 1994; Almeida *et al.*, 2001;
47 Richey *et al.*, 2002; Mayorga *et al.*, 2005; Rasera *et al.*, 2008; Richey *et al.*, 2009; Remington *et al.*,
48 2011) e das descargas fluviais (Martinelli *et al.* 1989; Richey *et al.*, 1989; Calléde *et al.*, 1996) ao
49 Oceano Atlântico (Mcclain, 2001).

50 Apesar dessa emergente valorização, há poucos dados sobre as conexões entre o ciclo de C
51 terrestre e aquático atualmente em curso para o rio Amazonas. Além disso, há pouca compreensão de
52 como perturbações futuras podem afetar os fluxos e o ciclo do carbono na grande escala de bacia
53 hidrográfica. Na micro e meso escala, há indicativos de que efeitos na mudança do uso da terra
54 também podem ser observados na biogeoquímica dos corpos d'água, com interrupção da estrutura e
55 funcionamento dos ecossistemas fluviais, e alterações significativas na ciclagem de nutrientes
56 (Krusche *et al.*, 2005).

57 Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo: quantificar o fluxo de carbono solo-
58 oceano do Rio Amazonas que transita no ponto mais estreito de seu canal principal, em frente à cidade
59 de Óbidos-PA, para estabelecer uma linha de base consistente. E também de estimar as cargas de
60 Nitrogênio (Orgânico e Inorgânico) Dissolvido e outros nutrientes, observando suas variações em dois
61 anos de ciclo hidrológico, 2012-2013.

62

63 2. MATERIAL E MÉTODOS

64

65 **Localização da área de estudo**

66

67 A cidade de Óbidos-PA está localizada geograficamente nas coordenadas 1° 55' 4" S e
68 55° 31' 4" W, integra a mesorregião do Baixo Amazonas e está a 37m de altitude (acima do nível
69 médio do mar).

70 Levando em consideração a definição de bacia hidrográfica e que há convergência dos fluxos
71 tributários à montante de Óbidos-PA que deságuam no canal principal, a área de integração e
72 influência acima do ponto de coleta é representada na figura 1, em que a delimitação da Bacia
73 Amazônica drenada até Óbidos-PA equivale a aproximadamente 80% de toda a bacia: 4,67 x 10⁶ Km².



Figura 1: Delimitação da Bacia Amazônica (linha amarela). Porção da área que converge ao ponto mais estreito do canal principal em frente à cidade de Óbidos-PA (em azul claro: aproximadamente 69% da área total da bacia).

74

75 O perfil de precipitação total mensal médio (figura 2) mostra que no biênio 2012-2013
 76 (intervalo ao qual este estudo foi realizado) o período chuvoso estendeu-se de Novembro à Maio,
 77 sendo o mês de Fevereiro com maior precipitação total 395,1 mm (média de Fevereiro para os anos
 78 2012-2013, com 452,1 e 338,1 mm, respectivamente). E o período menos chuvoso limitou-se entre os
 79 meses de Junho à Outubro. O índice médio de precipitação total anual para o mesmo período foi de
 80 2.142,7 mm. Apresentando média anual de temperatura média compensada do ar de 27,3 °C e média
 81 mensal de umidade relativa do ar variando entre a máxima de 88% e mínima de 74%, sendo valores
 82 característicos da região Amazônica.

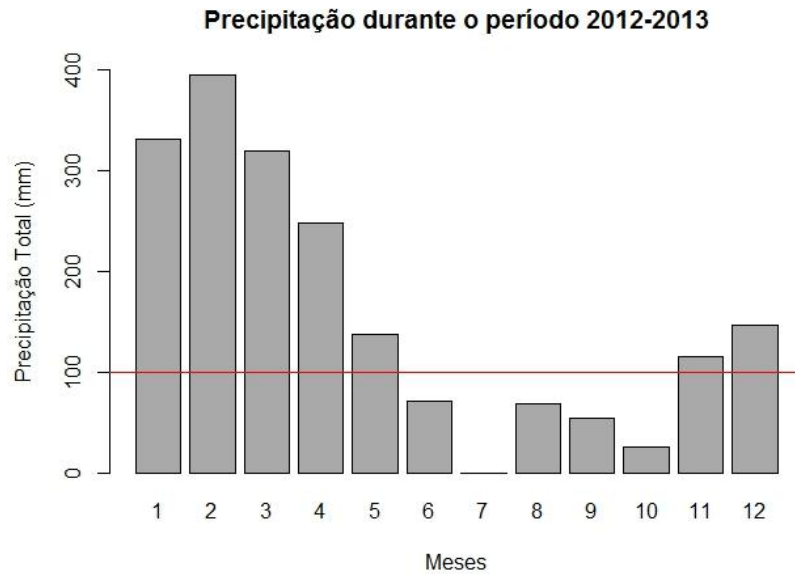


Figura 2: Registro de precipitação total mensal média durante 2012-2013 da estação meteorológica de Óbidos-PA, dados disponíveis no INMET.

83

84 O volume médio transitado na secção transversal do canal principal em frente à cidade de
 85 Óbidos foi de $192.292 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no ano de 2012, com máximo de $288.229 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no mês de Maio e
 86 mínimo de $87.917 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em Novembro. Para o ano de 2013, a vazão média foi de $193.573 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e os
 87 valores de máximo e mínimo ocorreram nos mesmos meses do ano anterior, $275.753 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em Maio e
 88 $117.358 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em Novembro (Figura 3).

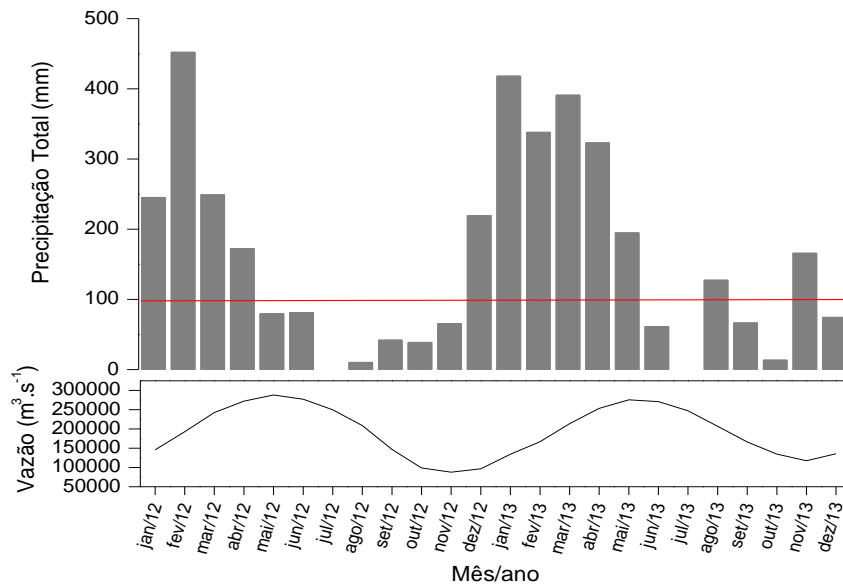


Figura 3: Relação entre a precipitação total referente aos anos 2012 e 2013 (INMET) em conjunto com medidas de vazão (disponíveis na Agência Nacional das Águas – ANA), em frente à cidade de Óbidos-PA.

89

90 Em ambos os anos (Tabela 1), o mês de Maio representou o ápice da Cheia e Novembro foi o
 91 período de menor proporção no nível do rio, a Seca, de acordo com as quatro fases do regime
 92 hidrográfico: Enchente (E), Cheia (C), Vazante (V) e Seca (S).
 93

Tabela 1: Meses distribuídos de acordo com a variação da vazão (km^3/s) em 2012 e 2013 segundo dados disponíveis pela Agência Nacional das Águas (ANA) para a cidade de Óbidos-PA.

2012												
		MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
JAN	FEV	E	C	C	C	V	V	V	S	S	S	
		243	272	288	277	250	208	147	98	88	97	
145	193											
2013												
		FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
JAN	FEV	E	E	E	C	C	V	V	V	S	S	E
		214	254	276	272	247	210	171	132	119	136	
S	167											
130												

94

95 Os períodos do ciclo das águas na região de Óbidos-PA foi determinado como o primeiro
 96 quartil (valor mínimo até o valor correspondente a 25%) dos dados de vazão representando a Seca e o
 97 último quartil (75% a 100%) a Cheia. Optou-se por convencionar o intervalo entre Seca e Cheia:
 98 Enchente, e o intervalo entre Cheia e Seca: Vazante. A análise de variação intra anual é baseada nesta
 99 divisão da hidrógrafa.

100

101 Coleta De Dados

102 Coletas mensais de 4L de água superficial (0.5 m de profundidade) do Rio Amazonas foram
 103 realizadas em frente à cidade de Óbidos-PA. Sendo este volume uma amostra composta da água: 2L
 104 no centro do canal e 1L de cada lateral equidistante do centro, depositados em recipiente HDPE 4L
 105 (High-density polyethylene – polietileno de alta densidade).

106 Os parâmetros físico-químicos da água foram medidos, no centro do canal, utilizando uma
 107 sonda multiparamétrica (YSI Professional Plus) com sensores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pressão
 108 atmosférica (mmHg), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$), oxigênio dissolvido (em porcentagem [%] e
 109 concentração [mg L^{-1}]) e pH; e a profundidade (m) medida com um sonar portátil.

110 As coletas ocorreram durante o período de 2012 a 2013, somando 23 meses (perda da amostra
 111 07/12). Foram filtradas (filtro $<0,45 \mu\text{m}$) e congeladas até o envio para o laboratório de química
 112 ambiental da instituição Woods Hole Research Center (WHRC) em Abril de 2014.

113

114 **Métodos Analíticos**115 • *Medição do Carbono Orgânico Dissolvido(COD) e Nitrogênio Dissolvido Total (NDT)*

116 Foi utilizado um Shimadzu TOC-V em combinação com um TNM-1 (Figura 4) que possui um
 117 sistema acoplado de alta temperatura de oxidação catalítica (high temperature catalytic oxidation –
 118 HTCO) para o carbono orgânico total (COT) e medição de NDT com Detector de
 119 Quimioluminescência do Nitrogênio (DQN). Este sistema efetua medição simultânea de COD e NDT
 120 a partir da mesma amostra.

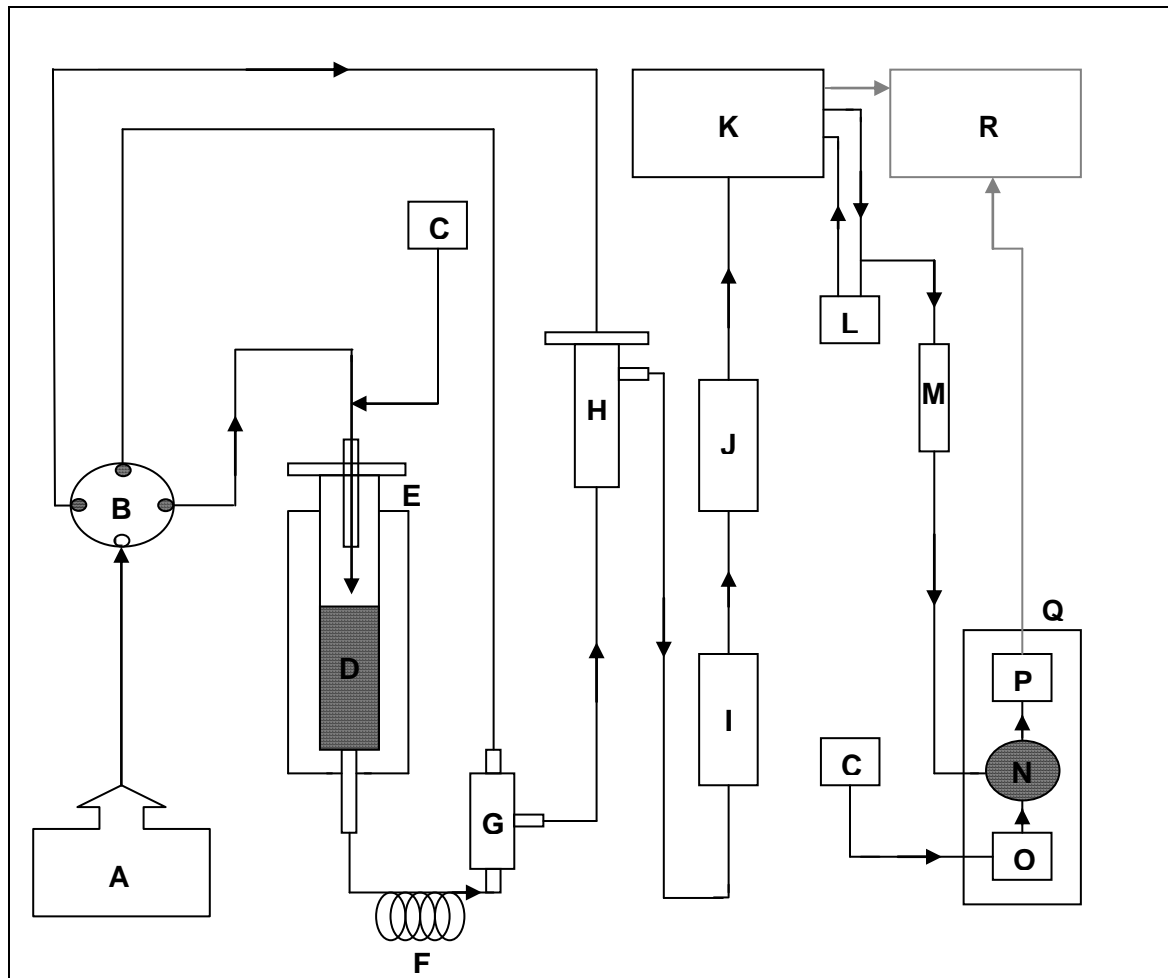


Figura 4: Representação esquemática do sistema HTCO com medição simultânea de COD e NDT. A: amostra; B: válvula de 4-portas; C: gás de arraste; D: catalisador platina alumínio; E: unidade de combustão; F: condensador; G: aprisionador de água; H: câmara de reação do carbono inorgânico; I: desumidificador; J: Depurador de halogênio; K: detector NDIR; L: Depurador de CO₂; M: desumidificador de gás; N: câmara de reação; O: gerador de ozônio; P: tubo fotomultiplicador e refrigerador; Q: detector de quimioluminescência do Nitrogênio; R: interface do computador (Shimadzu, 1999).

121

122 Após remoção do Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) por acidificação e de aspensão com
 123 um gás isento de carbono (oxigênio ultrapuro), a amostra é injetada (100 µL) dentro da coluna de
 124 combustão. Nesta fase, o COD e NDT são oxidados a CO₂, NO e H₂O a 680°C, na presença de um
 125 catalisador (0,5% de platina sobre óxido de alumínio).

126 Os gases da combustão foram posteriormente secos utilizando um desumidificador, purificado
 127 por meio de um depurador de halogênio e as concentrações de CO₂ determinadas por um detector não-
 128 dispersivo de infravermelho (non-dispersive infra-red detector – NDIRD). O sinal (tensão) do NDIRD

129 foi registado utilizando um sistema de coleta de dados e integração, assim a área do pico foi utilizada
130 para quantificar as concentrações de COD.

131 O NO (Óxido de Nitrogênio) presente entre os gases da combustão foi então reagido com O₃
132 (Ozônio) produzido dentro do DQN para formar o NO₂ (Dióxido de Nitrogênio), que é uma molécula
133 que quimioluminesce por decaimento para o seu estado fundamental:



136

137 A luz emitida (hν) foi detectada por um tubo fotomultiplicador e do sinal (tensão) foi registado
138 utilizando um sistema de coleta de dados e integração, sendo que pela área do pico foi quantificada a
139 concentração de NDT. A utilização da bomba de vácuo reduz a pressão dentro da câmara de reação e,
140 assim, minimiza o sinal luminescente de fundo e, conseqüentemente, aumenta a sensibilidade da
141 análise NDT.

142 • *Análise das espécies de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e obtenção do valor de Nitrogênio*
143 *Orgânico Dissolvido (NOD)*

144 A análise dos nutrientes foi realizada de acordo com protocolos estabelecidos com um
145 analisador Astoria[®]. O instrumento emprega análise de fluxo de ar-segmentado (FAS), com detecção
146 colorimétrica. Segmentos de ar introduzido na corrente separam a amostra, reduzindo os efeitos de
147 decantação e ajudando na mistura da amostra com o reagente (Hansen & Koroleff, 1999).

148 No laboratório são preparadas soluções “estoque” de 100 μM, a cada seis meses para NO₃⁻, e a
149 cada quatro meses para NO₂⁻ (Nitrito). Para o NH₄⁺ é preparado a cada duas semanas a solução
150 “estoque” de 10 μM. Todas as soluções são comparadas com os padrões “velhos” para a assim
151 concluir a substituição.

152 O NOx (NO₃⁻ + NO₂⁻) foi determinado com uma versão modificada do método descrito por
153 Brewer e Riley (1965). Neste método o NO₃⁻ é em primeiro lugar reduzido a NO₂⁻ em um fio revestido
154 com cobre-cádmio (Cu-Cd), coluna de redução de 1m. Foi usada uma coluna redutora tubular aberta,
155 uma vez que se verificou ter a mesma eficiência de uma coluna redutora de enchimento, mas foi mais
156 fácil de manter e regenerar (Kitidis, 2002).

157 As concentrações de NH₄⁺ foi determinada pelo método salicilato/DTT (Skalar, 1996). NH₄⁺
158 nas amostras reage com dicloro-s-triazina-2,4,6-triona (DTT) e trisódio-citrato (TSC)/NaOH com
159 tampão pH 10,6.

160 Após a mensuração dos valores da fração inorgânica dissolvida na amostra, a quantidade
161 orgânica dissolvida é obtida através da subtração de NID presente em NDT, assim:

$$162 \quad \text{NOD} = \text{NDT} - \text{NID} \quad (3)$$

163 onde NID refere-se à soma de NH₄⁺ e NOx, sendo NOx a soma de NO₂⁻ e NO₃⁻.

164 • *Medições de SiO₂ e PO₄³⁻*

165 Para as medições destes dois constituintes também foi usado o mesmo equipamento Astoria®
 166 seguindo a mesma metodologia, com diferença apenas nos reagentes para detecção dos compostos. É
 167 possível realizar a leitura através de 6 canais disponíveis no Astoria®, desta forma, as análises de
 168 NH₄⁺, NO_x, SiO₂ e PO₄³⁻ foram efetuadas simultaneamente a partir da mesma amostra.

169 **Uso do Programa LOADEST para estimativas de carga (Ton dia⁻¹)**

170 Para estimar as cargas de COD, NDT, NOD, NH₄⁺, NO_x, PO₄³⁻ e SiO₂, foi utilizado o
 171 programa em linguagem FORTRAN desenvolvido pela USGS: LOADEST (LOAD ESTimator). Este
 172 programa estima, dentro de 9 modelos matemáticos (além das opções 10, 11 e 99), qual a melhor
 173 equação apresentada pelos dados e fornece a carga diária do elemento em estudo (Figura 5).

Specified value	Regression model
0	automatically select best model from models 1-9.
1	$a_0 + a_1 \ln Q$
2	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2$
3	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \text{dtime}$
4	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \sin(2\pi \text{dtime}) + a_3 \cos(2\pi \text{dtime})$
5	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \text{dtime}$
6	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \sin(2\pi \text{dtime}) + a_4 \cos(2\pi \text{dtime})$
7	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \sin(2\pi \text{dtime}) + a_3 \cos(2\pi \text{dtime}) + a_4 \text{dtime}$
8	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \sin(2\pi \text{dtime}) + a_4 \cos(2\pi \text{dtime}) + a_5 \text{dtime}$
9	$a_0 + a_1 \ln Q + a_2 \ln Q^2 + a_3 \sin(2\pi \text{dtime}) + a_4 \cos(2\pi \text{dtime}) + a_5 \text{dtime} + a_6 \text{dtime}^2$

Figura 5: Modelos matemáticos de regressão do LOADEST. Fonte: Runkel *et al.*, 2004.

174 $\ln Q$ = logaritmo natural da descarga [$\ln(Q)$] – logaritmo natural do valor central da descarga
 175 [$\ln(Q_c)$]; e dtime = tempo decimal – valor central do tempo decimal. Sendo $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$, coeficientes
 176 do modelo.

177 Fornecendo uma série temporal da descarga do rio, dados adicionais de variáveis e
 178 concentração de constituintes, o LOADEST auxilia o usuário a desenvolver um modelo de regressão
 179 para a carga do constituinte. O modelo de regressão formulado é então usado para estimar cargas ao
 180 longo de um intervalo de tempo especificado pelo usuário.

181 Os procedimentos de calibração e estimação dentro do LOADEST são baseados em três
 182 métodos estatísticos de estimativa. Os dois primeiros métodos, Estimativa Ajustada da Máxima
 183 Verossimilhança (Adjusted Maximum Likelihood Estimation - AMLE) e Estimativa da Máxima
 184 Verossimilhança (Maximum Likelihood Estimation - MLE) são apropriados quando os erros do
 185 modelo de calibração (resíduos) são normalmente distribuídos. O terceiro método, Menor Desvio
 186 Absoluto (Least Absolute Deviation - LAD), é uma alternativa para a MLE quando os resíduos não
 187 apresentam distribuição normal (Runkel *et al.*, 2004).

188 Entre os testes de normalidade dos resíduos gerados pelo LOADEST apenas os resíduos dos
189 constituintes NH_4^+ e SiO_2 não apresentaram distribuição normal, portanto os valores diários usados
190 foram os da estimativa LAD. Para os demais constituintes usaram-se os valores da estimativa AMLE.
191

192 **Análises Estatísticas**

193 Aplicou-se teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov) para verificar se as variáveis
194 estudadas apresentavam distribuição normal e então efetuar teste paramétrico com adoção de nível de
195 significância (p-valor) menor que 5%, ou seja, $p < 0,05$.

196 Para a produção dos gráficos de precipitação foi usado o programa R, para as análises
197 estatísticas e para os gráficos dos resultados utilizou-se o programa Statistica7. As estimativas de
198 carga foram obtidas através da execução do programa LOADEST (LOAD ESTimator).
199

200 **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

201

202 A água consiste não apenas de dois elementos, hidrogênio e oxigênio, consiste também em
203 materiais dissolvidos ou em suspensão dentro dela, tais como sais, minerais, e outras substâncias.
204 Contem plantas, animais e microorganismos (Vigil, 2003), e esta água contendo (ou não) todos estes
205 componentes (vegetais, animais e minerais) pode um dia integrar o curso de um rio.

206 A composição da água do Rio Amazonas é uma integração de vários tipos e volumes de
207 água, resultando desta forma em uma descarga média anual na frente da cidade de Óbidos-PA de
208 aproximadamente $193.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durante o período de 2012 e 2013. Considerando a distribuição dos
209 meses na hidrógrafa, apresentada na tabela 1, apenas as médias da estação Enchente ($193 \text{ Km}^3 \text{ s}^{-1}$) e
210 Vazante ($204 \text{ Km}^3 \text{ s}^{-1}$) são iguais ($p > 0,05$).

211 Como pode ser observada na figura 6, que a média da estação Cheia ($277 \text{ Km}^3 \text{ s}^{-1}$) é bastante
212 diferente da média na estação Seca ($112 \text{ Km}^3 \text{ s}^{-1}$), sendo 59,6% superior à estação Seca. Analisando
213 separadamente a estação Seca, de 2012 e de 2013, foi encontrada diferença ($p < 0,05$) em suas médias:
214 $94 \text{ Km}^3 \text{ s}^{-1}$ e $129 \text{ Km}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Portanto, o volume de água pode ser indicado como o
215 principal fator de algumas diferenças inter anuais apresentadas pelos constituintes, concentrando e/ou
216 diluindo a quantidade do material na composição da água do rio.

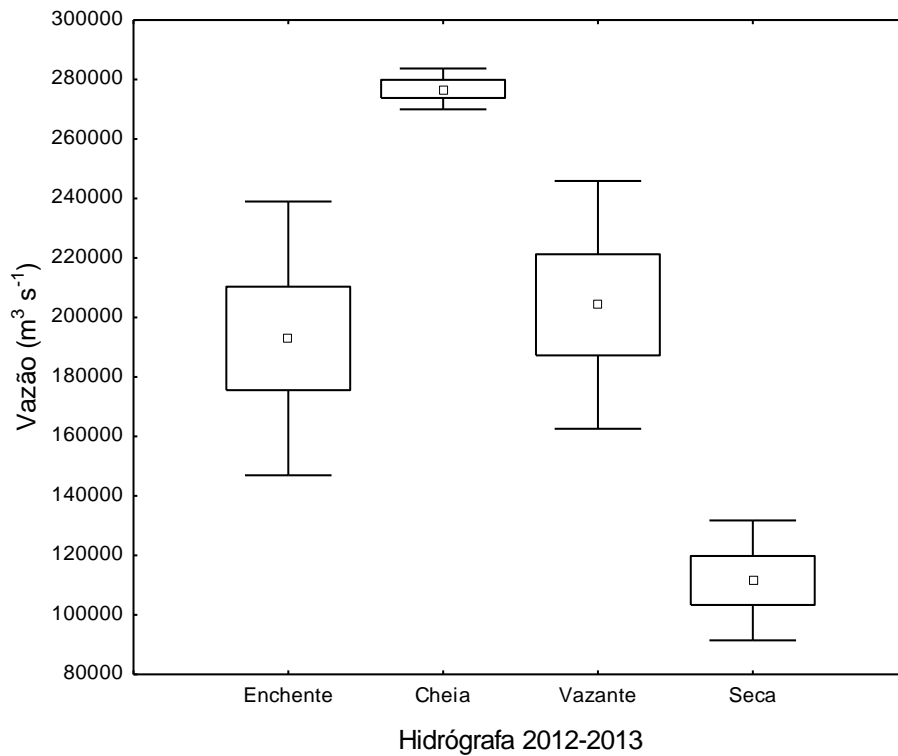


Figura 6: Vazão média ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) do Rio Amazonas em frente a cidade de Óbidos-PA durante os anos de 2012 e 2013 de acordo com a hidrógrafa.

217

218

219

220

Os dados dos parâmetros físico-químicos, organizados por ano e estação da hidrógrafa, são apresentados na tabela 2. Na tabela seguinte (Tabela 3) estão dispostas as concentrações (média \pm desvio padrão) de COD, NDT, NOD, NH_4^+ NO_x , PO_4^{3-} e SiO_2 .

Tabela 2: Estatística descritiva da (média) vazão e profundidade, e (média \pm desvio padrão) dos parâmetros físico-químicos: Temperatura da água, Pressão atmosférica, Oxigênio dissolvido, Condutividade elétrica e pH medidos no intervalo de 2012 e 2013, e entre as estações da hidrógrafa do Rio Amazonas em frente à cidade de Óbidos-PA. (E) Enchente, (C) Cheia, (V) Vazante e (S) Seca.

	Nível do fator	Nível do fator	Nº de meses	Vazão média	Prof. média	Temp. água média	Temp. água desv. pad	Pressão atm média	Pressão atm desv. pad	OD média	OD desv. pad	Cond. média	Cond. desv. pad	pH média	pH desv. pad
Unid. medida				m ³ s ⁻¹	m	°C		mmHg		mg L ⁻¹		µS cm ⁻¹			
Total			24	192.932,96	79,94	29,24	0,96	758,58	2,49	3,73	1,88	52,88	10,25	7,17	0,49
Ano	2012		12	192.292,33	78,16	29,27	1,17	757,92	1,51	4,09	1,35	54,74	10,45	7,07	0,25
Ano	2013		12	193.573,58	81,72	29,22	0,76	759,23	3,12	3,36	2,29	51,02	10,14	7,26	0,66
Hidrografa	E		7	192.988,43	79,30	28,73	0,71	757,57	1,49	4,31	0,98	54,57	9,46	7,00	0,39
Hidrografa	C		5	276.861,00	81,20	28,54	0,51	758,52	0,88	2,94	0,68	46,96	4,37	7,25	0,58
Hidrografa	V		6	204.260,83	78,48	29,45	0,79	758,98	0,86	3,55	2,10	44,75	2,87	7,06	0,63
Hidrografa	S		6	111.600,33	81,09	30,22	0,88	759,38	4,70	5,82	0,35	63,97	9,30	7,40	0,39
Ano*Hidrografa	2012	E	3	193.730,33	76,70	28,57	0,98	757,50	2,52	4,01	0,58	59,17	6,41	7,09	0,20
Ano*Hidrografa	2012	C	3	279.247,33	75,37	28,27	0,49	758,20	0,96	2,64	0,47	47,30	6,07	6,95	0,20
Ano*Hidrografa	2012	V	3	201.772,67	79,43	29,67	0,85	759,10	0,85	3,78	0,98	45,30	4,15	6,92	0,24
Ano*Hidrografa	2012	S	3	94.419,00	81,15	30,57	0,76	756,87	0,58	5,94	0,35	67,20	5,14	7,32	0,23
Ano*Hidrografa	2013	E	4	192.432,00	81,25	28,85	0,57	757,63	0,46	4,54	1,24	51,13	10,71	6,93	0,51
Ano*Hidrografa	2013	C	2	273.281,50	89,95	28,95	0,07	759,00	0,71	3,38	0,88	46,45	1,34	7,71	0,77
Ano*Hidrografa	2013	V	3	206.749,00	77,53	29,23	0,84	758,87	1,04	3,33	3,15	44,20	1,57	7,20	0,93
Ano*Hidrografa	2013	S	3	128.781,67	81,03	29,87	1,00	761,90	5,99	*	*	60,73	12,58	7,48	0,56

* Sem medida

221

222

223 **Tabela 3:** Estatística descritiva (média ± desvio padrão) dos constituintes analisados entre o período de 2012 e 2013, e entre a hidrógrafa destes anos: (E) Enchente, (C) Cheia, (V) Vazante e (S) Seca.

	Nível do fator	Nível do fator	nº de meses	COD média	COD desv. pad.	NDT média	NDT desv. pad.	NOD média	NOD desv. pad.	NH4 média	NH4 desv. pad.	NOx média	NOx desv. pad.	PO4 média	PO4 desv. pad.	SiO2 média	SiO2 desv. pad.
Unid. medida				mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		mg L ⁻¹		µg L ⁻¹		µg L ⁻¹		µg L ⁻¹		mg L ⁻¹	
Total			24	4,07	1,13	0,35	0,11	0,19	0,09	8,55	3,06	143,12	66,63	11,32	3,29	8,73	2,53
Ano	2012		12	3,83	1,44	0,34	0,14	0,19	0,11	7,72	3,33	140,07	72,59	10,92	4,22	8,61	3,49
Ano	2013		12	4,30	0,69	0,36	0,08	0,20	0,06	9,38	2,63	146,18	63,18	11,71	2,11	8,85	1,07
Hidrografa	E		7	4,82	0,25	0,44	0,11	0,28	0,09	9,23	3,26	154,57	42,92	12,01	2,60	8,41	0,79
Hidrografa	C		5	4,93	0,29	0,30	0,02	0,21	0,02	10,24	2,92	83,18	1,83	10,80	2,19	8,67	1,36
Hidrografa	V		6	3,24	1,60	0,26	0,13	0,15	0,08	7,79	3,96	99,96	52,41	8,85	4,40	8,21	4,83
Hidrografa	S		6	3,29	0,27	0,36	0,06	0,13	0,03	7,11	1,00	222,88	42,61	13,40	2,24	9,68	1,48
Ano*Hidrografa	2012	E	3	4,69	0,27	0,49	0,13	0,32	0,12	6,98	0,79	161,84	45,71	11,22	2,22	8,13	0,07
Ano*Hidrografa	2012	C	3	4,99	0,30	0,30	0,01	0,21	0,01	10,09	4,12	84,00	1,91	9,59	0,85	7,83	0,28
Ano*Hidrografa	2012	V	3	2,49	2,16	0,20	0,17	0,10	0,09	5,97	5,38	89,87	78,56	7,54	6,55	8,32	7,63
Ano*Hidrografa	2012	S	3	3,16	0,27	0,35	0,03	0,12	0,01	7,84	0,83	224,57	28,30	15,34	0,56	10,15	1,89
Ano*Hidrografa	2013	E	4	4,93	0,20	0,41	0,08	0,25	0,07	10,92	3,46	149,12	46,89	12,60	3,02	8,62	1,05
Ano*Hidrografa	2013	C	2	4,85	0,34	0,30	0,04	0,20	0,04	10,46	0,08	81,96	1,09	12,63	2,57	9,94	1,38
Ano*Hidrografa	2013	V	3	3,98	0,27	0,31	0,03	0,19	0,03	9,61	0,54	110,05	19,74	10,17	0,64	8,09	0,28
Ano*Hidrografa	2013	S	3	3,43	0,22	0,37	0,08	0,15	0,04	6,38	0,44	221,18	61,07	11,46	0,96	9,21	1,12

225 Em ambientes aquáticos o carbono orgânico está presente na forma particulada (COPG -
 226 Carbono Orgânico Particulado Grosso e COPF - Carbono Orgânico Particulado Fino) e dissolvida
 227 (COD – Carbono Orgânico Dissolvido), assim como também é encontrado o Carbono Inorgânico
 228 Dissolvido (CID). Dentre estes, o COD foi determinado neste trabalho com concentração média anual
 229 de $4,07 \pm 1,13 \text{ mg L}^{-1}$. Na figura 7 são apresentadas as variações ao longo de 2012-2013 referente às
 230 concentrações de COD, PO_4^{3-} e SiO_2 . Entre estes constituintes, o que obteve melhor correlação linear
 231 em função da vazão foi o COD que mostrou correlação positiva ($R^2 = 0,56$).

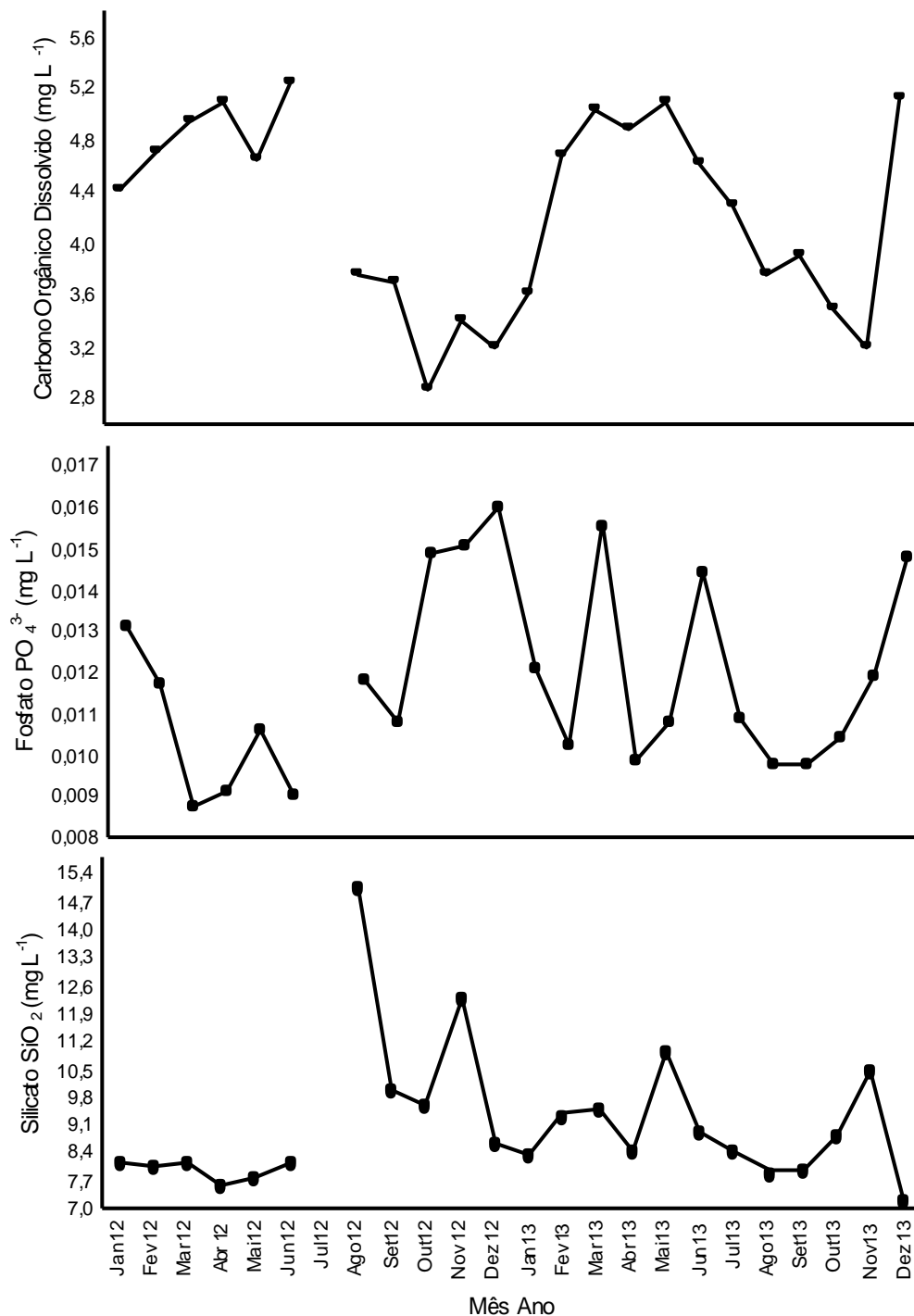


Figura 7: Concentrações mensais de Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Fosfato (PO_4^{3-}) e Silicato (SiO_2) durante o período de 2012-2013 coletadas em frente à cidade de Óbidos-PA, no canal principal do Rio Amazonas.

232 O Rio Madeira é o principal tributário do Rio Amazonas em termos de influxo de sedimentos
233 (Moreira-Turcq *et al.*, 2003) e, entre os maiores tributários a montante de Óbidos-PA, é o mais
234 próximo, desaguando no canal principal cerca de 600 Km acima de Óbidos-PA (Mortatti *et al.*, 1994).
235 Leite *et al.* (2011) determinaram a concentração de cátions, ânions e sedimentos em suspensão do Rio
236 Madeira entre os anos de 2004 a 2007 (com coletas mensais de Novembro de 2005 a Dezembro de
237 2007, estes autores enfatizam que séries similares, com ininterrupta anual, não são comuns na região
238 amazônica), realizaram também análises de COD e CID. A concentração média de COD foi de 359,3
239 μM (micromolar) ou 4,31 mg L^{-1} para todo o intervalo 2004-2007. No entanto, Moreira-Turcq *et al.*
240 (2003) também coletaram próximo à área de Leite *et al.* (2011) e obtiveram valor para o COD de 208
241 μM (2,50 mg L^{-1}) e na confluência do Rio Madeira com o Amazonas a concentração foi de 150 μM
242 (1,80 mg L^{-1}).

243 A concentração média de 2012-2013 encontrada de COD no canal principal foi de $4,07 \pm$
244 $1,13 \text{ mg L}^{-1}$ também com base em coletas mensais igual a Leite *et al.* (2011). Hedges *et al.* (2000)
245 também quantificaram a concentração de COD em Óbidos-PA com média semelhante (a atual) de 346
246 μM (aproximadamente 4,15 mg L^{-1}). Por outro lado, as medições de Richey *et al.* (1990) mostraram
247 concentração média (3,08 mg L^{-1}) 24% mais baixa que o atual. É possível que a resolução temporal
248 das coletas seja um dos fatores para esta dissimilaridade entre os valores de Moreira-Turcq *et al.* (2003)
249 e Leite *et al.* (2011) para o Rio Madeira, assim como a concentração média de COD encontrada por
250 Richey *et al.* (1990) e a quantificação atual para o Rio Amazonas em Óbidos-PA. Outras explicações
251 podem se referir às alterações ambientais ocorridas ao longo do período que separam as pesquisas ou
252 maior degradação da matéria orgânica convertendo COD em CID.

253 Em termos de variação dentro do período estudado, na figura 8 são apresentadas as médias
254 em cada estação da hidrógrafa para 2012-2013, e separadamente para o ano de 2012 e de 2013
255 referentes às concentrações de COD. Pela média inter anual, foi possível verificar que a média da
256 estação Seca ($3,29 \pm 0,27 \text{ mg L}^{-1}$) difere das médias das estações Enchente ($4,82 \pm 0,25 \text{ mg L}^{-1}$) e
257 Cheia ($4,93 \pm 0,29 \text{ mg L}^{-1}$). Isto pode ser reflexo de que, com o aumento no volume de água são
258 importados também maiores concentrações de matéria orgânica, tanto pela fonte de origem (a
259 Cordilheira dos Andes) como pelas contribuições laterais (bacias dos tributários) e verticais
260 (precipitação que “lava” a superfície e escoar até os rios).

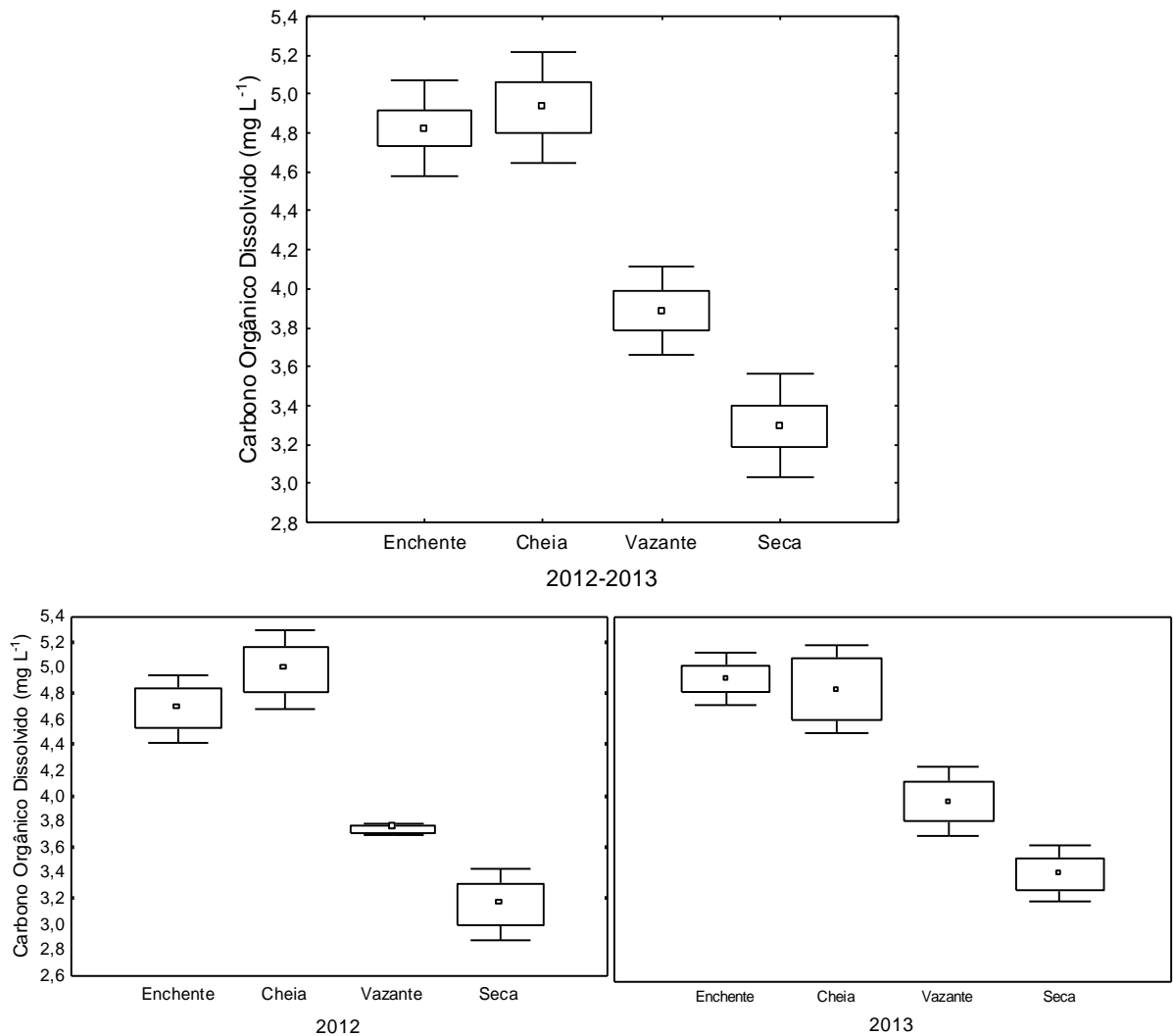


Figura 8: Variação sazonal da concentração de COD durante o período completo (2012-2013) e separadamente no ano de 2012 e de 2013, de acordo com a hidrógrafa.

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

Outra variável analisada neste trabalho foi o Nitrogênio e sua espécie orgânica e inorgânica. Água, luz, CO₂ e íons (ou nutrientes) são necessários para o crescimento das plantas. Alguns nutrientes são abundantes em águas continentais, mas outros nutrientes essenciais como por exemplo, Nitrogênio (N) e Fósforo (P) são geralmente presentes em baixas concentrações em sistemas naturais (Andrews *et al.*, 2004). No entanto, nota-se que globalmente, atividades humanas tem duplicado o transporte natural de nitrogênio reativo para os rios, principalmente na forma de nitrato NO₃⁻ (Andrews *et al.*, 2004).

Em relação ao ciclo do Nitrogênio em ambiente aquático, usa-se o termo remineralização para o estágio inicial da decomposição do NOP (Nitrogênio Orgânico Particulado) durante o qual o nitrogênio sólido é convertido em NOD (Nitrogênio Orgânico Dissolvido). O NOD é então degradado por bactérias heterotróficas, sendo um processo rápido devido à reatividade das ligações de nitrogênio-carbono. A completa quebra dessas ligações libera amônia (NH₃), que então reage com H⁺ ou H₂O para formar amônio (NH₄⁺). Esse processo é chamado de amonificação.

275 Em águas oxidadas, o processo de nitrificação é acelerado, pois o amônio é rapidamente
276 oxidado para nitrito e então para nitrato pela ação de bactérias. Essas bactérias oxidam o amônio para
277 nitrito, assim produzindo uma queda na concentração de amônio e um aumento na de nitrito. Os
278 elevados níveis de nitrito estimulam o crescimento outro tipo de bactérias, que oxidam o nitrito para
279 nitrato e eventualmente todo o NID é oxidado para nitrato.

280 Os resultados deste processo mostraram que a soma do NOD com as frações inorgânicas
281 (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-), ou seja, o Nitrogênio Dissolvido Total (NDT) apresentou concentração média de
282 $0,35 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$ no período de 2012-2013 (Figura 9). O valor médio de NOD foi de $0,19 \pm 0,09 \text{ mg}$
283 L^{-1} , sendo representante por aproximadamente 67% do NDT. O percentual restante (33%) do total
284 médio de NDT é referente à fração inorgânica, com concentração média de $8,55 \pm 3,06 \mu\text{g L}^{-1}$ para
285 NH_4^+ e para a soma de NO_2^- e NO_3^- (NOx) obteve valor médio de $143,12 \pm 66,63 \mu\text{g L}^{-1}$, portanto as
286 formas nítricas foram bastante superiores ao amônio, sendo equivalente a 94% do NID (Nitrogênio
287 Inorgânico Dissolvido) comparado aos 6% na forma amoniacal (Figura 9).

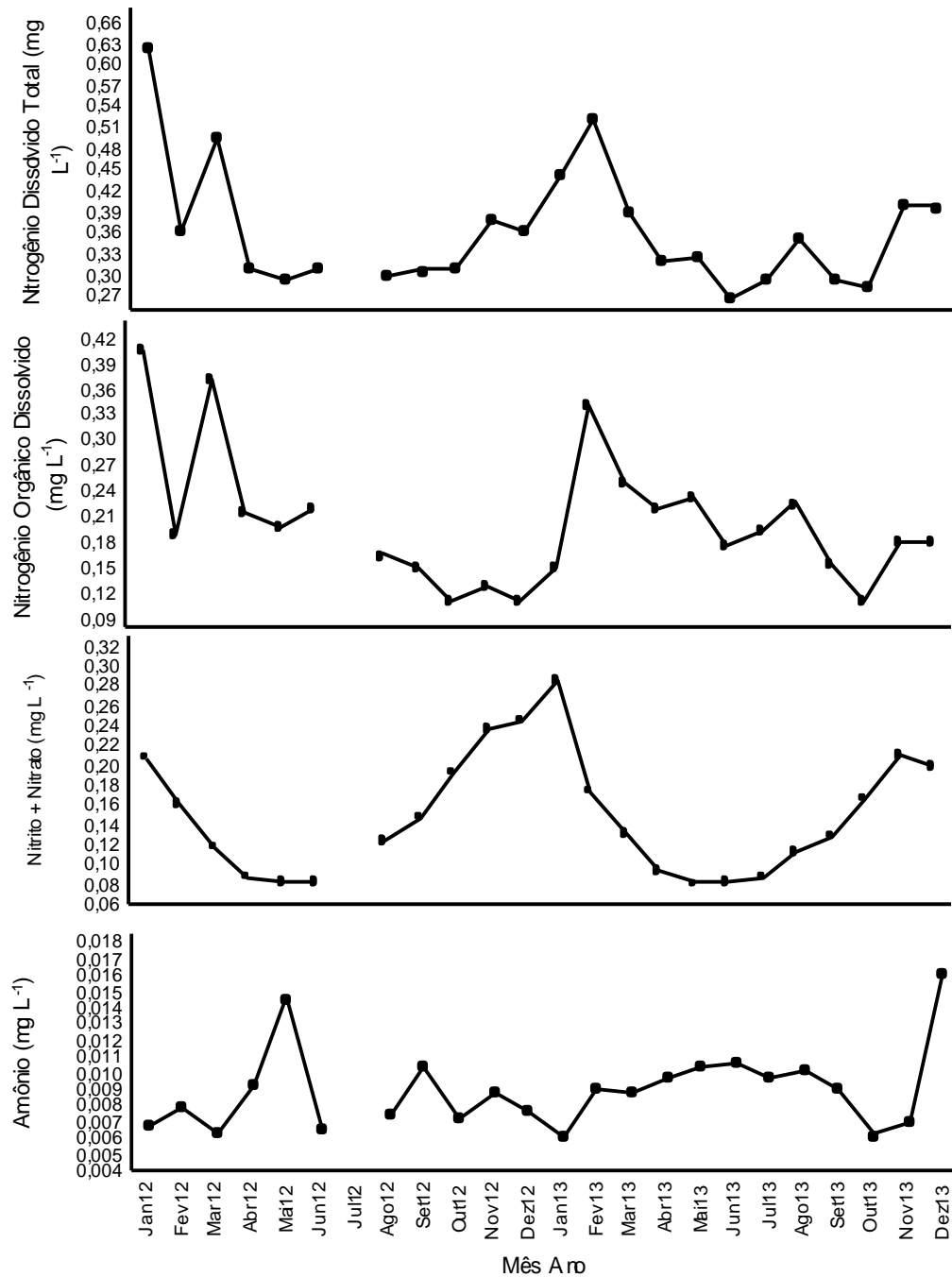


Figura 9: Concentrações mensais de Nitrogênio Dissolvido Total, fração de N Orgânico Dissolvido e N Inorgânico Dissolvido nas formas de Amônio e NOx (Nitrito + Nitrato) durante o período de 2012-2013 em Óbidos-PA.

288

289 Desta forma, a presença de oxigênio na água pode ser um fator catalisador para o processo
 290 de nitrificação. No entanto, a água não está sempre saturada de O₂, pois organismos na coluna aquática
 291 consomem OD (Oxigênio Dissolvido) rapidamente. As entradas de OD estão relacionadas
 292 principalmente à difusão (que aumenta com qualquer tipo de turbulência) e/ou fotossíntese (que é
 293 controlada por fatores como CO₂, luz, temperatura e disponibilidade de nutrientes para o crescimento
 294 de seres fotossintetizantes). A liberação de OD na água, por sua vez, é associada ao processo de
 295 respiração e oxi-redução que degrada/transforma a matéria orgânica.

296 Maior incidência de luz solar no período menos chuvoso e estação Seca também favorece a
297 proliferação e crescimento da população de produtores primários, como o fitoplâncton. Embora não
298 tenha sido mostrado boa correlação do NH_4^+ com o OD e/ou NO_x , a baixa concentração do NH_4^+ em
299 comparação com o NO_x , pode ser explicada tanto pela transformação de amônio em nitrito e nitrato
300 por meio de bactérias como também pode ser em razão da fácil assimilação do nutriente NH_4^+ pelo
301 fitoplâncton. Uma vez que o amônio possui estado de oxidação mais baixo que as formas nítricas, e
302 que resulta em menos energia gasta pelo fitoplâncton quando assimila as formas amoniacais. Por
303 outro lado, correlação positiva foi encontrada entre o NO_x e o OD ($R^2 = 0,58$).

304 A condutividade elétrica é um parâmetro físico-químico mensurado a partir da presença de
305 íons na solução aquosa e apresentou média para os dois anos do estudo de $52,88 \pm 10,25 \mu\text{S cm}^{-1}$, este
306 parâmetro mostrou correlação negativa com a vazão ($R^2 = 0,37$). Entre os íons, o NO_x foi o que
307 apresentou forte associação negativa com a vazão do Rio Amazonas ($R^2 = 0,80$) e correlação positiva
308 com a condutividade ($R^2 = 0,58$). Não foi observada relação entre o cátion NH_4^+ e a vazão, mas sua
309 associação com a condutividade foi verificada sendo inversa com $R^2 = 0,31$ e o ânion PO_4^{3-} , assim
310 como o NO_x , apresentou correlação inversa com a descarga do Rio Amazonas ($R^2 = 0,29$) e
311 associação positiva com a condutividade ($R^2 = 0,14$), no entanto em pequena proporção. O SiO_2 não
312 apresentou qualquer associação.

313 A variação sazonal com maiores diferenças nas concentrações de NO_x foi detectada entre a
314 estação Seca ($222,9 \pm 42,61 \mu\text{g L}^{-1}$) e a Cheia ($83,2 \pm 1,83 \mu\text{g L}^{-1}$). A concentração média na Cheia
315 também foi diferente comparada com a estação Enchente ($154,6 \pm 42,92 \mu\text{g L}^{-1}$), como mostra a figura
316 10 referente ao período completo 2012-2013. E entre as diferenças inter anuais, destaca-se a Seca
317 2012 ($224,6 \pm 28,30 \mu\text{g L}^{-1}$) com a de 2013 ($221,2 \pm 61,07 \mu\text{g L}^{-1}$) que pode estar associado às
318 diferenças na quantidade de descarga média entre a estação seca dos dois anos, provocando assim
319 maior concentração no ano de 2012 e diluição pelo maior volume de água no ano seguinte.

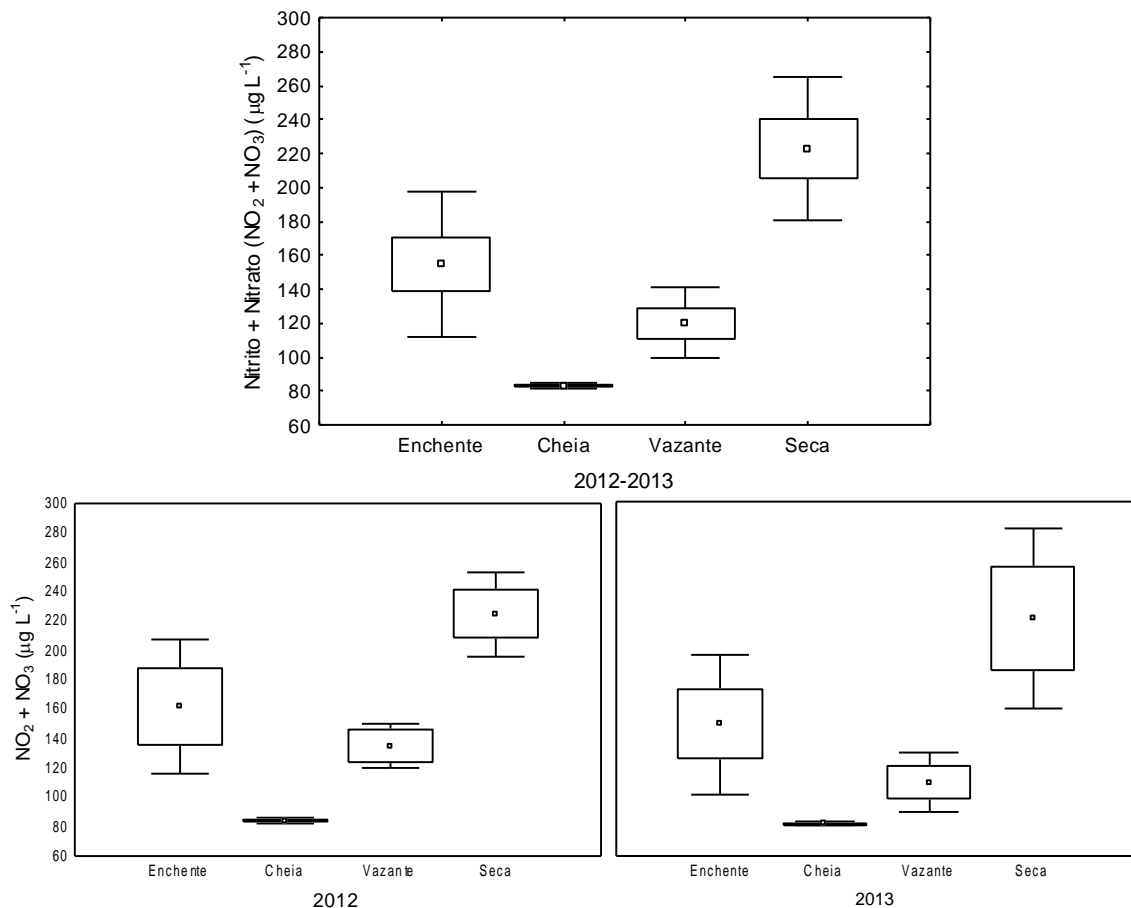


Figura 10: Variação sazonal da concentração de NO_x durante o período completo (2012-2013) e separadamente no ano de 2012 e de 2013, de acordo com a hidrógrafa.

320

321 Embora fraca, observou-se uma correlação positiva entre a concentração de OD com a
 322 temperatura ($R^2 = 0,27$), o valor médio de temperatura da água foi de 29,24 °C com variação entre
 323 mínimo de 27,7 °C e máximo de 31,1 °C, enquanto que oxigênio dissolvido foi 3,73 mg L⁻¹ com
 324 concentração mínima de 2,35 mg L⁻¹ e máxima atingindo 6,30 mg L⁻¹. Os valores de mínimo e
 325 máximo para ambos os parâmetros apresentaram-se na estação Cheia e Seca, respectivamente. Sendo
 326 também consideradas diferentes ($p < 0,05$) as médias das concentrações de OD na estação Cheia ($2,94 \pm$
 327 $0,68$ mg L⁻¹) e Seca ($5,82 \pm 0,35$ mg L⁻¹). O aumento na temperatura da água pode significar também
 328 que a atmosfera esteja aquecida em igual proporção, resultando em maior turbulência e geração de
 329 maresias (ondas) na superfície do rio, e assim provocando a entrada de OD na mistura da água fluvial.

330

331 Embora relacione-se a concentração do Nitrogênio com condições ambientais e/ou
 332 biológicos, a carga de nitrogênio em rios é cada vez mais controlada por atividades humanas
 333 independentemente da escala espacial, do clima, ou da região geográfica (Martinelli *et al.*, 2010). No
 334 estudo de Martinelli *et al.* (2010) foi observada correlação entre as concentrações e fluxos de
 335 nitrogênio com parâmetros demográficos, demonstrando que o fluxo aumenta após a densidade
 populacional atingir 10 indivíduos por Km². Para este estudo, foram medidas as concentrações de

336 NOD e NID em diferentes rios da Amazônia comparando com as concentrações de rios do Estado de
337 São Paulo.

338 Uma das estações de coleta foi na cidade de Óbidos-PA, e a concentração média encontrada
339 (com base nos dados obtidos durante o projeto CAMREX) por Martinelli *et al.* (2010) foi de 23,2 μM
340 ($0,32 \text{ mg L}^{-1}$) para NDT, com NOD apresentando média de 10,3 μM ($0,14 \text{ mg L}^{-1}$) e o NID foi de 13,0
341 μM ($0,18 \text{ mg L}^{-1}$). Comparando com os dados atuais de Óbidos-PA durante 2012 e 2013, a média do
342 NDT foi $0,35 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$ (acréscimo de 7,7%), obtendo média da fração orgânica de $0,19 \pm 0,09 \text{ mg}$
343 L^{-1} (aumento de 34,9%) mas com redução na média da fração inorgânica com $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ (diminuição
344 de 16,9%)

345 Quantificar as cargas de terminado elemento é um importante meio de se conhecer as
346 contribuições totais deste elemento dentro de um ecossistema. Uma forma útil de se estimar estas
347 cargas é através da utilização de programas específicos como o LOADEST. Na tabela 4 são
348 apresentados os valores dos coeficientes do modelo segundo estimativa AMLE e LAD (para NH_4^+ e
349 SiO_2), coeficiente de regressão e variância residual, de acordo com o modelo de regressão selecionado,
350 como mostrado na figura 5.

351

Tabela 4: Modelos de regressão selecionados pelo LOADEST e coeficientes do modelo, com R^2 e variância residual.

	Modelo #	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2 [%]	$\text{Var}_{\text{resid}}$
COD	4	17,8724	1,5451	0,0002	0,1250	-	97,89	0,0074
NDT	4	15,4045	1,3473	-0,0149	0,3433	-	89,69	0,0199
NOD	4	14,7219	2,2684	-0,1200	0,4434	-	88,53	0,0591
NH_4^+	3	11,7064	1,2401	0,1204	-	-	80,32	0,0586
NO_x	6	14,6277	0,1801	-0,5288	0,1156	0,2001	84,34	0,0075
PO_4^{3-}	1	12,0478	0,7299	-	-	-	76,47	0,0258
SiO_2	4	18,7451	0,0339	0,2785	-0,2975	-	84,90	0,0244

352

353 Os modelos selecionados para NDT e NO_x mostraram razão entre a soma das cargas
354 estimadas pela soma das cargas observadas igual a 1 (indicando confiança no modelo). No entanto, o
355 modelo selecionado dos constituintes COD, NOD e SiO_2 apresentou razão (1,001 referente para todos)
356 que pode considerar as cargas estimadas acima do valor observado. E em contrapartida, as cargas
357 estimadas para NH_4^+ e PO_4^{3-} podem ser consideradas subestimadas do valor observado, apresentando
358 razão de 0,996 e 0,998, respectivamente.

359 Segundo estimativas geradas pelo LOADEST, a carga transitada em frente à cidade de
360 Óbidos-PA referente ao Carbono Orgânico Dissolvido (COD) foi de 30,0 TgC (10^{12} g de carbono) no
361 ano de 2012 e 29,7 TgC em 2013. Na primeira campanha de coleta (Abril-Maio de 1982) do projeto
362 CAMREX (Carbon in the Amazon River EXperiment) em Óbidos-PA, Richey *et al.* (1990)

363 quantificaram a exportação anual de Carbono Orgânico Total com 36,1 Tg ano⁻¹, sendo 62% (22,1 Tg
364 C ano⁻¹) como COD, 34% na forma particulada fina e 4% particulado grosso.

365 O presente trabalho quantificou média de COD, para 2012-2013, de 29,85 TgC ano⁻¹,
366 observa-se um acréscimo de 7,75 TgC em relação a estimativa de Richey *et al.* (1990). Se considerado
367 um crescimento linear, foram 0,34 TgC ano⁻¹ adicionados na composição química da água do Rio
368 Amazonas a cada ano do intervalo de 23 anos.

369 Levantam-se aqui dois pontos de reflexão: o primeiro é focado no processo de desmatamento
370 na Amazônia que entre 1986 a 2002 teve taxa anual de desmatamento variando entre máxima de 29,1
371 x 10³ Km² ano⁻¹ (1995) e mínima 11,1 x 10³ Km² ano⁻¹ (1991), com valor médio para este período de
372 19,1 x 10³ Km² ano⁻¹ (Fearnside, 2006). E o segundo ponto é baseado no número de amostragens
373 (dados mensais) do presente trabalho comparado ao número de coletas (3 ou 4 vezes ao ano,
374 considerando a hidrógrafa) de outros projetos.

375 A consequência do crescimento acelerado nas taxas de desmatamento na Bacia Amazônica
376 na quantidade de carbono transportado para o oceano foi estudo de Moreira-Turcq *et al.* (2003) que,
377 entre outros objetivos, comparou seus resultados com as cargas estabelecidas, 10 anos antes, por
378 Richey *et al.* (1990), com base na premissa de que com o processo de desmatamento são esperados
379 mudanças nas transferências e fluxos de carbono orgânico (Moreira-Turcq *et al.*, 2003). A média anual
380 encontrada por estes autores, para o fluxo de COD, foi de 26,9 ± 3,0 TgC ano⁻¹, já indicando um
381 acréscimo de 4,8 TgC ano⁻¹ ao valor proposto uma década antes.

382 Uma semelhança entre as duas pesquisas mencionadas acima está na forma de aquisição dos
383 dados, por meio de coletas representativas da hidrógrafa na região, podendo ser superestimados ou
384 subestimados, uma vez que há diferenças entre cada estação e as concentrações podem variar no
385 decorrer de meses. Assim, o monitoramento mensal pode ser um diferencial na aquisição de uma linha
386 de base consistente.

387 Na tabela 5 são apresentados os somatórios, para cada período da hidrógrafa, das variáveis
388 nesta pesquisa.

389

Tabela 5: Quantidade total (Tg) referente às variáveis em estudo durante os períodos da hidrógrafa no ano de 2012 e 2013, segundo estimativas do LOADEST.

2012	COD	NDT	NOD	NH ₄ ⁺	NOx	PO ₄ ³⁻	SiO ₂
Enchente	8,04	0,750	0,451	0,0137	0,275	0,0192	13,9
Cheia	12,0	0,808	0,586	0,0221	0,210	0,0252	20,8
Vazante	7,31	0,509	0,314	0,0155	0,184	0,0200	15,3
Seca	2,63	0,288	0,100	0,0062	0,181	0,0115	9,79
2013	COD	NDT	NOD	NH ₄ ⁺	NOx	PO ₄ ³⁻	SiO ₂
Enchente	10,2	0,902	0,526	0,0209	0,344	0,0252	19,7
Cheia	7,61	0,493	0,349	0,0164	0,134	0,0167	14,2
Vazante	7,67	0,535	0,336	0,0182	0,187	0,0206	15,4
Seca	4,18	0,432	0,194	0,0097	0,224	0,0144	10,4

390

391 Observou-se elevado volume de restos de madeira (troncos inteiros, galhos e gravetos) e
 392 vegetação (de terra firme e macrófitas) flutuando no rio em Janeiro de 2013. Após 3 meses de Seca
 393 (estação da hidrógrafa em que os níveis da água ficam mais baixos) no fim de 2012, foi também o
 394 período em que a precipitação pluviométrica volta a se intensificar na região, dando reinício do
 395 período chuvoso. Desta forma, parte da matéria orgânica depositada no solo durante o período menos
 396 chuvoso, com o advento das chuvas, é carregada para dentro do rio e isto pode ser indício do aumento
 397 de COD na Seca de 2013.

398 A quantidade de Nitrogênio Dissolvido Total (NDT) em 2012 (2,35 TgN ano⁻¹) e 2013 (2,36
 399 TgN ano⁻¹), apresentou em sua forma Orgânica Dissolvida (NOD) 1,45 Tg ano⁻¹ e 1,40 Tg ano⁻¹ em
 400 2012 e 2013, respectivamente. E na forma Inorgânica Dissolvida (NID), representada pela fração de
 401 NH₄⁺ com 0,05Tg em 2012 e 0,07 Tg no ano seguinte, e pela maior fração inorgânica constituída por
 402 NO₂⁻ e NO₃⁻ sendo a soma das formas nítricas NOx: 0,85 Tg ano⁻¹ e 0,89 Tg ano⁻¹ em 2012 e 2013,
 403 respectivamente.

404 Devol *et al.* (1991) quantificaram o transporte de N e P do continente para o oceano, com
 405 base nas concentrações determinadas em Óbidos-PA, durante sete campanhas do projeto CAMREX.
 406 Seus resultados indicaram um transporte de Nitrogênio Orgânico Dissolvido (NOD) na ordem de 0,62
 407 TgN ano⁻¹, NO₃⁻ equivalente a 0,83 Tg ano⁻¹ e PO₄³⁻ correspondendo a 0,13 Tg ano⁻¹. Em relação ao
 408 transporte de NOD houve aumento superior ao dobro (~129%) da quantidade transitada em décadas
 409 passadas.

410 No atual trabalho, os compostos de fosfato (PO₄³⁻) foram quantificados com valores de 0,08
 411 TgP em ambos os anos, relativamente baixo se comparado ao quantificado por Devol *et al.* (1991).

412 O silicato (SiO₂) apresentou quantidades totais de 59,8 Tg ano⁻¹ e 59,7 Tg ano⁻¹, em
 413 sequência para o biênio 2012-2013.

414 Mortatti *et al.* (1996) calcularam espécies dissolvidas transportadas pelo Rio Amazonas, para
 415 a estação de Óbidos-PA, dentre as quais HCO₃⁻, SiO₂ e Ca²⁺ apresentaram os fluxos anuais mais
 416 elevados. O resultado obtido por Mortatti *et al.* (1996) para SiO₂ foi de 38,1 Tg ano⁻¹, bastante inferior

417 ao valor apresentado atualmente, indicando possível relação com o crescimento das áreas desmatadas
 418 que implicam em maior erosão dos solos e que, conseqüentemente, é carreada para os rios que
 419 convergem ao canal principal.

420

421 **4. CONCLUSÕES**

422 Embora tenha sido observado o aumento do transporte de cargas como o COD e
 423 SiO₂, em comparação com valores já registrados, ressalta-se a importância de continuar as
 424 medições mensais para a formação de uma linha de base consistente e atual das cargas
 425 transitadas do Rio Amazonas para sua foz, pois há indicativos de que a contribuição da região
 426 Amazônica para os totais globais são maiores do que o conhecido.

427

428 **AGRADECIMENTOS**

429 Agradecemos à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado da autora deste artigo, ao Woods Hole
 430 Research Center (WHRC) e Harbourton Foundation pelo financiamento do projeto Amazon River
 431 Observatory, em colaboração com a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), que
 432 proporcionou também o deslocamento da autora aos Estados Unidos e treinamento no laboratório de
 433 química ambiental do WHRC e Woods Hole Oceanographic Institution.

434

435 **REFERÊNCIAS**

- 436 Almeida F.V., Guimarães J.R., Jardim W.F. 2001. Measuring the CO₂ flux at the air/water interface in lakes
 437 using flow injection analysis. *J. Environ. Monit.*, **3**: 317-321.
- 438 Andrews J.E. *et al.*(Eds) 2004.*An Introduction to Environmental Chemistry*. 2ª ed. Malden: Blackwell Science
 439 Ltd, 326pp.
- 440 Battin T.J., Luysaert S., Kaplan L.A., Aufdenkampe A.K., Richter A., Tranvik L.J. 2009. The boundless carbon
 441 cycle. *Nature Geoscience* **2**:598-600.
- 442 Brewer P.G., Riley J.P. 1965. The automatic determination of nitrate in sea water. *Deep-Sea Research*, **12**:765-
 443 772.
- 444 Calléde J., Guyot J., Guimarães V.S., Oliveira E., Filizola N.P. 1996. *As descargas do Rio Amazonas em Óbidos*.
 445 (Tradução de uma nota em francês) Revista: "Revuedes Sciences de l'Eau", Brasília.
- 446 Devol A.H., Richey J.E., Forsberg B.R. 1991. Phosphorus in the Amazon River mainstem: concentrations, forms
 447 and transport to the ocean. In: Tiessen H., Lopez-Hernandez D., Salcedo I.H. (Eds) *Phosphorus cycles in*
 448 *terrestrial and aquatic ecosystems*, p.:9-23.
- 449 Devol A.H., Richey J.E., Forsberg B.R., Martinelli L.A. 1990. Seasonal Dynamics in the Methane Emissions
 450 from the Amazon River Floodplain to the Troposphere. *Journal of Geophysical Research* **95**:16.417-16.426.
- 451 Esteves A.R. 1993. *A ocupação da Amazônia*. 1ª ed. Tatuapé: Editora Brasiliense, 87 pp.
- 452 Fearnside P.M. 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, **36**:395-400.
- 453 Hansen H.P., Koroleff F. 1999. Determination of nutrients. In: Grasshoff K., Kremling K., Ehrhardt M. (Eds)
 454 *Methods of seawater analysis*, p.:159-228.
- 455 Hedges J.I., Clark W.A., Quay P.D., Richey J.E., Devol A.H., Santos U.M. 1986. Composition and fluxes of
 456 particulate organic material in the Amazon River. *Limnol. Oceanogr.*, **31**:717-738.
- 457 INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normas Climatológicas. 2012. Disponível em:
 458 <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 31 out. 2012.

- 459 Kitidis V. 2002. CDOM dynamics and photo ammonification in the marine environment, Tese de Doutorado,
460 Universidade de Newcastle, p. 182.
- 461 Krusche A.V., Ballester M.V., Victoria R.L., Bernardes M.C., Leite N.K., Hanada L., Vistoria D.C., Toledo
462 A.M., Ometto J.P., Moreira M.Z., Gomes B.M., Bolson A.M., Neto S.G., Bonelli N., Deegan L., Neill C., Thomas
463 S., Aufdenkampe A.K., Richey J.E. 2005. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos
464 d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazonica*, **35**:197-205.
- 465 Marengo J.A., Nobre C.A. 2001. General Characteristics and Variability of Climate in the Amazon Basin and its
466 Linksto the Global Climate System. In: McClain, M. E., Victoria, R. L., Richey, J. E. (Eds.). *The
467 Biogeochemistry of the Amazon River*. New York: Oxford University Press, Inc., 378pp. p.: 17-41.
- 468 Martinelli L.A., Devol A.H., Forsberg B.R., Victoria R.L., Richey J.E., Ribeiro M.N.G. 1989. Descarga de
469 sólidos dissolvidos totais do Rio Amazonas e seus principais tributários. *Geochim. Brasil.*, **3**:141-148.
- 470 Mayorga E., Aufdenkampe A.K. 2002. Processing of bioactive elements in the Amazon River system. In:
471 McClain M.E. (Ed.). *The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands*. IAHS Special Publication nº 6,
472 Venice: UNESCO, p.: 1-24.
- 473 Mayorga E., Aufdenkampe A.K., Masiello C.A., Krusche A.V., Hedges J.I., Quay P.D., Richey J.E., Brown T.A.
474 2005. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers. *Nature*, **436**:538-
475 541.
- 476 McClain M. 2001. The Relevance of Biogeochemistry to Amazon Development and Conservation. In: McClain
477 M.E., Victoria R.L., Richey J.E. (Eds.). *The Biogeochemistry of the Amazon River*. 1ª ed. New York: Oxford
478 University Press, Inc., 378p. Cap. 1, p.: 3-16.
- 479 Moreira-Turcq P., Seyler P., Guyot J-L., Etcheber H. 2003. Exportation of organic carbon from the Amazon
480 River and its main tributaries. *Hydrology Processes*, **17**:1329-1344.
- 481 Mortatti J., Probst J.L., Tardy Y. 1994. Avaliação do escoamento superficial na Bacia Amazônica através do
482 transporte de material fluvial. *Geochim. Brasil.*, **8**:235-243.
- 483 Rasera M.F.F.L., Ballester M.V., Krusche A.V., Salimon C., Montebelo L.A., Alin S.R., Victoria R.L., Richey
484 J.E. 2008. Estimating the Surface Area of Small Rivers in the Southwestern Amazon and their Role in CO₂
485 Outgassing. *Earth Interactions*, **12**:1-16.
- 486 Remington S., Krusche A.V., Richey J.E. 2011. Effects of DOM photochemistry on bacterial metabolism and
487 CO₂ evasion during falling water in a humic and a whitewater river in the Brazilian Amazon. *Biogeochemistry*,
488 **105**:185-200.
- 489 Richey J.E., Hedges J.I., Devol A.H., Quay P.D., Victoria R.L., Martinelli L.A., Forsberg B.R.
490 1990. Biogeochemistry of Carbon in the Amazon River. *Limnol. Oceanogr.*, **35**: 352-371.
- 491 Richey J.E., Krusche A.V., Johnson M.S., Da Cunha H.B., Ballester M.V. 2009. The Role of Rivers in the
492 Regional Carbon Balance. In: Keller *et al.* (Eds.). *Amazonia and Global Change*. Geophysical Monograph
493 Series, v. 186, Washington: American Geophysical Union, p.:489-504.
- 494 Richey J.E., Meade R.H., Salati E., Devol A.H., Nordin Jr. C.F., Santos U. 1986. Water Discharge and Suspended
495 Sediment Concentrations in the Amazon River: 1982-1984. *Water Resouces Research*, **22**:756-764.
- 496 Richey J.E., Melack J.M., Aufdenkampe A.K., Ballester V.M., Hess L.L. 2002. Outgassing from Amazonian
497 rivers an wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature*, **416**:617-620.
- 498 Richey J.E., Nobre C., Deser C. 1989. Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. *Science*,
499 *New Series*, **246**:101-103.
- 500 Runkel R.L., Crawford C.G., Cohn T.A. 2004. Load Estimator (LOADEST): A FORTRAN program for
501 estimating constituent loads in streams and rivers. U.S. Geological Survey, Virginia, 75pp.
- 502 SKALAR. 1996. San^{plus} systems autoanalyzer handbook of operations. SKALAR, Norcross, GA.
- 503 Victoria R.L., Martinelli L.A., Mortatti J., Richey J.E. 1991. Mechanisms of water recycling in the Amazon Basin:
504 Isotopic insights. *Ambio*, **20**:384-387.
- 505 Vigil K. M. **Clean Water: an introduction to water quality and water pollution control**. 2ª ed. Corvallis:
506 Oregon State University Press, 2003. 192p.

3. SÍNTESE INTEGRADORA

Embora tenha sido observado o aumento do transporte de cargas como o COD e SiO₂, em comparação com valores já registrados, ressalta-se a importância de continuar as medições mensais para a formação de uma linha de base consistente e atual das cargas transitadas do Rio Amazonas para sua foz, pois há indicativos de que a contribuição da região Amazônica para os totais globais são maiores do que o conhecido.

Uma das alternativas propostas para se comparar os aumentos na quantidade de cargas transportadas pelo Rio Amazonas é o uso de imagens de satélite na perspectiva de associar a evolução do desmatamento de 1990-2000 e de 2000-2010, desta forma seria possível visualizar e quantificar a extensão das áreas desmatadas e sua influência no volume de compostos orgânicos e inorgânicos na composição química da água do Rio Amazonas.

As próximas etapas do projeto também preveem a combinação dos dados de concentração de COD e os dados de variação mensal dos fluxos de CO₂ em evasão do Rio Amazonas. Além da obtenção dos dados isotópicos ¹⁴C, ¹⁵N e ¹⁸O, da Matéria Orgânica Dissolvida e de Elementos traços que serão apresentados em artigos posteriores. Assim como o prosseguimento deste estudo de cargas totais de COD, NDT, NOD, NH₄⁺, NO_x, PO₄³⁻ e SiO₂.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. P.; OMETTO, J. O.; NOBRE, C.; CÂMARA, G.; LONGO, K.; ALVALÁ, R., ARAUJO, R. J.; SOARES, V.; VARELIANO, D.; ALMEIDA, C.; VIEIRA, I. E ALMEIDA, A. Estimativa das Emissões de CO₂ por desmatamento na Amazônia Brasileira; **Relatório Técnico Sintético** INPE, 2009.
- ALIN, S. R.; RASERA, M. F. F. L; SALIMON, C. I.; RICHEY, J. E.; HOLTGRIEVE, G. W.; KRUSCHE, A. V.; SNIDVONGS, A. Physical controls on carbon dioxide transfer velocity and flux in low-gradient river systems and implications for regional carbon budgets. **Journal of Geophysical Research**, [S.I.], v. 116, p. 1-17, 2009.
- ALMEIDA, F. V.; GUIMARÃES, J. R.; JARDIM, W. F. Measuring the CO₂ flux at the air/water interface in lakes using flow injection analysis. **J. Environ. Monit.**, v. 3, p. 317-321, 2001.
- AMORIM, M. A.; MOREIRA-TURCQ, P. F.; TURCQ, B. J.; CORDEIRO, R. C. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. **Acta Amazonica**, [S.I.], v. 39, n.12, p. 165-172, 2009.

ANDREWS, J. E. *et al.* **An Introduction to Environmental Chemistry**. 2ª ed. Malden: Blackwell Science Ltd, 2004. 326p.

AUFDENKAMPE, A. K.; HEDGES, J. I.; RICHEY, J. E.; KRUSCHE, A. V.; LLERENA, C. A. Sorptive fractionation of dissolved organic nitrogen and amino acids onto fine sediments within the Amazon Basin. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 46, n. 8, p. 1921-1935, 2001.

BATISTELLA, M.; ARTAXO, P.; NOBRE, C.; BUSTAMANTE, M.; LUIZÃO, F. Results from LBA and a Vision for Future Amazonian Research. In: KELLER *et al.* (Ed.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Series, v. 186, Washington: American Geophysical Union, 565 p. p. 555-563, 2009.

BATTIN, T. J.; LUYSSAERT, S.; KAPLAN, L. A.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHTER, A.; TRANVIK, L. J. The boundless carbon cycle. **Nature Geoscience** v. 2, p. 598-600, 2009.

BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2ª ed. Reimpressão. Rio de Janeiro, RJ:Editora FGV, 2007. Cap. 3.

BREWER, P. G.; RILEY, J. P. The automatic determination of nitrate in sea water. **Deep-Sea Research**, v. 12, p. 765-772, 1965.

CALLÉDE, J.; GUYOT, J.; GUIMARÃES, V. S.; OLIVEIRA, E.; FILIZOLA, N. P. As descargas do Rio Amazonas em Óbidos. (Tradução de uma nota em francês) Revista: “**Revue des Sciences de l’Eau**”, Brasília, 1996.

CEPLAC-PA. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. 2012. Disponível em: <<http://www.ceplacpa.gov.br/site/wp-content/uploads/2010/04/Dados%20climatologicos%20Obidos%20.pdf>>. Acesso em: 25 out 2012.

DEVOL, A. H.; HEDGES, J. I. Organic Matter and Nutrients in the Mainstem Amazon River. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The Biogeochemistry of the Amazon River**. 1ª ed. New York: Oxford University Press, Inc., 2001. 378p. Cap. 15, p. 275-306.

DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; MARTINELLI, L. A. The role of gas exchange in the inorganic carbon, oxygen, and ²²²Rn budgets of the Amazon River. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 32, n. 1, p. 235-248, 1987.

DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E.; FORSBERG, B. R.; MARTINELLI, L. A. Seasonal Dynamics in the Methane Emissions from the Amazon River Floodplain to the Troposphere. **Journal of Geophysical Research**, [S.I.], v. 95, n. D10, p. 16.417-16.426, 1990.

DUNNE, T.; MERTES, L. A. K.; MEADE, R. H.; RICHEY, J. E.; FORSBERG, B. R. Exchanges of sediment between the flood plain and channel of the Amazon River in Brazil. **GSA Bulletin**, [S.I.], v. 110, n. 4, p. 450-467, 1998.

ESTEVEES, A. R. **A ocupação da Amazônia**. 1ª ed. Tatuapé: Editora Brasiliense, 1993. 87 p.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, [S.I.], v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

- FORSBERG, B. R.; ARAUJO-LIMA, C. A. R. M.; PADOVANI, C. R.; VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; FERNANDEZ, J. M.; RICHEY, J. E. Teias energéticas aquáticas da Amazônia Central. In: II CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA/ I CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA, 1992, Caxambú-MG. **Anais...** Caxambú-MG: 1992.
- FORSBERG, B. R.; DEVOL, A. H.; RICHEY, J. E.; MARTINELLI, L. A.; SANTOS, U. Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 33, n. 1, p. 41-56, 1988.
- HANSEN, H. P.; KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. (Eds) **Methods of seawater analysis**, p.:159-228. 1999.
- HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; SANTOS, U. M. Composition and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 31, n. 4, p. 717-738, 1986.
- HOLMES, R. M.; MCCLELLAND, J. W.; PETERSON, B. J.; TANK, S. E.; BULYGINA, E.; EGLINTON, T. I.; GORDEEV, V. V.; GURTOVAYA, T. Y.; RAYMOND, P. A.; REPETA, D. J.; STAPLES, R.; STRIEGL, R. G.; ZHULIDOV, A. V.; ZIMOV, S. A. Seasonal and annual fluxes of nutrients and organic matter from large rivers to the Arctic Ocean and surrounding seas. *Estuaries and Coasts*, v. 35, p. 369-382, 2012.
- HOMMA, A. K. O.; WALKER, R. T.; SCATENA, F. N.; CONTO, A. J.; CARVALHO, R. A.; FERREIRA, C. A. P.; SANTOS, A. I. M. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental. In: HOMMA, A. K. O. (Ed.). **Amazônia: Meio Ambiente e Desenvolvimento Agrícola**. 1ª Ed. Brasília: Embrapa-SPI; Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 412p. Cap. 5. p. 119-141.
- HOMMA, A. K. O.; WALKER, R. T.; SCATENA, F. N.; CONTO, A. J.; CARVALHO, R. A.; ROCHA, A. C. P. N.; FERREIRA, C. A. P.; SANTOS, A. I. M. **Dynamics of deforestation and burning in Amazonia**: a microeconomic analysis. London: Overseas Development Institute, 1993.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Normas Climatológicas. 2012. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 31 out. 2012.
- IRD/CNPq. Biogeoquímica dos lagos de várzea da Bacia Amazônica. **Relatório Parcial de Projeto Ago/2004 – Dez/2006**. Brasília, 2006. 27 p.
- KITIDIS, V. CDOM dynamics and photoammonification in the marine environment, Tese de Doutorado, Universidade de Newcastle, p. 182, 2002.
- KOUMROUYAN, A.; SANTANA, G. P. Química dos elementos-traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapuru - Amazonas), sob influência do pulso de inundação do Baixo Rio Solimões. **Acta Amazonica**, [S.I.], v. 38, n. 2, p. 491-502, 2008.
- KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE, N. K.; HANADA, L.; VISTORIA, D. C.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, A. M.; NETO, S. G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. Efeitos das mudanças do uso da

terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, [S.I.], v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

LBA. **Sobre o LBA**. Disponível em: <<http://150.163.158.28/lba/site/>>. Acesso em: 15 out. 2012.

LIMA, M. A. Agropecuária Brasileira e as Mudanças Climáticas Globais: Caracterização do Problema, Oportunidades e Desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 19, n.3, p. 451-472, 2002.

Link do relatório think tank acessado em 03/02/14

<http://www.thinktankmap.org/FilePagineStatische/Report%202012%20ICCG%20Climate%20Think%20Tank%20Ranking.pdf>

MACHADO, C. J. S. Observações sócio-antropológicas sobre os cientistas em ação na Amazônia central: estudo de caso do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. **Revista de Antropologia Iberoamericana**, Madri, Ed. Eletrônica, nº especial, 2005.

MANTOURA, R.F.C. & WOODWARD, E.M.S. Conservative behaviour of riverine dissolved organic carbon in the Severn Estuary: chemical and geochemical implications. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 47, p.:1293- 1309. 1983.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. General Characteristics and Variability of Climate in the Amazon Basin and its Linksto the Global Climate System. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The Biogeochemistry of the Amazon River**. 1ª ed. New York: Oxford University Press, Inc., 2001. 378p. Cap. 2, p. 17-41.

MARTINELLI, L. A.; DEVOL, A. H.; FORSBERG, B. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E.; RIBEIRO, M. N. G. Descarga de sólidos dissolvidos totais do Rio Amazonas e seus principais tributários. **Geochim. Brasil.**, [S.I.], v. 3, n. 2, p. 141-148, 1989.

MAYORGA, E.; AUFDENKAMPE, A. K. Processing of bioactive elements in the Amazon River system. In: MCCLAIN, M. E. (Ed.). **The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands**. IAHS Special Publication nº 6, Venice: UNESCO, 2002. Cap. 1. p. 1-24.

MAYORGA, E.; AUFDENKAMPE, A. K.; MASIELLO, C. A.; KRUSCHE, A. V.; HEDGES, J. I.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; BROWN, T. A. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers. **Nature**, [S.I.], v. 436, p. 538-541, 2005.

MCCLAIN, M. The Relevance of Biogeochemistry to Amazon Development and Conservation. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The Biogeochemistry of the Amazon River**. 1ª ed. New York: Oxford University Press, Inc., 2001. 378p. Cap. 1, p. 3-16.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; TARDY, Y. Avaliação do escoamento superficial na Bacia Amazônica através do transporte de material fluvial. **Geochim. Brasil.**, [S.I.], v. 8, n. 2, p.235-243, 1994.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; TARDY, Y. Flutuações no consumo de CO₂ atmosférico pela alteração das rochas na Bacia Amazônica desde 1900. **Geochim. Brasil.**, [S.I.], v. 8, n. 2, p. 225-234, 1994.

NASA. **Pre-LBA Carbon in the AMazon River EXperiment (CAMREX) DATA.** Disponível em: http://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=NASA&KeywordPath=Parameters|TERRESTRIAL+HYDROSPHERE&EntryId=PRE-LBA_CAMREX&MetadataView=Full&MetadataType=0&lbnode=mdlb4. Acesso em: 15 out. 2012.

NOBRE, C. A. Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono? In: **Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia.** Ministério do Meio Ambiente, 2001. p.197-224.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, 2007.

PRESS, F.; SIEVER R.; GROTZINGER, J. & JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra.** Porto Alegre, Bookman, Tradução: Rualdo Menegat. 4ª Edição, 1ª Reimpressão, 2006, 656 p.

QUAY, P. D.; WILBUR, D. O.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; BENNER, R.; FORSBERG, B. R. The ^{18}O : ^{16}O of dissolved oxygen in rivers and lakes in the Amazon Basin: Determining the ratio of respiration to photosynthesis rates in freshwaters. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 40, n. 4, p. 718-729, 1995.

QUAY, P. D.; WILBUR, D. O.; RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; VICTORIA, R. L. Carbon cycling in the Amazon River: Implication from the ^{13}C compositions of particles and solutes. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 37, n. 4, p. 857-871, 1992.

RASERA, M. F. F. L.; BALLESTER, M. V.; KRUSCHE, A. V.; SALIMON, C.; MONTEBELO, L. A.; ALIN, S. R.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. Estimating the Surface Area of Small Rivers in the Southwestern Amazon and their Role in CO_2 Outgassing. **Earth Interactions**, [S.I.], v. 12, n. 6, p. 1-16, 2008.

RAYMOND, P. A.; COLE, J. J. Gas Exchange in Rivers and Estuaries: Choosing a Gas Transfer Velocity. **Estuarine Research Federation**, [S.I.], v. 24, n. 2, p. 312-317, 2001.

REMYNGTON, S.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. Effects of DOM photochemistry on bacterial metabolism and CO_2 evasion during falling water in a humic and a whitewater river in the Brazilian Amazon. **Biogeochemistry**, [S.I.], v. 105, p. 185-200, 2011.

RICHEY, J. E. Pathways of Atmospheric CO_2 through Fluvial Systems. In: FIELD, C. B.; RAUPACH, M. R. (Ed.). **The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World.** SCOPE, Washington/Covelo/London: Island Press, 2004. Cap.17. p. 329-341.

RICHEY, J. E. Publications of the Carbon in the Amazon River Experiment (CAMREX). **University of Washington**, 2009.

RICHEY, J. E.; BALLESTER, M. V.; DAVIDSON, E. A.; JOHNSON, M. S.; KRUSCHE, A. V. Land-Water interaction in the Amazon. **Biogeochemistry**, [S.I.], v. 105, p. 1-5, 2011.

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H.; QUAY, P. D.; VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; FORSBERG, B. R. Biogeochemistry of Carbon in the Amazon River. **Limnol. Oceanogr.**, [S.I.], v. 35, n. 2, p. 352-371, 1990.

- RICHEY, J. E.; KRUSCHE, A. V.; JOHNSON, M. S.; DA CUNHA, H. B.; BALLESTER, M. V.; The Role of Rivers in the Regional Carbon Balance. In: KELLER *et al.* (Ed.). **Amazonia and Global Change**. Geophysical Monograph Series, v. 186, Washington: American Geophysical Union, 565 p. p.489-504, 2009.
- RICHEY, J. E.; MEADE, R. H.; SALATI, E.; DEVOL, A. H.; NORDIN Jr., C. F.; SANTOS, U. Water Discharge and Suspended Sediment Concentrations in the Amazon River: 1982-1984. **Water Resources Research**, [S.I.], v. 22, n. 5, p. 756-764, 1986.
- RICHEY, J. E.; MELACK, J. M.; AUFDENKAMPE, A. K.; BALLESTER, V. M.; HESS, L. L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. **Nature**, v. 416, p. 617-620, 2002.
- RICHEY, J. E.; MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; VICTORIA, R. L.; FORSBERG, B. R.; TANCREDI, A. C. N. S.; OLIVEIRA, E. Sources and routing of the Amazon River flood wave. **Global Biogeochemical Cycles**, [S.I.], v. 3, n. 3, p. 191-204, 1989.
- RICHEY, J. E.; NOBRE, C.; DESER, C. Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. **Science**, New Series, v. 246, n. 4926, p. 101-103, 1989.
- RICHEY, J. E.; BROCK, J. T.; NAIMAN, R. J.; WISSMAR, R. C.; STALLARD, R. F. Organic Carbon: Oxidation and transport in the Amazon River. **Science**, New Series, v. 207, n. 4437, p. 1348-1351, 1980.
- RUNKEL, R. L.; CRAWFORD, C. G.; COHN, T. A. Load Estimator (LOADEST): A FORTRAN program for estimating constituent loads in streams and rivers. U.S. Geological Survey, Virginia, 75pp. 2004.
- SERRÃO, E. A. S.; NEPSTAD, D. C.; WALKER, R. T. Desenvolvimento agropecuário e florestal de terra firme na Amazônia: sustentabilidade, criticalidade e resiliência. In: HOMMA, A. K. O. (Ed.). **Amazônia: Meio Ambiente e Desenvolvimento Agrícola**. 1ª Ed. Brasília: Embrapa-SPI; Belém: Embrapa-CPATU, 1998. 412p. Cap. 14. p. 367-386.
- SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R. Trace Elements in the Mainstem Amazon River. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Ed.). **The Biogeochemistry of the Amazon River**. 1ª ed. New York: Oxford University Press, Inc., 2001. 378p. Cap. 16, p. 307-327.
- SKALAR. San^{plus} systems autoanalyzer handbook of operations. SKALAR, Norcross, GA. 1996.
- SOUSA, E. S.; SALIMON, C. I.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A. V.; ALIN, S. R.; LEITE, N. K. Dissolved inorganic carbon and pCO₂ in two small streams draining different soil types in Southwestern Amazonia, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 2, p. 37-50, 2008.
- STALLARD R.F. & EDMOND J.M. Geochemistry of the Amazon. 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, p.:9671-9688, 1983.
- VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A.; MORTATTI, J.; RICHEY, J. E. Mechanisms of water recycling in the Amazon Basin: Isotopic insights. **Ambio**, [S.I.], v. 20, p. 384-387, 1991.

VIGIL, K. M. **Clean Water**: an introduction to water quality and water pollution control. 2^a ed. Corvallis: Oregon State University Press, 2003. 192p.

WHRC. Global Ecology: Building the Global Rivers Observatory. Disponível em: http://www.whrc.org/global/global_rivers/index.html**. Acesso em: 15 out. 2012.**

WISSMAR, R. C.; RICHEY, J. E.; STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Plankton Metabolism and Carbon Processes in the Amazon River, Its Tributaries, and Floodplain Waters, Peru-Brazil, May-June 1977. **Ecology**, [S.I.], v. 62, n. 6, p. 1622-1633, 1981.

ANEXOS

ANEXO A: Normas para submissão de artigo para a Revista *Geochimica Brasiliensis*.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Os manuscritos submetidos para publicação na *Geochimica Brasiliensis* não devem ter sido publicados previamente ou estar sendo considerado para publicação em outro veículo de divulgação científica. Ao submeter um manuscrito o(s) autor(es) concordam que os direitos do artigo sejam transferidos para a Sociedade Brasileira de Geoquímica (SBGq) quando da publicação do artigo. O conteúdo dos artigos é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

1. PREPARAÇÃO PARA SUBMISSÃO.

a) Tipo e Tamanho de Arquivo: Para submissão inicial o manuscrito deverá ser submetido em **arquivo único no formato pdf** com as linhas numeradas em sequência. Tabelas e Figuras devem estar contidas no corpo do texto no local apropriado de inserção. O manuscrito não poderá ultrapassar a **8.000** palavras, incluindo título, autores, instituições e e-mail, resumo e palavras-chave, texto, referências e legendas. Nenhum **arquivo** poderá ultrapassar **10Mb** de tamanho.

b) Forma de envio: O **arquivo do manuscrito** deverá ser enviado pelo sistema de submissão da página da *Geochimica Brasiliensis* (www.geobrasiliensis.com.br).

2. ARTIGOS

a) Serão aceitos manuscritos redigidos em Português e Inglês. O Corpo Editorial da *Geochimica Brasiliensis* incentiva os autores a submeter manuscritos em inglês para propiciar maior visibilidade ao seu trabalho.

b) Organização do Manuscrito: O Corpo Editorial da *Geochimica Brasiliensis* sugere que o(s) autor(es) apresentem o texto na seguinte sequência: título, nome completo do(s) autor(es), endereço e e-mail, resumo, palavras-chave, texto completo, agradecimentos e referências. O texto completo deve conter os seguintes itens: Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusões. Estes itens devem estar numerados em sequência. O uso de subitens deve ser evitado na medida do possível.

c) Resumo: O(s) autor(es) devem apresentar um resumo de 150 a 250 palavras em fonte Times New Roman, tamanho 10, espaço 1, justificado.

d) Palavras-Chave: O(s) autor(es) devem apresentar de 3 a 5 palavras-chave.

e) Formato do texto: Editar o texto em Word, fonte Times New Roman, tamanho 11, espaço 1,5, papel A4, orientação em retrato e editado em apenas uma coluna, com as linhas numeradas em sequência. As margens deverão ter as seguintes medidas: superior: 2,0; inferior 2,0; esquerda 3,0 e direita 2,0. Tabelas Gráficos e Figuras devem ser inseridas no texto logo após a primeira citação. Devem ser numeradas em ordem crescente e centralizadas. Legendas das Tabelas devem ser escritas na sua parte superior. Devem ser também centralizadas. Legendas de gráficos e figuras devem ser escritas na parte inferior centralizadas. Todas as referências devem ser citadas no texto, identificadas pelo autor(es) e data de publicação (veja modelo abaixo). Elas devem ser listadas em ordem alfabética no item Referências.

f) Abreviações: Devem ser evitadas ou mantidas ao mínimo. Se usadas, devem ser definidas na primeira vez em que forem mencionadas e não devem ser utilizadas no título e resumo, a menos que seja absolutamente necessário.

g) Ilustrações: A versão impressa da *Geochimica Brasiliensis* publica ilustrações em preto e branco e tons de cinza.

As ilustrações coloridas poderão ser publicadas, na versão impressa, desde que o autor pague o valor de R\$ 500,00 (quinhentos reais) por página colorida. O(s) autor(es) será(ão) informado(s) sobre o número de páginas coloridas após a diagramação do artigo aceito. O pagamento deverá ser feito em conta da SBGq. Para informações, entrar em contato com a secretaria (secretaria@sbgq.org.br).

As ilustrações gráficas, fotográficas e fotomicrográficas serão numeradas sequencialmente, na ordem de sua citação no texto e serão consideradas indiscriminadamente como Figuras. Deverão ser separadas do texto por uma linha. Não serão aceitos encartes. Fotografias de afloramentos deverão apresentar barra de escala.

Letreiros e símbolos das ilustrações devem ter dimensões adequadas para permitir legibilidade. **As ilustrações** deverão ter **larguras máximas** de **8,5** ou **18** centímetros e **comprimento máximo** de **25,5** centímetros (permitir diagramação em duas colunas). Explicar todos os símbolos claramente. Escalas gráficas, se necessárias, devem ser colocadas dentro da área das ilustrações.

As **Tabelas** devem ser auto-explicativas, com as laterais abertas, concisas e numeradas sequencialmente. Devem ser elaboradas em Times New Roman, tamanho 9.

h) Equações: Numerar as equações sequencialmente à direita, com números arábicos entre parênteses.

i) Citações no corpo do texto: Deve-se adotar os formatos do seguinte exemplo: ..."Cunha (1985) interpreta a feição como uma estrutura de resfriamento magmático precoce, mas outros autores (Lima 1986, Fonseca *et al.* 1989, Ferreira & Araújo 1994) como uma feição tardia".

j) Agradecimentos. Devem constar de um parágrafo à parte, colocado antes das referências.

k) Referências: Relatórios internos NÃO serão aceitos nas referências, com exceção daqueles que são amplamente difundidos na comunidade científica e autorizados pelos consultores *da GB*. As referências deverão ser feitas em Times New Roman, tamanho 10, espaço 1. O espaçamento automático deve ser usado entre os parágrafos. As referências devem estar em ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor, empregando os seguintes formatos:

Livros:

Arndt N.T. & Nisbet E.G. (Eds.) 1982. *Komatiites*. George Allen & Unwin, London, 526 pp.

Capítulos de Livros:

Pollack H.N. 1997. Thermal characteristics of the Archean. *In*: M. de Wit & L.D. Ashwal (eds.) *Greenstone belts*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 25, Oxford University Press, p.: 223-232.

Artigos de Periódicos:

Resende M.G. & Jost H. 1995. Petrogênese de formações ferríferas e metahidrotermalitos da Formação Aimbé, Grupo Guarinos (Arqueano), Goiás. *Rev.Bras. Geoc.*, **25**:41-50.

Resende M.G., Jost H., Osborne G.A., Mol A. 1998. The stratigraphy of the Goiás and Faina greenstone belts, Central Brazil: a new proposal. *Rev. Bras. Geoc.*, **28**:1-15.

Sabóia L. A. 1979. Os *greenstone belts* de Crixás e Goiás, Go. *In*: SBG, Núcleo Centro-Oeste, *Boletim Informativo*, **9**:44-72.

Artigos em Publicações Seriadas:

Barbosa O., Braun O.P.G., Dyer R.C., Cunha C.A.B.R. 1970. *Geologia da região do Triângulo Mineiro*. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, Boletim 136, 140 p.

Teses e Dissertações:

Resende L. 1995. Estratigrafia, petrografia e geoquímica da seqüência sedimentar do greenstone Belt de Pilar de Goiás, GO. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 p.

Artigos publicados em eventos:

Tassinari C.C.G., Siga Jr. O, Teixeira W. 1981. Panorama geocronológico do centro-oeste brasileiro: solução, problemática e sugestões. *In*: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 1, Atas, p. 175.

Fotografias aéreas:

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO 1986. (São Paulo). Projeto Lins Tupã. Foto aérea. Escala 1:25.000, São Paulo, Fx28, n. 15.

Folhas e mapas impressos:

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 1987. São José dos Campos (SP): atualização do uso da terra. SF-23-Y-D-II-1 MI-2769/1. São José dos Campos, Mapa Topográfico, escala 1:100.000.

Silva A.J. 1999. Mapa geológico da Bacia de Campos. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1 mapa geológico, escala 1:50.000.

Programas e conjuntos de softwares:

MICROSOFT 1995. Project for Windows 95, version 4.1: project planning software. Redmond, Wa, Microsoft Corporation. Conjunto de programas 1 CD-ROM.

Páginas e documentos consultados via internet:

Moura G.A.C. de M. 1996. Citação de referências e documentos eletrônicos. Disponível em: <http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>. Acessado em 9 out 1996.

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 2000. El Ninho. Disponível em <http://www.inpe.dpi/elninho.html>. Acessado em 14 jun 2000.

3 ARTIGOS DE REVISÃO

São publicadas a convite dos Editores e devem ter a mesma estrutura de um artigo comum (veja item 2). O propósito deste tipo de artigo é comunicar o progresso em um campo específico da Geologia, com o objetivo de apresentar um relato crítico do estado da arte do ponto de vista de especialistas altamente qualificados e experientes.

4 RESENHA DE LIVROS

São publicadas a convite dos Editores e não devem ultrapassar um página.

5 NOTAS

Destinam-se a comunicações breves e que mereçam rápida divulgação. Deverão ter a mesma estrutura de um artigo original (veja Item 2) e não devem ultrapassar 4000 palavras.

6 VERSÃO FINAL

Uma vez aceito o(s) autor(es) receberão instruções específicas quanto ao envio dos arquivos para diagramação da versão final.

Arquivos pdf não serão mais utilizados neste estágio

Texto e tabelas deverão ser enviados em um arquivo Word.

As figuras deverão ser enviadas .como arquivos tif. As figuras coloridas deverão ser em cmyk (não poderão ser rgb) e tons de cinza deverão ser em gray-scale. As figuras (coloridas, preto e branco e tons de cinza) deverão ter **resolução mínima de 300 dpi**.

ISSN: 0102-9800