

Nível de trofia em microbacias hidrográficas sob diferentes usos de solo, na região amazônica

Trophic level of watersheds under different land uses in the area of influence of BR-163 Highway, Pará, Brazil

Christiane Patrícia Oliveira de Aguiar, José Reinaldo Pacheco Peleja, Keid Nolan Silva Sousa,
Ynglea Georgina de Freitas Goch e Alcimara dos Santos Guimarães

¹Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, Brasil

christianedeaguiar@hotmail.com, reinaldopeleja@yahoo.com.br, keid@ufpa.br, ynglea@yahoo.com.br; mara.s.g@hotmail.com

Recebido: 25/03/15 - Revisado: 11/05/15 - Aceito: 29/06/15

RESUMO

Ações antrópicas têm causado distúrbios ambientais como desmatamento e eutrofização de corpos d'água. Este trabalho objetivou investigar o efeito das modalidades de agricultura tradicional (Projeto de Assentamento Mojú/PA-Mojú) e mecanizada de soja (Rodovias BR-163 e PA-Curuá-Una), em 24 microbacias na área de influência da rodovia BR-163, incluindo a área de referência (Flona Tapajós), nos municípios de Santarém e Belterra (PA), em outubro de 2011 (estação seca) e abril de 2012 (estação chuvosa). O Índice de Estado Trófico (IET) foi utilizado para tal finalidade. A maioria das áreas pesquisadas apresentou discreto nível de trofia: Flona-Tapajós (IET 39-48), Curuá-Una (IET 41-54), BR-163 (IET 45-53) e PA-Mojú (IET 44-62). As microbacias do PA-Mojú apresentaram maiores graus de trofia que os de agricultura mecanizada (BR-163 e Curuá-Una). A estação chuvosa influenciou de forma significativa os componentes fósforo total (PT) e clorofila-a (CL) para as áreas da Curuá-Una (PT 3,2-5,6 µg.L⁻¹; CL 1,03-2,66 µg.L⁻¹), BR-163 (PT 3,9-15,0 µg.L⁻¹; CL 0,35-3,68 µg.L⁻¹) e PA-Mojú (PT 3,8-4,9 µg.L⁻¹; CL 0,68-28,57 µg.L⁻¹). Na Flona, os valores para fósforo total e clorofila-a oscilaram entre 3,3-3,9 e 0,13-1,78 µg.L⁻¹, respectivamente. Não se observou alteração nos níveis de trofia entre os pontos à montante e jusante dos igarapés interceptados por barragem, na área da BR-163. Apesar da maioria das microbacias estudadas ainda não apresentarem desequilíbrio limnológico significativo quanto ao grau de trofia, percebe-se aumento no IET quantitativo nas áreas de cultivo antigo (15 anos de uso do solo) em relação às de cultivo recente (10 anos de uso do solo).

Palavras chave: Índice de estado trófico. Eutrofização. Recurso hídrico. Qualidade da água. Soja

ABSTRACT

Human activities have caused environmental disturbances such as deforestation and eutrophication of water bodies. This study aimed to investigate the effect of the methods of traditional agriculture (Settlement Project Mojú/PA-Mojú) and mechanized soy (Highways BR-163 and PA Curuá-Una) in 24 watersheds in the area of influence of the BR-163 highway, including the area of natural reference (Flona Tapajós) in the municipalities of Santarém and Belterra (PA) in October 2011 (dry season) and April 2012 (rainy season). The Trophic State Index (TSI) and multivariate analysis were used for this purpose. Most areas surveyed showed a good level of environmental conservation, be it natural or from human activities. The watersheds of the PA-Mojú showed a higher level of trophism than those with mechanized agriculture (BR-163 and Curuá Una). The rainy season significantly influenced the total phosphorus and chlorophyll-a components in the areas of Curuá Una, BR-163 and PA-Mojú. There was no significant change during the flow of water from upstream to downstream in the area of the BR-163. Although most watersheds studied do not present a significant limnological imbalance in the degree of hypertrophy, an increase is seen in quantitative TSI in the areas that have been cultivated for a long time (15 years of land use) compared to recent cultivation (10 years of land use).

Keywords: Trophic state index. Eutrophication. Water resources. Water quality. Soy

INTRODUÇÃO

A paisagem do Oeste Paraense vem sofrendo mudanças relevantes nas últimas décadas em virtude de ações antropogênicas em prol do desenvolvimento socioeconômico do município, como a extração do ouro e madeira, pecuária extensiva e construção da Rodovia Cuiabá-Santarém (Rodovia BR-163), que promoveram o desmatamento de grandes áreas e o desordenamento da expansão urbana e periférica da cidade (VENTURIERI et al., 2007; RODRIGUES et al., 2009, SOUZA; LINDO, 2009).

A partir de 1990, o cenário é gradativamente substituído pelo cultivo de grãos, e a instalação do porto graneleiro Cargill, em 2003, atraiu produtores de outras regiões do país, principalmente do Centro-Sul brasileiro, culminando em mais desflorestamento, conversão das áreas de pastagens e de agricultura tradicional, concentração fundiária, grilagem de terras e, conseqüentemente, conflitos agrários (SOARES-FILHO et al., 2004; ALMEIDA et al., 2009; COELHO, 2009; GREENPEACE et al., 2009, COSTA, 2012).

Souza e Lindo (2009) apontam a expansão de monocultivos e de produtos químicos utilizados na cadeia produtiva como alguns dos motivos de degradação ambiental e contaminação dos recursos hídricos. Considerando que a água doce é um recurso finito, com menos de 0,01% acessível ao homem e vital à sobrevivência de todos os seres e do próprio planeta, e que sua qualidade pode ser afetada por fatores naturais ou por ações antrópicas em relação ao uso e/ou a ocupação do solo, com possibilidade de assoreamento do leito e aporte de nutrientes. Por tanto, torna-se primordial seu monitoramento, com finalidades de preservação e de gestão racional dos recursos naturais (DUARTE et al., 1998; LIMA, 2001; SILVEIRA et al., 2011; ALVES et al., 2012).

A eutrofização consiste no processo de aporte de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, que elevam a produção primária nos sistemas aquáticos. A eutrofização pode

ocorrer de forma natural, quando os nutrientes são liberados por componentes da área de drenagem, enquanto que o processo artificial envolve a entrada de nutrientes externos, através de atividades antrópicas de variadas origens: esgotos domésticos, efluentes industriais, fertilizantes e insumos em atividades agrícolas (ESTEVES; MEIRELLES-PEREIRA, 2011).

O Índice de Estado Trófico (IET) é uma ferramenta matemática, capaz de classificar o grau de trofia de um corpo hídrico, avaliando a qualidade da água quanto à quantidade de nutrientes e sua relação com crescimento das algas e de macrófitas aquáticas capazes de causar a eutrofização do meio (BEM, 2009; CETESB, 2013). Dessa forma, o IET auxilia na avaliação da qualidade da água perante os diversos usos do solo e permite a simplificação da divulgação dos resultados quanto aos possíveis impactos que envolvem a degradação ambiental em um dado ponto monitorado.

O objetivo do estudo foi investigar a qualidade da água em microbacias hidrográficas, localizadas nos municípios de Santarém e Belterra, Pará, sob diferentes usos do solo: área natural/referência (Flona Tapajós), agriculturas mecanizada recente e antiga de soja (Rodovias Curuá-Una e BR-163) e de agricultura tradicional (PA-Mojú), na área de influência da rodovia BR-163, através da determinação do Índice de Estado Trófico (IET), com ênfase aos aspectos limnológicos, de sazonalidade e de área de cultivo na região.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A rodovia BR-163 possui uma extensão de 1.780 Km e vai da capital Cuiabá (MT) ao município de Santarém (PA). A área de influência da rodovia BR-163 abrange 39 municípios do Mato Grosso, 28 do Pará e 06 do Amazonas, totalizando

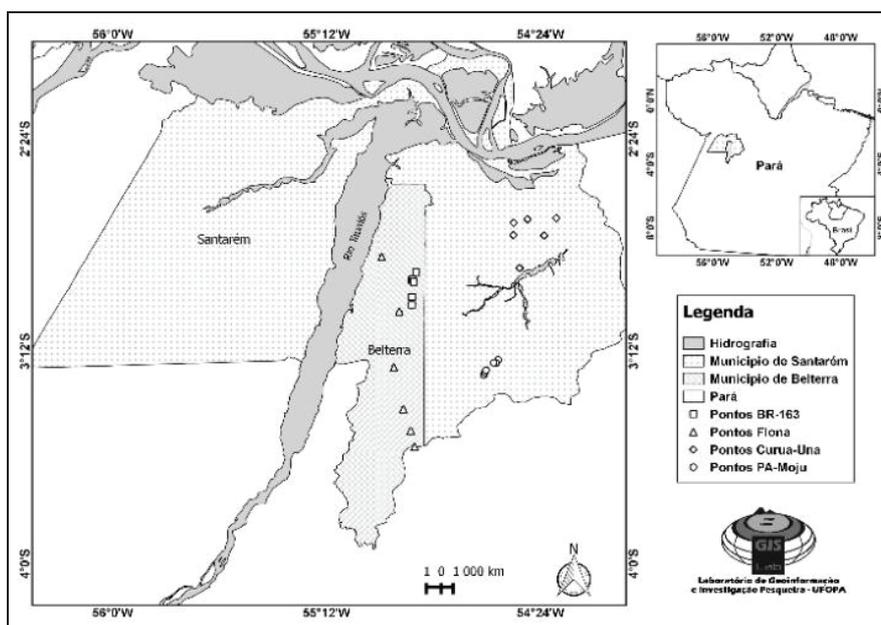


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo e dos pontos das áreas de amostragem da água

73 municípios, numa área de 1.232 mil Km², estando 67% concentrada no estado do Pará, 23% no Mato Grosso e 10% no Amazonas (BRASIL, 2006).

A rodovia atravessa os municípios de Santarém e Belterra (Figura 1), estando situada na sub-região do Baixo Amazonas. Inseridas no bioma Amazônia, apresenta diversificação no relevo, com regiões de planalto a várzea ao longo do rio Amazonas. Com densa floresta ombrófila, possuem vegetação coberta por florestas densas, florestas abertas, florestas de transição e florestas estacionais. Os solos, em grande parte, possuem baixa fertilidade e com elevados níveis de acidez, com alternância de chuvas abundantes e curtos períodos de estiagem (BRASIL, 2006).

Amostragem

Vinte e quatro igarapés foram selecionados através do mapeamento comunitário dos impactos da soja em Santarém e Belterra (GREENPEACE et al., 2009), que apontou impactos aos recursos hídricos demandados pelas comunidades localizadas dentro da área de influência da BR-163, agrupados em 04 áreas: 1) Floresta Nacional do Tapajós (Flona-Tapajós); 2) Rodovia Curuá-Una (Rodovia PA-370); 3) Rodovia BR-163 e, 4) Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú), consideradas, respectivamente, áreas de referência, de domínio de cultivo mecanizado de

soja recente, de cultivo mecanizado de soja antigo e, de cultivo e pecuária familiar tradicional, com tempo de ocupação de uso do solo de dez, quinze e dezesseis anos, para as três últimas. Cada área abrangeu seis microbacias (igarapés), perfazendo um total de 24. Três microbacias do total foram interceptadas por barragens. Dessa forma, vinte e sete pontos de amostragem foram totalizados nesse estudo.

As coordenadas geográficas foram determinadas “in loco” (Tabela 1), nos pontos de amostragem eleitos, através do uso de Sistema de Posição Global (GPS), da marca Garmin, modelo GPSmap76.

Coleta das amostras

As coletas foram realizadas em duas campanhas: outubro de 2011 (período de estiagem) e abril de 2012 (período chuvoso). A metodologia para a coleta e conservação das amostras seguiu o protocolo analítico da Normalização Técnica da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – Cetesb (1988). As amostras foram coletadas contra a água corrente, a 20 cm da superfície e armazenadas em 02 frascos de polietileno de 1.000 mL, conservadas em caixa refrigerada, protegidas contra a luz, e transportadas ao Laboratório de Biologia Ambiental (LBA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), onde se procedeu a realização das análises.

Em cada microbacia registrou-se informações de fenômenos erosivos, de assoreamento, de destituição da mata ciliar e de contaminação por produtos químicos provenientes da sojicultura, em áreas de drenagem.

Análise das amostras

As análises de fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) e clorofila-a ($\mu\text{g.L}^{-1}$) foram determinadas em laboratório, segundo as normas descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005), pelo método de digestão com persulfato e redução com ácido ascórbico (4500-P E) e tri-comático-acetona 90% (10200 H), respectivamente, com leituras em espectrofotômetro da marca Shimadzu, modelo UV-1201.

Determinação do IET

O Índice de Estado Trófico (1) foi obtido através da média aritmética entre o Índice de Estado Trófico do Fósforo Total e o Índice de Estado Trófico da Clorofila-a, criada por Carlson (1977) e modificado por Lamparelli (2004) para rios, conforme a expressão:

Onde:

$$IET = \frac{[IET(Cl) + IET(PT)]}{2} \quad (1)$$

IET = Índice de Estado Trófico;

IET (Cl) = Índice de Estado Trófico de Clorofila -a;

IET (PT) = Índice de Estado Trófico de Fósforo Total.

O IET(Cl) e IET(PT) são obtidos pelas respectivas equações (2) e (3):

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos de coleta de água para análises limnológicas

Área/Microbacia	Ponto	Latitude	Longitude
Flona Tapajós	Branco	FT01	03°03'01.0" 054°55'38.7"
	Jatuarana	FT02	03°15'41.1" 054°56'50.4"
	Mojú	FT03	03°25'03.8" 054°54'45.1"
	Mutum	FT04	03°29'55.6" 054°53'04.8"
	Onça	FT05	03°33'35.0" 054°52'12.7"
	Flona	FT06	02°50'42.0" 054°59'35.2"
Curuá-Una	Ramal do Gato	CU01	02°45'45.7" 054°30'03.1"
	Açu	CU02	02°42'10.8" 054°26'51.7"
	Riacho-Doce	CU03	02°53'12.9" 054°28'38.5"
	Guaranazinho	CU04	02°41'55.6" 054°20'23.8"
	Guaraná	CU05	02°45'52.0" 054°23'07.6"
	Bica	CU06	02°42'58.4" 054°29'58.9"
BR-163	Prata	BR01	02°54'08.6" 054°51'51.1"
	Açaizal* M	BR02	02°55'59.1" 054°52'58.0"
	Açaizal* J	BR03	02°55'39.4" 054°52'42.9"
	Cacimba* M	BR04	02°56'21.2" 054°52'26.8"
	Cacimba* J	BR05	02°56'21.3" 054°52'23.5"
	Panela* M	BR06	02°59'46.2" 054°52'47.1"
	Panela* J	BR07	02°59'46.6" 054°52'47.0"
	Garrafa	BR08	03°01'32.1" 054°52'49.3"
	São Benedito	BR09	02°59'46.6" 054°52'47.0"
PA-Mojú	ACTAAIA 01	PM01	03°13'57.2" 054°33'26.5"
	ACTAAIA 02	PM02	03°14'38.1" 054°33'54.2"
	ACTAAIA 03	PM03	03°14'36.4" 054°34'26.2"
	Anta	PM04	03°17'18.3" 054°36'38.7"
	ACTAAIA 04	PM05	03°16'45.7" 054°36'23.8"
	ACTAAIA 05	PM06	03°16'17.0" 054°36'10.9"

Legenda: *Ponto interceptado por barragem; M (Montante); J (Jusante).

Legend: *Point intercepted by dam; M (Amount); J (Downstream).

$$IET (CL) = 10 \left[6 - \left(\frac{-0,7 - 0,60 \ln (CL)}{\ln (2)} \right) \right] - 20 \quad (2)$$

$$IET (PT) = 10 \left[6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \ln (PT)}{\ln (2)} \right) \right] - 20 \quad (3)$$

PT = Concentração de fósforo total medida à superfície da água, em µg/L;

CL = Concentração de clorofila a medida à superfície da água, em µg/L.

Os resultados do componente fósforo indicam a potencialidade do efeito eutrofizador, por ser o desencadeador do processo, enquanto que os referentes à clorofila, a resposta do meio hídrico ao agente desencadeador, demonstrado pelo grau de crescimento de algas em suas águas.

Os índices gerados foram classificados de acordo com o nível de trofia em: ultraoligotrófico ($IET \leq 47$), oligotrófico ($47 < IET \leq 52$), mesotrófico ($52 < IET \leq 59$), eutrófico ($59 < IET \leq 63$), supereutrófico ($63 < IET \leq 67$) e hipereutrófico ($IET > 67$) (CETESB, 2013).

Análise estatística

De modo geral, foi utilizada estatística descritiva, como tabelas, gráficos e medidas de tendência central para a apresentação dos resultados (AYRES et al., 2002). Para verificar possíveis diferenças entre os índices e os períodos de coleta (chuva e estiagem), bem como entre as regiões (Flona-Tapajós, BR-163, Curuá-Una e PA-Mojú), foram utilizadas análise de variância (ANOVA). O efeito da porcentagem da área de drenagem da bacia cultivada com soja ou de cultivo tradicional sobre os índices de qualidade da água, bem como aos parâmetros físico-químicos individualizados, foi avaliado através da análise de correlação de Pearson e regressão linear simples, sendo demonstrado resumidamente em matriz de correlação, o grau de associação entre as variáveis (ZAR, 1984).

Os testes mencionados acima foram analisados pelo Programa Computacional Statistica Versão 7.0.

Geoanálise

O estudo adotou como referencial cartográfico o sistema de coordenadas cartográficas em graus minutos e segundos, e DATUM WGS-84 (World Geographical System). A base de dados geográficos digital foi concentrada em duas bases no formato Raster (Imagens LANDSAT, e Imagens SRTM) e uma no formato vetorial (Base de vetores municipais do IBGE). Os dados LANDSAT foram empregados para os procedimentos relacionados ao dimensionamento das paisagens de uso, especificamente a cobertura do solo, relacionada ao contexto hidrográfico envolvente no estudo. No caso das imagens SRTM (Shuttle Topographic Mission), os dados raster foram adotados para delimitação e quantificação do contexto hidrográfico envolvente, neste caso, a delimitação das bacias a montante dos pontos de coleta de água. O estudo combinou técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, visando alcançar o objetivo de relacionar as formas de uso e cobertura do solo com a qualidade da água amostrado nos pontos de coleta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A região amazônica apresenta duas fases hidrodinâmicas distintas com baixo regime dinâmico durante o período chuvoso e alto regime dinâmico durante o menos chuvoso. Dessa forma, diferentes padrões de distribuição temporal foram observados para os parâmetros de qualidade da água e estados tróficos avaliados nos quatro ambientes de estudo. As concentrações de fósforo total e clorofila-a, para as os períodos de estiagem e de chuvas, são demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros Fósforo Total (PT) e Clorofila-a (CL).

Área	Ponto	Período seco		Período chuvoso	
		PT (µg.L ⁻¹)	CL (µg.L ⁻¹)	PT (µg.L ⁻¹)	CL (µg.L ⁻¹)
Flona-Tapajós	FT01	2,1	2,0	3,6	0,55
	FT02	2,5	1,03	3,6	0,23
	FT03	2,1	0,51	3,5	1,03
	FT04	2,1	1,49	3,3	1,78
	FT05	2,2	0,80	3,9	0,13
	FT06	2,1	1,64	3,3	0,48
Curuá-Una	CU01	2,1	0,81	3,8	1,62
	CU02	2,5	0,82	5,2	1,03
	CU03	2,2	0,48	5,7	1,53
	CU04	3,3	1,06	5,6	2,66
	CU05	2,7	0,47	3,2	1,13
	CU06	2,1	0,56	5,3	1,05
BR-163	BR01	2,7	3,74	4,9	0,95
	BR02	3,2	2,10	5,0	0,81
	BR03	2,8	1,23	6,8	1,03
	BR04	2,8	2,27	6,5	3,68
	BR05	5,0	1,76	3,9	2,21
	BR06	2,7	1,85	4,3	1,45
	BR07	2,4	1,06	4,1	1,80
	BR08	2,8	1,81	15,0	0,35
	BR09	4,1	1,13	9,3	0,69
PA-Mojú	PM01	3,0	18,68	3,8	1,18
	PM02	3,0	20,16	4,7	0,68
	PM03	3,3	47,84	4,9	28,57
	PM04	3,7	21,19	4,3	0,93
	PM05	2,6	17,83	4,1	1,22
	PM06	2,8	17,92	4,2	0,82

Em relação ao fósforo total (Figura 2), não houve interação entre período, região de coleta e as concentrações do nutriente ($F_{(3,46)} = 1,5992$; $p = 0,20249$). Contudo, todas as regiões quando tratadas isoladamente, tiveram a concentração do nutriente influenciado pela temporalidade, com maior aporte durante a estação chuvosa (Flona-Tapajós: $F_{(1,10)} = 143,25$; $p = 0,00000$; PA-Mojú: $F_{(1,10)} = 30,723$; $p = 0,00025$; Curuá-Una: $F_{(1,10)} = 24,739$; $p = 0,00056$; BR-163: $F_{(1,16)} = 8,0766$; $p = 0,01178$). A literatura científica tem atribuído à duração e intensidade da estação chuvosa, o incremento nas concentrações de fósforo durante o escoamento superficial da água, por influência do aumento no nível de sedimentos em suspensão (QUINTON;

CATT; HESS, 2001; JARVIE; NEAL; WITHERS, 2005).

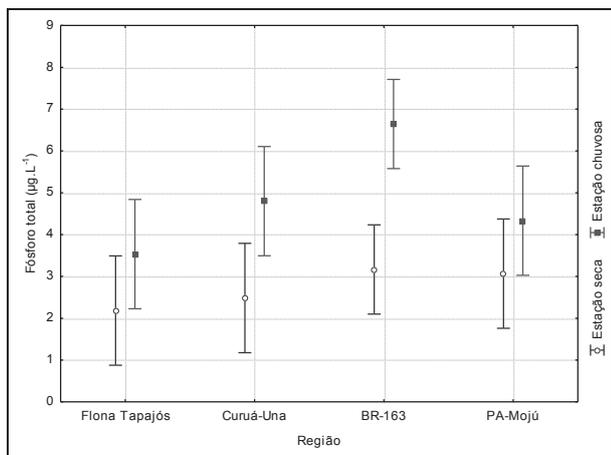


Figura 2 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e concentração de fósforo total: $F_{(3,46)} = 1,5992$; $p = 0,20249$.

De acordo com Bigarrella (2003), a dinâmica dos fluxos superficiais e sub-superficiais da água em bacias hidrográficas pode ser alterada significativamente, através de atividades agrícolas e criações de animais. Dessa forma, as ações antrópicas podem causar impactos negativos, interferindo na dinâmica do fósforo na água resultando na elevação de suas concentrações pelas perdas desse nutriente pelo sistema terrestre (REYNOLDS; DAVIES, 2001).

As regiões de cultura mecanizada (média BR-163 = 4,91 µg.L⁻¹; média Curuá-Una = 3,64 µg.L⁻¹) e de agricultura familiar (média PA-Mojú = 3,70 µg.L⁻¹) apresentaram níveis de fósforo maiores que a área de referência (média Flona-Tapajós = 2,86 µg.L⁻¹). Sharpley e colaboradores (2003) alertam que as atividades agrícolas, especialmente naquelas onde não ocorrem práticas conservacionistas no uso do solo, contribuem para o aumento da eutrofização nos ecossistemas aquáticos, devido à contribuição do fósforo transferido para a água.

Apesar da maioria dos igarapés não terem ultrapassado o valor máximo estabelecido pela Resolução Conama n°357/2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, o ponto BR08 apresentou valores de fósforo total acima do permitido (15 µg.L⁻¹) e o BR09 próximo ao limite (9,3 µg.L⁻¹) para águas doces, classe 2, para ambientes lóticos. Reynolds (2006) afirma que a disponibilidade de fósforo eleva a presença de produtores primários e de biomassa algal, expressa pela clorofila-a. Assim, o aumento dos níveis de fósforo poderá acarretar alterações hídricas, qualitativas e quantitativas, de componentes como pH, oxigênio dissolvido e transparência da água, que poderão comprometer o ecossistema aquático e saúde humana de quem a consome.

Em contraste ao cenário do fósforo total, houve relação significativa entre o período, região de coleta e as concentrações de clorofila-a (Figura 3), com valores muito superiores para a região com agricultura tradicional (PA-Mojú) em relação a área de referência, com média de 23,94 µg.L⁻¹, para a estação seca, e

de 5,57 µg.L⁻¹, para a estação chuvosa. Isoladamente, a interação foi significativa apenas para as regiões do PA-Mojú ($F(1,10) = 7,6147$; $p = 0,02015$) e Curuá-Una ($F(1,10) = 8,8076$; $p = 0,01410$), com maiores concentrações de clorofila-a no período seco para a região do PA-Mojú, enquanto que para a Curuá-Una, maiores níveis ocorreram no período chuvoso.

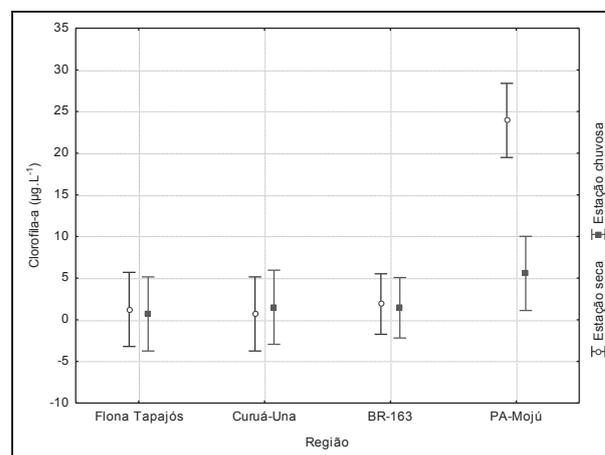


Figura 3 – Análise de ANOVA descrevendo o comportamento entre os tratamentos região, estação e concentração de clorofila-a: $F_{(3,46)} = 8,8794$; $p = 0,00009$.

Provavelmente, uma das razões está ligada à diversificação dos usos da água pelos colonos do assentamento que tem nos mananciais sua fonte de abastecimento. Nesse sentido, a retirada da mata ripária ao longo da microbacia, facilitou o acesso e a exploração do recurso, mas acabou por reduzir a cobertura florestal do espelho d'água, aumentando sua exposição à luz solar, bem como, à atividade fotossintética de algas durante o período de estiagem, promovendo a elevação das concentrações de clorofila-a. Vale ressaltar que outros fatores podem ter contribuído para o aumento da biomassa algal, como por exemplo, o input de nitrogênio, proveniente do uso de fertilizantes, orgânicos ou químicos, que não foram investigados nesse trabalho.

As áreas de cultivo mecanizado apresentaram níveis de clorofila-a próximos a área de conservação, possivelmente em virtude da maior proteção da mata ciliar (rigor de fiscalização ambiental) ao longo do manancial quando comparadas a área do assentamento PA-Mojú.

O ponto PM03 superou o limite de 30 µg.L⁻¹ permitido pela Resolução Conama n° 357/2005, o que pode estar relacionada a maior degradação envolvendo a supressão da mata ripária.

A Tabela 3 demonstra que os IETs, para as quatro áreas de estudo, apresentaram níveis de trofia que variaram de ultraoligotrófico a eutrófico. Durante o período de estiagem, dos 27 pontos, 15 foram classificados como ultraoligotróficos, 06 oligotróficos, 05 mesotróficos e 01 eutrófico, enquanto que no período chuvoso, 17 foram ultraoligotróficos, 07 oligotróficos, 02 mesotróficos e 01 eutrófico.

Tabela 3 – Resultados de IET de acordo com Carlson modificado por Lamparelli

Área	Ponto	Período seco		Período chuvoso	
		IET	IET	IET	IET
		Quant.	Qual.	Quant.	Qual.
Flona-Tapajós	FT01	47	Ultra	43	Ultra
	FT02	45	Ultra	39	Ultra
	FT03	41	Ultra	45	Ultra
	FT04	46	Ultra	48	Oligo
	FT05	43	Ultra	47	Ultra
	FT06	46	Ultra	42	Ultra
Curuá-Una	CU01	43	Ultra	48	Oligo
	CU02	44	Ultra	46	Ultra
	CU03	41	Ultra	54	Meso
	CU04	45	Ultra	51	Oligo
	CU05	41	Ultra	46	Ultra
	CU06	41	Ultra	47	Ultra
BR-163	BR01	50	Oligo	46	Ultra
	BR02	48	Oligo	45	Ultra
	BR03	46	Ultra	47	Oligo
	BR04	48	Oligo	53	Meso
	BR05	49	Oligo	49	Oligo
	BR06	47	Oligo	47	Oligo
	BR07	45	Ultra	48	Oligo
	BR08	47	Oligo	45	Ultra
	BR09	46	Ultra	46	Ultra
PA-Mojú	PM01	58	Meso	46	Ultra
	PM02	58	Meso	44	Ultra
	PM03	62	Eu	61	Eu
	PM04	59	Meso	45	Ultra
	PM05	57	Meso	47	Ultra
	PM06	57	Meso	45	Ultra

Legenda: Quant. (quantitativo); Qual. (qualitativo); Ultra (ultraoligotrófico); Oligo (oligotrófico); Meso (mesotrófico); Eu (eutrófico)

A Flona Tapajós demonstrou grau de trofia mínimo (ultraoligotróficos) em todos os pontos investigados para o período de estiagem, enquanto que no período chuvoso, apenas um igarapé (FT04) teve seu perfil alterado (oligotrófico), mas todos compatíveis com a condição desejada para a proteção dos corpos d'água, dada a provável baixa carga orgânica, assim como a de nutrientes, servindo de referência para comparação com as demais microbacias monitoradas.

O Projeto de Assentamento Mojú (PA-Mojú) foi a área mais impactada do ponto de vista da análise dos parâmetros fósforo total e clorofila-a durante os dois períodos estudados em relação à área de referência. Durante a estação seca, os seis pontos de amostragem indicaram condições que variaram de mesotróficas a eutrófica enquanto que, na estação chuvosa, apenas no ponto PM03 houve comprometimento ambiental ocorrendo a redução do estado de trofia (ultraoligotrófico) nos demais pontos, em virtude da diluição nas concentrações de clorofila-a.

A área de cultivo mais antigo de soja (BR-163) apresentou as menores concentrações de nutrientes, com três igarapés enquadrando-se como ultraoligotrófico e seis como oligotrófico, para o período de estiagem e, no período das chuvas, quatro

apresentaram-se na condição ultraoligotrófico, quatro oligotrófico e um mesotrófico.

Todas microbacias pesquisadas da região da Curuá-Una (cultivo mecanizado recente de soja) foram classificadas como ultraoligotrófica durante a estação menos chuvosa (estiagem). Por outro lado, na estação chuvosa, três pontos apresentaram aumento na concentração de nutrientes, passando a oligotróficos (CU01 e CU04) e mesotrófico (CU03).

No tocante a variação espacial entre as regiões, o assentamento PA-Mojú apresentou o estágio mais avançado de eutrofização (Figura 4). Segundo Reynolds e Davies (2001), a quantidade de fósforo e de sedimentos transferidos aos corpos aquáticos são, geralmente, superiores em áreas agricultáveis, ao passo que em áreas florestadas, os componentes físico-químicos e biológicos encontram-se em menores concentrações, devido a fatores que envolvem a menor erosão do solo, a maior infiltração e o menor fluxo superficial da água, proporcionando a elevação da reciclagem de fósforo. Estudo desenvolvido por McDowell et al. (2001) demonstraram maior aporte de fósforo em microbacias com agricultura tradicional em relação as áreas de cultivo mecanizado, considerando a escolha do sistema de uso e manejo do solo.

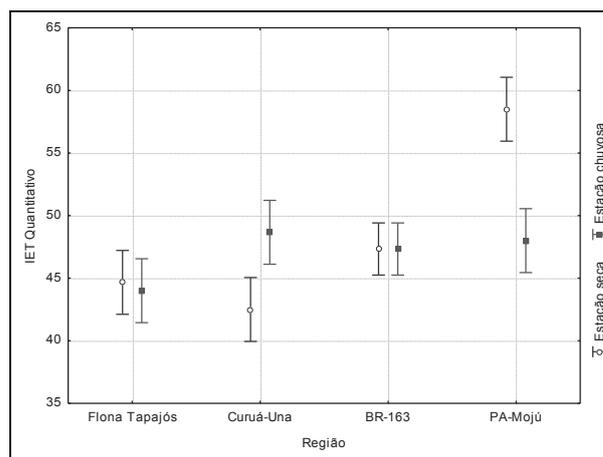


Figura 4 – Índices de Estado Trófico (IET) médios, por ambiente e período de chuva e seca ($F_{(3,46)} = 14,844$; $p = 0,00000$)

Fia et al. (2009) atribuíram à intensificação das atividades agrícolas de arroz, na bacia hidrográfica de Lagoa Mirim (RS), a variação nos resultados da variação espaço-temporal da eutrofização, resultante da difusão de nutrientes provenientes do uso de fertilizantes químicos e orgânicos.

Nas regiões de assentamento é comum a prática da queima para preparo do solo para futuras lavouras, com intenção de remover a vegetação. Para Silva e colaboradores (2001), esta prática propicia a redução da infiltração da água para o solo e o aumento do escoamento superficial e de sedimentos, contribuindo para a erosão do mesmo. Dessa forma, é provável que o processo também tenha colaborado para o maior aporte do nutriente em relação às áreas amostradas.

As regiões da Flona e da BR-163 apresentaram comportamentos similares para os índices de estado de trofia durante as duas estações estudadas, com valores um pouco superiores

para a segunda região.

A Curuá-Una revelou maiores índices de estado trófico durante o período chuvoso em relação ao período seco, quando comparada as demais áreas. O índice do igarapé CU03 apresentou média acima dos outros pontos de amostragem. A diversidade de usos de solo que ocorrem na região, como agricultura de pequeno porte, criação de animais, dentre outros, podem ter colaborado para a maior entrada de fósforo nos mananciais e, dessa forma, para a elevação dos índices apresentados durante a estação de maior precipitação pluviométrica. Pesquisa realizada por Mansor (2005) em mananciais contaminados por atividades agrícolas, revelou maior carga de fósforo durante a estação de chuvas, em decorrência do influxo do nutriente, transportados pelo escoamento superficial aos corpos d'água.

Considerando o efeito da interceptação por barragens nos fluxos dos igarapés localizados na região da BR-163 (Açaizal, Cacimba e Panela), não se notou variações significativas nos índices das amostras, entre os pontos a montante ($F_{(1,4)} = 0,07547$; $p = 0,79714$) e jusante ($F_{(1,4)} = 1,0000$; $p = 0,37390$) das barragens. Contudo, de forma geral, houve redução no gradiente de fósforo em direção à jusante, atribuído à redução abrupta do fluxo do canal ocasionado pela barragem, com sedimentação da carga e nutrientes em suspensão, bem como pelo consumo do fósforo por produtores primários que se desenvolvem nesta região intermediária de fluxo turbulento e laminar dos rios interceptados por barragens. Por outro lado, considerando o efeito da sazonalidade, de maneira geral, houve

Tabela 4 – Dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias hidrográficas

Área/Microbacia	%		Área total (km ²)	
	Cobertura vegetal	Solo exposto		
Flona Tapajós	Branco	86.47	13.53	84.23
	Jatuarana	87.27	12.73	102.99
	Mojú	94.46	5.54	800.90
	Mutum	92.56	7.44	8.81
	Onça	96.51	3.49	256.34
	Flona	100.00	0.00	20.43
Curuá-Una	Ramal do Gato	80.19	19.81	1.61
	Igarapé-Açu, Bica	61.91	38.09	15.29
	Riacho Verde	69.16	30.84	15.69
	Guaranzinho	67.41	32.59	8.77
	Guaraná	62.97	37.03	22.68
BR-163	Prata	79.33	20.67	6.91
	Açaizal* M e J	75.37	24.63	18.22
	Cacimba* M e J	77.74	22.26	40.07
	Panela* M e J, São Benedito, Garrafa	48.62	51.38	10.59
	PA-Mojú	ACTAAIA 01, 02 e 03	74.81	25.19
ACTAAIA 04, 05 e Anta		80.28	19.72	118.86

Legenda: *Ponto interceptado por barragem; M (Montante); J (Jusante).

aumento nas concentrações de fósforo total e de clorofila-a, durante o período de chuvas, provavelmente em razão do carreamento destes pela ação erosiva do solo, facilitado pela maior vazão superficial da água.

As alterações da qualidade da água são influenciadas naturalmente pelas áreas totais de captação dinâmica das bacias entre as fases do ciclo hidrológico que envolvem a precipitação, infiltração e escoamento. A retirada da cobertura vegetal das áreas de drenagens, em decorrência dos diferentes usos do solo, potencializa tais alterações. Nesse sentido, afim de se visualizar as flutuações da qualidade da água das microbacias em função da área de drenagem total das mesmas e das porcentagens de cobertura vegetal versus porcentagem de uso agrícola (solo exposto), são apresentadas na Tabela 4, os dados morfométricos e fisiográficos de uso do solo das microbacias. Estes dados foram confrontados com os índices de estado trófico, bem como dos componentes fósforo total e clorofila-a utilizados para seu cálculo. As microbacias pertencentes a uma mesma área de drenagem foram agrupadas para o confronto.

Aplicada a matriz de correlação de Pearson, evidenciou-se que não há relação entre o Índice de Estado Trófico com a área total da bacia, nem com a porcentagem de cobertura vegetal e de uso agrícola, independente da sazonalidade, bem como para o componente clorofila-a. Contudo, o fósforo total, demonstrou relação direta e significativa com a porcentagem de uso do solo ($r = 0,7176$; $p = 0,0017$), durante o período chuvoso, aumentando a medida que se eleva a área antropizada das bacias, ocorrendo situação inversa em áreas florestadas. Nesse contexto, 52% das variações nas concentrações do nutriente entre as microbacias são respondidas pelo aumento da conversão das áreas florestadas em áreas de plantio (Figura 5).

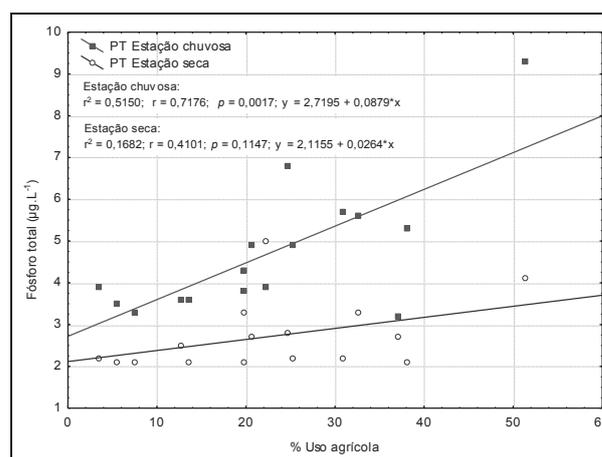


Figura 5 – Matriz de correlação descrevendo a relação entre o fósforo total e o percentual de uso agrícola, durante os períodos de estiagem e chuvoso

McDowell et al. (2001) demonstraram em sistemas de cultivo convencional, a relação significativa entre a concentração de fósforo existente no solo e aquela encontrada dissolvida no deflúvio. Demonstraram também que o escoamento dos nutrientes de uma área agricultável para os corpos d'água, depende do nível de antropismo da mesma.

O desmatamento dentre outras atividades, foi apontado por Figueirêdo (2008) como um dos responsáveis pelo aumento de fósforo total em reservatórios, e da consequente eutrofização aquática.

Os corpos d'água são sentinelas fiéis das transformações naturais e antropogênicas. Nas áreas tropicais, o uso desordenado do solo tem promovido alterações físicas, químicas e biológicas nas águas superficiais e subterrâneas. A eutrofização é um dos impactos oriundos da má gestão de efluentes que podem prejudicar o ecossistema aquático. Nesse sentido, o monitoramento dos mananciais é de grande importância para a preservação e manutenção dos recursos hídricos, bem como para a tomada de decisão na gestão dos mesmos.

CONCLUSÕES

Todas as áreas pesquisadas apresentaram algum nível de enriquecimento por fósforo, seja ele natural (Flona-Tapajós) ou proveniente de ações antrópicas (Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú);

As microbacias do PA-Mojú (agricultura familiar) apresentaram maiores graus de trofia tanto nos corpos aquáticos das áreas de agricultura mecanizada (BR-163 e Curuá-Una) quanto no das áreas conservadas;

A estação chuvosa contribuiu significativamente para o aumento das concentrações de fósforo total e a estação seca, para o aumento de clorofila-a na água superficial das microbacias, com destaque para as áreas antropizadas (Curuá-Una, BR-163 e PA-Mojú);

As microbacias com as maiores porcentagens de suas áreas de drenagem desmatadas para a agricultura foram as que apresentaram as maiores concentrações de fósforo total, principalmente no período chuvoso;

Em relação aos igarapés da BR-163 que tiveram seus cursos interceptados por barragens, a não diferença entre as concentrações a montante e a jusante pode estar relacionado ao não consumo do fósforo pela biomassa, ao baixo tempo de detenção e a precipitação significativa do nutriente no reservatório.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos à Netherland Organization for Scientific Research/ Wotro Science for Global Development/ Project Land and Rights in Troubled Waters, pelo apoio financeiro; e Universidade Federal do Oeste do Pará/ Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas/ Laboratório de Biologia Ambiental, que propiciaram a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.M.; DIAS, A.F.; LOBATO, M.P.; FERNANDES, D.; OLIVEIRA JUNIOR, J.N. Arranjo produtivo de grãos no estado do Pará: análise para região de influência de Santarém. In: ENCONTRO NACIONAL DA ENABER, 7, 2009, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ENABER, 2009.

ALVES, I.C.C.; EI-ROBRINI, M.; SANTOS, M.L.S.; MONTEIRO, S.M.; BARBOSA, L.P.F.; GUIMARÃES, J.T.F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazonica*. [online]. v. 42, n. 1, p. 115-124, 2012.

APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th ed. Washington, DC: American Public and Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, 2005, [s.n.].

AYRES, M., AYRES, M.J., AYRES, D.L., SANTOS, A.S. *Bio Estatística 2.0: Aplicações estatísticas nas áreas biológicas e médicas*. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq, XII, 2002. 272p.

BEM, C.C. *Determinação do Estado de Eutrofização de um lago raso: estudo de caso do Lago Barigui - Curitiba*. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídrico e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009.

BIGARRELLA, J.J. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. v. 3, Florianópolis: UFSC, 2003. 1436p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: *Diário Oficial da União*, n. 053, p. 58-63, 18/03/2005.

_____. Presidência da República. Ministério da Casa Civil. *Plano de desenvolvimento regional sustentável para a área de influência da rodovia BR-163 Cuiabá-Santarém*. Brasília, 2006. 193 p. (Grupo de Trabalho Interministerial, Decreto de 15 de março de 2004).

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 2, p. 361-80, 1977.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO). *Guia de coleta e preservação de amostras de água*. São Paulo: CETESB, 1988. 160 p. (Série Relatórios).

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO). *Índice de Estado Trófico*. São Paulo: CETESB, 3 p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas-interiores/documentos/indices/04.pdf>. Acesso em: 12 out. 2013.

COELHO, A.S. *Modelagem de dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na região de Santarém, oeste do Pará*. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

COSTA, S.M.G. *Grãos na floresta: estratégia expansionista do agronegócio*

- na Amazônia. 2012. 312 f. Tese (Doutorado em Planejamento do Desenvolvimento) - Universidade Federal do Pará, Pará, 2012.
- DUARTE, M.A.C.; CEBALLOS, B.S.O.; KÖNIG, A.; MELO, S.H.N.; ARAÚJO, H.J.A. Índice do estado Trófico de Carlson (IET) aplicado em corpos aquáticos lênticos do nordeste do Brasil. In: ASOCIACIÓN PERUANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL; AIDIS: Gestión ambiental em El siglo XXI, 1, 1998, Lima. *Anais...* Lima: APIS, 1998, p. 1-5.
- ESTEVES, F.A.; MEIRELLES-PEREIRA, F. Eutrofização Artificial. In: ESTEVES, F.A. (Coord.) *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2011. p. 625 – 655.
- FIA, R., MATOS T.A., CORADI, P.C., RAMIREZ, O.P. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, v. 4, n. 1, p. 132-141, 2009.
- FIGUEIRÊDO, A.C. *Avaliação e diagnóstico da qualidade da água do açude de apipucos, Recife-PE*. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.
- GREENPEACE; SINDICATO DOS TRABALHADORES E TRABALHADORAS RURAIS DE SANTARÉM; PROJETO SAÚDE E ALEGRIA; SINDICATO DOS TRABALHADORES RURAIS DE BELTERRA. *Mapeamento comunitário dos impactos da soja em Santarém e Belterra*. Santarém. 2009. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/mapa-participativo-inedito-exp/>. Acesso em: 13 dez. 2012.
- JARVIE, H.P.; NEAL, C.; WITHERS, P.J.A. Sewage-effluent phosphorus: a greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus? *Science of the Total Environment*, v. 360, p. 246-253, 2005.
- LAMPARELLI, M.C. *Grãos de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- LIMA, J.E.F.W. *Recursos hídricos no Brasil e no mundo*. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, n. 33, 2001. 46p.
- MANSOR, M.T.C. *Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira-SP*. 2005. 318 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- MCDOWELL, R.W.; SHARPLEY, A. N.; CONDRN, L.M.; HAYGARTH, P.M.; BROOKES, P.C. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 59, p. 269-284, 2001.
- QUINTON, J.N.; CATT, J.A.; HESS, T.M. The selective removal of phosphorus from soil: Is event size important? *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 30, n. 2, p. 538-545, 2001.
- REYNOLDS, C. *Ecology of phytoplankton*. New York: Cambridge University Press, 2006. 551p.
- REYNOLDS, C.S.; DAVIES, P.S. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. *Biology review*, v. 76, p. 27-64, 2001.
- RODRIGUES, M.M.; MARQUES, M.E.F.; OLIVEIRA, E.A.A. Q.; DIAS, N.W. A economia de Santarém e o encadeamento do processo de urbanização. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO E ECONCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR, 13, 9 e 3, 2009, São José dos Campos. *Anais...* São José dos Campos: Univap, 2009. On-line. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0688_1314_01.pdf. Acesso em: 23 set. 2013.
- SHARPLEY, A.N.; DANIEL, T.; SIMS, A.; LEMUNYON, R.; STEVENS, R.; PARRY, R. *Agricultural phosphorus and eutrophication*. 2. ed. Ohio: United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service, 2003. 36p.
- SILVA, J.C.; FIEDLER, N.C.; SILVA JR., M.C.; RIBEIRO, G.A.; FELFILL, J.M. Diagnóstico das principais causas de incêndios florestais em unidades de conservação do distrito federal. In: WORKSHOP SOBRE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CERRADO, 1, 2001, Brasília. *Anais...* Brasília: UnB, 2001. p. 35-41 (Comunicações Técnicas Florestais, v.3, n.2).
- SILVEIRA, C.; ROSA, L.; MEES, J.B.R.; BORTOLI, M.M. Determinação do índice de estado trófico de um manancial Receptor de efluente de estação de tratamento de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2, 2011, Londrina. *Anais...* Londrina: IBEAS, 2011. On-line. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/VIII-005.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2013.
- SOARES FILHO, B.; ALENCAR, A.; NESPTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M.D.V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarem-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, v. 10, p. 745-64, 2004.
- SOUZA, R.J.; LINDO, P.V.F. Integração econômica da Amazônia no contexto de um Brasil dual: do ciclo da borracha à implantação da rodovia BR-163. *Revista Formação*, v. 1, n. 16, p. 70-83, 2009.
- VENTURIERI, A.; COELHO, A.S.; THALES, M.C.; BACELAR, M.D.R. Análise da Expansão da Agricultura de Grãos na Região de Santarém e Belterra, Oeste do estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. p.

7003-10. CD-ROM.

ZAR, J.H. *Biostatistical Analysis*. 2. ed. Ed. Prentice Hall, 1984. 718p.

Contribuição dos autores

Christiane Patrícia Oliveira de Aguiar: trabalhou na idealização e elaboração do projeto em conjunto com o orientador de mestrado, além da coleta e análise de dados, e nas discussões e redação do artigo;

José Reinaldo Pacheco Peleja: foi orientador de mestrado da primeira autora, contribuindo na idealização e elaboração do projeto, análise dos dados e revisão limnológica do artigo;

Keid Nolan Silva Sousa: foi co-orientador de mestrado da primeira autora, contribuindo com as atividades de geoanálise no dimensionamento das paisagens de uso, especificamente a cobertura do solo;

Ynglea Georgina de Freitas Goch: contribuiu com as interpretações ecológicas, mormente na área de estudo do Projeto de Assentamento PA-Mojú;

Alcimara dos Santos Guimarães: trabalhou na coleta e análises de clorofila-a e fósforo total na área de estudo do Assentamento PA-Mojú.