

Influência relativa de componentes ambientais, uso do solo e espaciais na estrutura da comunidade fitoplanctônica em sistemas lóticos

Pedro Henrique Francisco de Oliveira¹ (IC)*, Karine Borges Machado² (PG), João Carlos Nabout¹ (PQ)

*peedriinho@gmail.com

¹ Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas, Henrique Santillo, Anápolis, GO.

² Universidade Federal de Goiás (UFG) – Instituto de Ciências Biológicas, Goiânia, GO.

Resumo: O crescente interesse pelos fatores que moldam às comunidades em diversos ecossistemas vem sendo bem evidente em inúmeras literaturas. Entretanto, ainda há lacunas e controvérsias em prol de quais fatores afetam a estrutura de comunidades biológicas. No presente estudo, tivemos como objetivo analisar a influência dos preditores ambientais locais, regionais (uso do solo) e espaciais (dispersão) na estrutura da comunidade fitoplanctônica em ambientes lóticos do Cerrado. Um total de 30 ambientes lóticos foram amostrados, sendo esses 2^a a 5^a ordem, no sistema do Alto rio Tocantins (Bacia Tocantins-Araguaia, sub-bacia Tocantins) durante o período seco. Para análise das variáveis ambientais locais (físico-químicas e morfométricas), foram utilizados aparelhos digitais portáteis, onde às morfométricas constituíram-se da área e profundidade. Às variáveis regionais compuseram-se pelas classes de uso do solo, sendo realizado com base em imagens Landsat-TM 5, dentre outras disponíveis, onde o preditor espacial fora representado por filtros espaciais obtidos a partir de PCNM's. A representatividade da comunidade fora de 65 espécies de algas, ao passo que o grupo das Diatomáceas compôs a maior riqueza. O preditor espacial foi o mais importante para explicar a estrutura da comunidade fitoplanctônica. Obtivemos a estruturação dessa devida comunidade fitoplanctônica (R^2 adj 0,05; p 0,048), ou seja, ampla capacidade dispersiva dos microorganismos planctônicos foi determinada para explicar a variação de espécies entre os pontos amostrais dos riachos estudos.

Palavras-chave: dispersão; fitoplâncton; metacomunidades; riachos; variáveis limnológicas;

Introdução

Mediante ao ambiente aquático, alguns grupos tendem a responder rapidamente as alterações climáticas, locais ou de paisagem (MARQUES, BARROS, MORAIS, 2015). Quatro paradigmas teóricos abordados na literatura (nicho, efeito em massa, dinâmica de manchas e neutralidade), promovem o estudo de diferentes conformidades em um gradiente espacial. Em resumo, a estrutura das comunidades

pode ser determinada por influência dos componentes ambientais, regionais e locais, ou ainda a capacidade de dispersão das espécies (LEIBOLD *et al.*, 2004).

Nota-se que a comunidade fitoplanctônica é um importante sensor da qualidade dos ambientes aquáticos (REYNOLDS, 2006). Ao passo que essa, formada por organismos fotossintéticos, contribui de forma massiva para o ambiente, sendo base da cadeia trófica (LUCINDA, 2007). Além disso, sua ampla capacidade de dispersão trona-se um grupo taxonômico relevante para avaliar o efeito da dispersão e do ambiente na estrutura das comunidades biológicas.

Tal comunidade vem sendo descrita na literatura como um efetivo indicador de variações no ambiente aquático, sendo atrelada tanto ao quesito do biomonitoramento, como também saúde sanitária, podendo trazer grandes riscos à saúde de comunidades ribeirinhas por apresentarem toxinas, como por exemplo, o gênero *Pseudanabaena* (ROSENBERG & RESH, 1993; CARDOSO *et al.*, 2016; NOGUEIRA, JÚNIOR E D'ALESSANDRO, 2011).

A comunidade fitoplanctônica responde às influências de mudanças locais e globais, onde considera-se micronutrientes, temperatura e invasão de espécies (WETZEL, 2001; CARDOSO *et al.*, 2013). Fatores físicos e químicos como luz, temperatura e deposição de íon podem afetar a estruturação das comunidades fitoplanctônicas (SILVA, TRAIN, RODRIGUES, 2001).

Ademais, fatores de paisagem como o uso do solo e clima podem também influenciar direta ou indiretamente a comunidade de algas (MARCIONILIO *et al.*, 2016). Adicionalmente, apesar dos microrganismos terem ampla capacidade de dispersão, os mesmos podem apresentar limitações na sua distribuição, portanto, as distâncias entre as localidades podem influenciar na composição das espécies de algas (NOGUEIRA & NABOUT, 2010).

Desta maneira, estudos sobre quais fatores podem interferir na composição da comunidade fitoplactônica, ao longo de um gradiente espacial-ambiental, torna-se cada vez mais interesse e um tema bastante atual na literatura científica (BASELGA, 2010). Portanto, o presente estudo tem por objetivo avaliar a importância relativa dos componentes ambientais locais, regionais (uso do solo) e espaciais (capacidade de dispersão) sobre tal comunidade de algas (particularmente para o grupo de Diatomáceas) em ambientes lóticos do Cerrado.

Material e Métodos

- *Área de Estudo*

O presente estudo realizado entre as coordenadas 49°10'W e 48°34'W e 13°09'S e 13°30'S ao longo de uma área de cerca de 60.000 Km², no Norte de Goiás, sistema do Alto rio Tocantins (Bacia Tocantins-Araguaia, sub-bacia Tocantins). Foram selecionados pelo menos 30 ambientes lóticos de 2^a a 5^a ordem, contemplando o gradiente de condições ambientais presente na região. Tais riachos tiveram sua amostragem durante o período seco, quando a efetividade dessas é maior em função do menor volume de água dos cursos d'água.

- *Coleta de dados e análise do material*

As amostras, coletadas em um único período amostral, foram todas de superfície nos respectivos ambientes amostrados. Para o estudo quantitativo tivemos amostras coletadas de 1000 mL (Utilizando tal volume por se tratar de ambientes lóticos). Posteriormente, foram acondicionadas em frascos escuros, fixadas com soluções de lugol-acético modificada (VOLLENWEIDER, 1974) e estocadas no escuro.

Ao passo que a densidade do fitoplâncton fora estimada pelo método de Utermöhl (1958) em microscópio invertido Zeiss Axiovert25 de 450 aumentos, usando-se tempo de sedimentação de pelo menos três horas para cada centímetro de altura da câmara (MARGALEF, 1983).

- *Variáveis ambientais locais e regionais*

As variáveis ambientais locais foram constituídas por variáveis físico-químicas e morfométricas. Ao passo que variáveis físico-químicas tiveram sua mensuração *in situ* com aparelhos digitais portáteis. Onde a concentração de fósforo total e nitrogênio orgânico foram obtidos conforme a metodologia de Standard Method (ALPHA 1995). Já as variáveis morfométricas constituíram-se da área e profundidade. Mediante as variáveis regionais, essas foram compostas pelas classes de uso do solo (Remanescente, Pastagem e Agricultura). A classificação do uso do solo na região de estudo fora realizada com base nas imagens Landsat-TM 5 (ou outras disponíveis).

Para obtenção dos dados espaciais as coordenadas geográficas serão usadas para gerar filtros espaciais, que representam a estrutura espacial em

diferentes escalas geográficas. Os filtros espaciais serão gerados por meio da PCNM (*principal coordinates of neighbour matrices*) (GRIFFITH & PERES-NETO, 2006; NABOUT, *et al.*, 2009). A localização geográfica de cada ponto amostral será feita utilizando o equipamento GPS (modelo Garmin).

- *Análise de Dados*

No presente trabalho nós utilizamos o critério da análise de componentes principais (PCA), reduzindo o conjunto de variáveis, no qual são selecionados componentes cujo poder de explicação (autovetores) proporciona, posteriormente, a seleção dos *loadings*. Os dados ambientais foram resumidos em uma PCA – onde o conjunto de variáveis utilizadas foram: Temperatura, pH, Nitrogênio total, dentre outras, como Sólidos Totais Dissolvidos – onde cada qual fora log-transformadas, exceto o pH.

A PCA fora utilizada para selecionar variáveis para compor a Análise de Redundância Parcial (RDA) (ver abaixo). Foram selecionadas tais variáveis, levando em consideração os *loadings* apresentados pelas mesmas, sendo essas: Nitrogênio Amoniacal (N. amoniacal); NTK; Temperatura (Temp); pH e Sólidos Totais Dissolvidos (STD), compondo o hall de variáveis ambientais para realização partição da variância.

Para determinar a importância relativa de componentes ambientais locais, regionais e espaciais fora realizado uma análise de redundância (RDA) com partição de variância (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998). Foram utilizados três conjuntos de preditores: i) Ambientais locais (determinados pela PCA); ii) Uso do solo; iii) Filtros espaciais, sendo esses, com base na matriz de coordenadas geográficas (Latitude e Longitude), do tipo PCNM, ao passo que o foram utilizados um total de 4 filtros espaciais.

Em relação aos resultados a partir da análise de redundância parcial, será possível uma relação entre variáveis ambientais e espaciais em prol da composição de espécies (R^2). Onde teremos como resultados componentes, sendo esses: únicos, os quais são os preditores ambiental [a], regional [b] e espaço [c]. Juntamente com os compartilhados, sendo esses a relação entre os mesmos, ou seja, Espacial + Regional, por exemplo e o resíduo. Mediante a matriz de espécies a mesma fora transformada a partir da função de Hellinger (LEGENDRE & GALLAGHER, 2001).

Os resultados das análises, a partir de todos ajustes necessários, fora realizado e obtido através pelo software R 3.4.1 (R Development Core Team) a partir do pacote Vegan (função *varpart*, *prcomp*, dentre outras) (OKSANNEN *et. al.*, 2013).

Resultados e Discussão

Foram encontradas 65 espécies de algas, com suas respectivas classes, sendo as mesmas baseadas na classificação na classificação de Round (1965;1971) e Round *et al.*, 1990. Mediante esta listagem, foi possível estimar a densidade de espécies por classe taxonômica considerando os 30 riachos (Figura 1). Nota-se que a classe taxonômica que apresentou uma maior expressividade foi Bacillariophyceae, com uma densidade de 1367,11 (Ind/mL), em contrapartida a classe Zygnematophyceae apresentou um menor número de indivíduos, 27,53 Ind/mL.

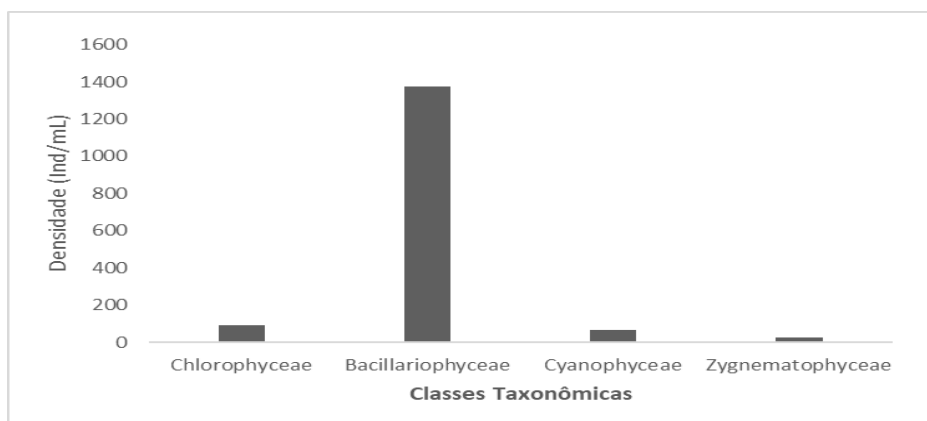


Figura 1. Densidade das classes taxonômicas em relação aos 30 pontos amostrais.

Analisou-se também, em relação aos 30 pontos de amostragem, qual desses apresentaria a maior riqueza de espécies (Figura 2). Atendendo a tal quesito, o ponto 3 expressou uma maior riqueza de espécies (9 espécies) e nos pontos 20 e 28 o menor número de (1 espécie), onde tem-se uma média de 4 espécies por pontos.

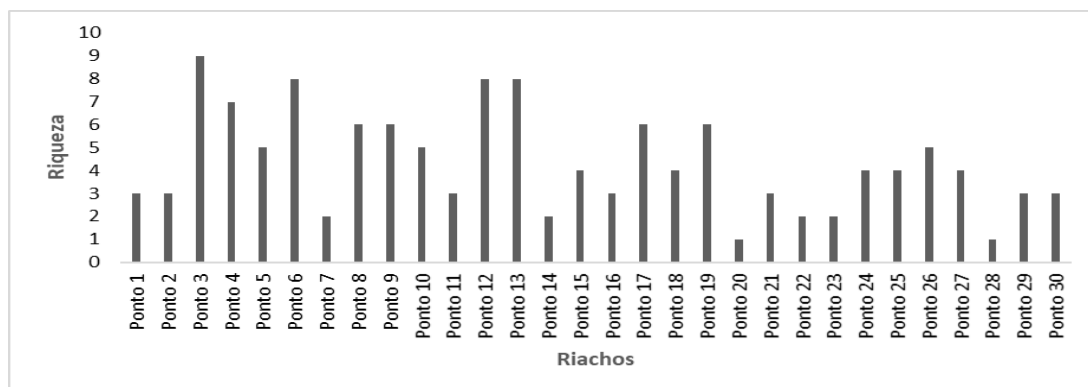


Figura 2. Riqueza de espécies em relação aos 30 riachos coletados.

Os eixos em conjunto da PCA apresentam 45,4% de explicação, ao passo que o primeiro eixo representou 24,5% de explicação, enquanto o segundo eixo 20,9% de explicação (Figura 3). As variáveis que representam o primeiro eixo (PC1) positivamente foram: Nitrogênio Total (N.T); NTK e o Nitrogênio orgânico (N.org). E negativamente foram o Nitrato total (Nitra.T). Em relação ao segundo eixo (PC2), a variável que melhor representou o mesmo positivamente foi Nitrato total (Nitra.T) e negativamente foi o pH.

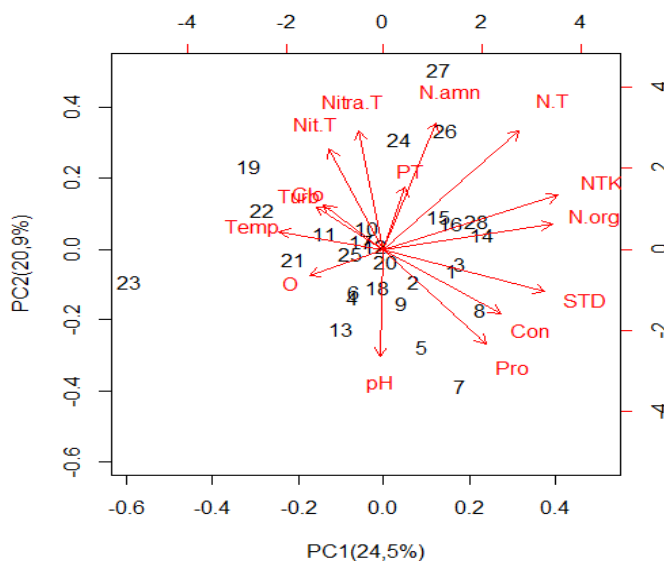


Figura 3. Disposição das variáveis locais (Clo:Clorofia-a; STD: sólidos totais dissolvidos; N-organico: Nitrogênio orgânico ; Tb: turbidez; ph; Pr: profundidade; Condutibilidade; N-amn: N-aminical; NTK; Nitra-T: Nitrito total; Nitrato:Nitri.T; O: Oxigênio; Temp: Temperatura da água; PT: fosforo total. Vinculadas aos respectivos riachos (1-28).

A RDA, sobretudo, indicou que somente o componente espacial foi importante, para explicar a variação da comunidade de Diatomáceas (R^2 adj 0,05; $p=0,48$). Com base nos preditores ambientais e de paisagem não se apresentam como bons

preditores para a comunidade fitoplactônica, sendo evidenciado pelos baixos valores de R^2 e P (Quadro 1).

Quadro 1. Componentes únicos e compartilhados encontrados na RDA parcial (R^2 adj) e nível de significância.

Componentes	R^2 adj	P
Espacial	0.052	0.048
Regional	-0.0003	0.84
Ambiental	-0.004	0.6
Espacial + Regional	-0.0002	-
Espacial + Ambiental	-0.002	-
Regional + Ambiental	-0.0002	-
Resíduo	0.95	-

Mediante ao resultado significativo encontrado com base no preditor Espacial (R^2 adj= 0,05; $p= 0,048$), temos que a dispersão é o fator que maior delimita a estruturação da comunidade fitoplactônica em tais riachos. Uma vez que, tais riachos encontram-se conectados por uma mesma via fluvial, propiciando assim uma dispersão continua dessas espécies de algas, onde por mais que se tenha condições ambientais favoráveis ou não, essa espécie irá dispersa-se (VANORMELINGEN, VERLEYNEN, VYVERMAN, 2008; SOININEN, 2012).

Em relação a demais grupos, a literatura apresenta em maior peso a composição das espécies sendo vinculada a variáveis ambientais, como por exemplo, a dispersão de larvas de peixes pelágicos (ALEMANY, 2006). Como também tal preditor ambiental, sendo significativo para às algas (ALAGARTE et.al, 2014; HUSZAR et al., 2015; MACHADO et al., 2016; KATISIAP et al., 2012).

No entanto, outros trabalhos tem encontrado o preditor espacial mostrando-se significativo na composição de comunidades de microorganismos, sobretudo, no caso das algas a partir dos estudos com Diatomáceas (HEINO et. al., 2010; VANORMELINGEN, VERLEYNEN, VYVERMAN, 2008). Onde características vinculadas a fácil dispersão de grupos de algas, por exemplo, aquelas que não são presas ao substrato, irá propiciar uma maior ocorrência geograficamente, ainda mais se forem espaços interligados (ALAGARTE et al., 2014; BEISNER et al., 2006).

Considerações Finais

O presente trabalho acrescenta a discussão na literatura científica sobre perspectivas de metacomunidades, e foi possível concluir que a estrutura da comunidade fitoplanctônica de Diatomáceas dos ambientes lóticos estudados é afetada pela distância geográfica em relação a cada riacho. Ou seja, a ampla capacidade dispersiva e a conexão entre os ambientes não limita a distribuição das espécies. Nessa perspectiva, por mais que as condições ambientais não estejam propícias há ocorrência de uma dada espécie, a ampla capacidade de dispersão permite que a mesma ocorra.

Mediante ao preditor Espacial, ou seja, a dispersão geográfica dessas espécies, o mesmo apresenta relevância para explicação da composição desta devida comunidade. Uma vez que, os riachos situam-se dentro de uma mesma malha hidrográfica, sub-bacia do Alto Rio Tocantins, sendo um ambiente de baixa escala, propiciando tal processo.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo auxílio concedido pela bolsa de Iniciação Científica a Pedro Henrique F. de Oliveira e pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto. João Carlos Nabout ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa. Karine Borges Machado agradece a CAPES pela bolsa de doutorado.

Referências

APHA. **Standard methods**. 19th Edition. American Public Health Association, Washington, DC, 1995.

ALAGARTE, V.M.; RODRIGUES, L.; LANDEIRO, L.V.; SIQUEIRA, T.; BINI, L.M. **Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter?**. Hydrobiologia. v.722, p. 279-290, 2014.

ALEMANY, F.; DEUDERO, S.; MORALES-NIN, B.; LÓPEZ-JURADO, J.L.; JANSÁ, J.; PALMER, M.; PALOMERA, I. **Influence of physical environmental factors on the composition and horizontal distribution of summer larval fish assemblages of Mallorca island (Balearic archipelago, western Mediterranean)**. Journal of Plankton research. v.9, n.5, p.473-487, 2006.

BASELGA, A. **Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity**. Global Ecology and Biogeography (Global Ecol. Biogeogr.). V.9, p. 134-143, 2010.

BEISNER, B.E.; PERES-NETO, P.R.; LINDSTRÖM, E.S.; BARNETT, A.; LONGHI, M.L. **The role of environmental and spatial processes in structuring lake communities from bacteria to fish.** Ecology. v.87, n.12. p.2985-2991, 2006.

CARDOSO, A.S., FILHO. S.M.P.S., ALVES. A. F., ROCHA. M.C., CUNHA, M.C.C. **Fitoplâncton como bioindicador de eventos externos na bacia do rio Uma, Pernambuco, Brasil.** Revista Brasileiras de Geografia Física. v.6, n.4, p.697-710, 2013.

CARDOSO, A.S.; MARWELL, D.T.B.; SOBRAL, M.C.M.; MELO, G.L.; CASÉ, M.C.C. **Analysis of phytoplankton presence in an integral basin of the Integration Project of São Francisco River, semiarid region, Northeast Brazil.** Eng. Sanit. Ambient., ahead of print Epub, Nov 2016.

GRIFFITH, D.A; Peres-Neto PR. **Spatial modeling in ecology: the flexibility of eigenfunction spatial analyses.** Ecology, 87: 2603-2613, 2006.

HEINO, J.; BINI, L.M.; KARJALAINEN, S.M.; MYKRA, H.; SOININEN, J.; VIEIRA, L.C.G.; DINIZ-FILHO, J.A.F. **Geographical patterns of micro-organismal community structure: are diatoms ubiquitously distributed across boreal streams?** Oikos. v. 119, n. 1, p. 129-137, 2010

HUSZAR, V.L.M.; NABOUT, J.C.; APPEL, M.O.; SANTOS, J.B.O.; ABE, D.S.; SILVA, L.H.S. **Environmental and not spatial processes (directional and non-directional) shape the phytoplankton composition and functional groups in a large subtropical river basin.** Journal of Plankton Research, v. 37, n. 6, p. 1190-1200, 2015.

KATSIAPI, M.; MAZARIS, A.D.; CHARALAMPUS, E.; MOUSTAKA-GOUNI, M. **Watershed land use types as drivers of freshwater phytoplankton structure.** Hydrobiologia. v. 698, p.121-131, 2012.

LEIBOLD, M.A.; HOLYOAK, M.; MOUQUET, AMARASEKARE, P.; CHASE, J.M.; HOOPES, M.F.; HOLT, R.D.; SHURIN, J.B.; LAW, R.; TILMAN, D.; LOREAU, M.; CONZALEZ, A. **The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology.** Ecology Letters. v.7, p. 601-613, 2004.

LUCINDA, I. **Estudo da comunidade planctônica (bacterioplâncton, nanoflagelados, fitoplâncton e zooplâncton) em um pequeno reservatório tropical – experimentos com mesocosmos.** Tese. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2007.

MACHADO, K.B.; TERESA, F.B.; VIEIRA, L.C.G.; HUSZAR, V.L.M.; NABOUT, J.C. **Comparing the effects of landscape and local environmental variables on taxonomic and functional composition of phytoplankton communities.** Journal of Plankton Research. p.1-13, 2016.

MARCIOLINO, S.M.L.O.; MACHADO, K.B.; CARNEIRO, F.M.; FERREIRA, M.E.; CARVALHO, P.; VIEIRA, L.C.G.; HUSZAR, V.L.M. NABOUT, J.C. **Environmental**

factors affecting chlorophyll-a concentration in tropical floodplain lakes, Central Brazil. Environmental Monitoring and Assessment. v.188, p. 611-619, 2016.

MARQUES, A.K., BARROS, D.J., MORAIS, B.P. **Análise temporal de *Cyanobactéria* e índice de estado trófico na PCH Porto franco, Tocantins.** J.bioen. Food Sci. v.2, n.4: p.135-144, 2015.

NABOUT.J.C.; SIQUEIRA.T.; BINI.L.M.; NOGUEIRA.I.S. **No evidence for environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities.** Acta Oecologica. v.1.n1. p.720-726, 2009.

NOGUEIRA. I.S., NABOUT. J.C. **Determinantes da diversidade beta: a importância relativa de processos ambientais e espaciais na estrutura de comunidades Fitoplanctônicas de uma planície de inundação amazônica.** Biological Limnology. vol.22, no. 3, p.247-256, 2010.

NOGUEIRA, I.S.; JÚNIOR, W.A.G.; D'ALESSANDRO, E.B. **Cianobactérias planctônicas de um lago artificial urbano na cidade de Goiânia, GO.** Revista Brasil. Bot., v.34, n.4, p. 575-592, out-dez, 2011.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., Simpson, G. L., Solymons, P. *et al.* (2013) **Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-6.** <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

R Core Team (2012) **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>."2012.

REYNOLDS, C.S. **The Ecology of Phytoplankton.** Cambridge University Press. 530 pp, 2006.

ROSEMBERG, D.M., RESH, V.H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.** Chapman & Hall. P.448, New York, 1993.

SILVA, C.A., TRAIN, S., RODRIGUES, L.C. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplânctonica a jusante e montante do reservatório de Corumbá, Caldas Novas, Estado de Goiás, Brasil.** Acta Scientiarum. v.23, n.2, p.283-290, 2001.

SOININEN, J. **Macroecology of unicellular organisms – patterns and processes.** Environmental Microbiology Reports. v. 4, n.1, p.10-22, 2012.

UHELINGER V. **Étude statistique des methodes de dénombrement planctonique.** Arch. Sci., 17(2):121-223, 1964.

VONORMELINGEN, P.; VERLEYEN, E.; VYVERMAN, W. **The diversity and distribution of diatoms: from cosmopolitanism to narrow endemism.** Biodiversity and Conservation. v. 17, n.2, p.393-405, 2008.

VOLLENWEIDER, R.A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factor in eutrophication.** Paris, 1968: Report OECD.