

LIMNOLOGIA EM PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO: A EXPERIÊNCIA NAS LAGOAS COSTEIRAS DO NORTE FLUMINENSE (PELD-SÍTIO 5)

Francisco de Assis ESTEVES & Ana Cristina PETRY

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
Coordenação do PELD-Sítio 5

E-mail: ac_petry@yahoo.com.br

Introdução

Muito embora existam registros de estudos de longo prazo desde o século XIII, pesquisas ecológicas envolvendo questões que requerem tempo superior a 10 anos para serem respondidas representavam menos de 5% da produção científica mundial nas últimas décadas do século XX (Kareiva & Andersen, 1988; Cody, 1996; Binkley et al., 2006). Foi apenas a partir de 1990 que a idéia de um programa de estudos de longo prazo implantado nos principais biomas norte americanos foi estendida a outros países (Anderson et al., 2008). Atualmente, mais de trinta países, organizados em cinco redes regionais (Leste asiático - Pacífico, Europa, África, América do Norte, e América Central e do Sul) integram a rede internacional de pesquisas ecológicas de longo prazo (ILTER). No Brasil, 11 sítios implementados entre 2000 e 2001 desenvolveram o programa de pesquisas ecológicas de longa duração em sua primeira fase: na Amazônia, Pantanal, Caatinga, Cerrado, Planícies costeiras do Sul e Sudeste, Planície de inundação do alto Rio Paraná, bacia do rio Doce e nas matas de araucárias do Sul do Brasil (Barbosa et al., 2003).

Estudos sobre o funcionamento dos ecossistemas despertam grande interesse da comunidade científica, especialmente quando contemplam o efeito de distúrbios na regulação da diversidade biológica (Willis & Bhagwat, 2009), ciclagem de nutrientes (Schindler, 2001; De Deyn et al., 2008), além de outros recursos essenciais e condições ambientais (Carpenter et al., 1995; Bondavalli et al., 2006). Projeções acerca das mudanças climáticas, por exemplo, evidenciam sua forte relação com o ciclo da água. Para o sudeste brasileiro, por exemplo, estima-se uma redução de 10 a 20% nos índices pluviométricos e a elevação do nível do oceano nas próximas décadas (IPCC, 2007). Dessa forma, cenários de reduções de pluviosidade, como seqüências de anos secos, ou o aumento na incidência de intrusões marinhas, podem causar respostas diferenciadas na biota de áreas costeiras planas, resultando primeiramente em extinções locais e posteriormente na redução de componentes de sua diversidade.

Embora esses tópicos sejam considerados importantes apenas atualmente, em nosso país como no exterior, há mais de uma década eles têm sido alvo do programa de pesquisas ecológicas de longo prazo desenvolvido nas restingas e lagoas costeiras do Norte Fluminense pelo PELD-Sítio 5.

O PELD-Sítio 5 nas lagoas da Restinga de Jurubatiba

No ano 2000, a proposta do PELD-Sítio 5 resultou de um esforço multidisciplinar e multi-institucional coordenado por Francisco de Assis Esteves, professor e pesquisador do Instituto de Biologia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), além de outros pesquisadores da mesma instituição e da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Estadual do Norte Fluminense e Universidade Federal de Juiz de Fora. Para estes, a garantia de apoio por uma década de pesquisas com o objetivo principal de avaliar o efeito de distúrbios naturais e antrópicos no então recente Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba (PARNA Restinga de Jurubatiba; Criado por Decreto Federal em 29 de abril de 1998) representava o impulso necessário para alavancar os estudos num único ecossistema frágil, e com um histórico de formação geológica relativamente recente.

O início das pesquisas intensivas na restinga de Jurubatiba, entretanto, remonta a década de 1980, quando alunos e professores da pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais da UFSCAR, em visita à região, se depararam com mais de uma dezena de lagoas entremeadas por uma vegetação terrestre organizada na forma de moitas. Este cenário compôs o pano de fundo para as pesquisas limnológicas no Norte Fluminense, na principal categoria de ambientes lênticos naturais do território brasileiro: as lagoas costeiras (Esteves, 2008). Em relação a sua formação, as lagoas costeiras do PARNA Restinga de Jurubatiba derivam de feições do relevo na forma de cristas de praia. Essas têm sido formadas pelos movimentos de transgressão e regressão marinhos nos últimos 100.000 anos, e pela deposição de sedimentos de origem fluvial, em períodos nos quais o oceano chegou a atingir até nove metros acima dos níveis registrados na atualidade. Assim, a sedimentação marinha barrou a foz de rios e córregos que, ao perderem a força de sua vazão, deram origem a lagoas perpendiculares ao mar, com braços longitudinais nas depressões entre as cristas de praia (Fig. 1).



Figura 1. Vista aérea do PARNA Restinga de Jurubatiba e suas 18 lagoas situadas nas depressões do relevo caracterizado por cordões arenosos paralelos ao Oceano Atântico. Fonte: GoogleEarth.

Lagoas costeiras, em geral, apresentam uma produtividade comparável aos estuários e zonas de ressurgência, e podem estabelecer contato esporádico com o mar de forma natural, em períodos de elevada pluviosidade, ou pelo rompimento artificial da barreira arenosa que separa estes ecossistemas do ambiente marinho adjacente. Apesar da relativamente baixa riqueza de espécies e de endemismos para a maior parte dos táxons, a manutenção dos organismos nesses ambientes costeiros depende estritamente de sua capacidade em lidar com condições por vezes adversas (elevado estresse hídrico, variações bruscas da salinidade e intensa radiação solar). Assim, as lagoas costeiras representam o limite de distribuição de espécies que em função de sua história filogenética e do histórico evolutivo fortemente associado ao isolamento e formação das bacias de drenagem, diferem amplamente entre si em aspectos ecológicos e fisiológicos, tais como a tolerância à salinidade.

Os resultados das pesquisas do PELD-Sítio5 confirmaram a maior parte das predições levantadas em 2000. Ou seja, alterações na pluviosidade e eventos de intrusão de água marinha nos ecossistemas costeiros regulam a ciclagem dos nutrientes, a vida de organismos aquáticos e a biodiversidade regional. De fato, para as lagoas do PARNA Restinga de Jurubatiba, a salinidade da água e os nutrientes atuam como os principais reguladores da distribuição de diversos organismos tais como bactérias, plantas,

microcrustáceos e peixes (Farjalla et al., 2006; Santos et al., 2006; Santangelo et al., 2007; Sánchez-Botero et al., 2009; de Macedo-Soares et al., 2010).

Uma das características mais inovadoras do PELD Sítio-5, no entanto, aconteceu de forma praticamente acidental, em uma das incursões mensais dos pesquisadores na área da restinga. No tempo de espera por ajuda, depois de atolar o veículo de coleta, o então doutorando em Ecologia Vinícius F. Farjalla e colegas identificaram um tipo especial de ambiente aquático: uma poça de águas escuras, que sugestivamente foi denominada Atoleiro. Em laboratório, a análise química da amostra revelou uma grata surpresa; Atoleiro, assim como diversas outras poças formadas primariamente pelo afloramento do lençol freático apresentavam as maiores concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD) já registradas na literatura (Steinberg et al., 2006; Farjalla et al., 2009a). A incorporação desses ambientes menores e em sua maioria temporários às amostragens sistemáticas de longo prazo do PELD-Sítio 5 evidencia a ocorrência de um interessante padrão na restinga, no qual as concentrações mais elevadas de COD são registradas após o início da estação chuvosa. Dessa forma, o modelo conceitual proposto para a dinâmica do COD nos ambientes aquáticos da restinga de Jurubatiba pressupõe que (i) além dos reconhecidos processos autóctones, tais como deposições históricas de matéria orgânica de origem vegetal terrestre e aquática nas camadas do sedimento, (ii) o entorno (a restinga) contribua com a decomposição de material terrestre recente, especialmente pela percolação do material lixiviado (Suhett et al., 2007; Farjalla et al., 2009b). Dessa forma, as alterações nos níveis de pluviosidade poderiam determinar modificações drásticas no aporte de COD, com conseqüências diretas especialmente sobre a cadeia de detritivoria neste tipo de ambiente, que é altamente dependente do acúmulo de biomassa morta e disponibilidade de nutrientes. Nesse sentido, foi recentemente aprovada uma proposta ousada e inovadora do PELD-Sítio 5 para os próximos nove anos, que visa basicamente compreender os processos subjacentes a esses padrões detectados, num contexto de tempo geológico.

Os principais produtos do PELD-Sítio 5

Desde 2000, foram contabilizados 253 produtos diretos do PELD-Sítio 5, envolvendo desde artigos científicos publicados em periódicos de ampla audiência, na sua maioria em revistas indexadas internacionais (N=152), como a publicação de livros e capítulos de livros (N=50), além de 36 folhetos informativos, cartilhas, palestras ou vídeos de divulgação científica (Fig. 2). Como é possível observar, os estudos limnológicos foram representativos desse total, contribuindo com cerca de 50% do total de

artigos publicados, 30% dos livros e capítulos de livros e 22% do material destinado à divulgação científica e educação ambiental. Os recursos humanos formados pelo PELD-Sítio 5 foram, em sua maioria, pós graduandos em nível de Mestrado (N=77) e Doutorado (N=53) dos Programas de Pós-Graduação em Ecologia e Ciências Ambientais da UFRJ, UERJ, UNIRIO, UENF, UFJF. No entanto, cabe destacar o elevado número de estudantes de Ciências Biológicas (N=93) que tiveram sua Iniciação Científica fundamentada nos estudos ecológicos conduzidos no PARNA Restinga de Jurubatiba. Grande parte desses alunos prolongou sua participação no projeto através do ingresso na Pós Graduação, não sendo raro o caso de doutorandos cujo histórico de formação acadêmica está completamente relacionado ao PELD-Sítio 5.

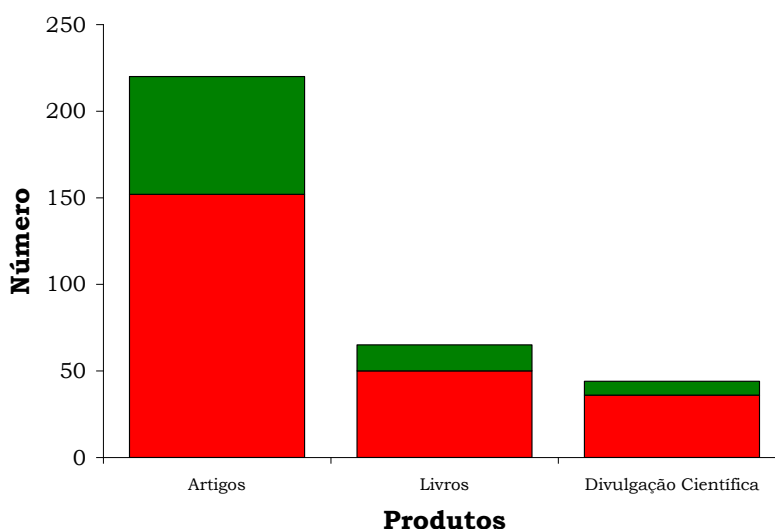


Figura 2. Artigos, capítulos de livros e outros produtos de divulgação da ciência publicados pelo PELD Sítio-5, entre 2000 e 2009. Destaque para a contribuição da Limnologia (verde).

A inserção Sócio-Ambiental do PELD-Sítio 5

Dentre os sítios de pesquisa do PELD, o Sítio 5 se destaca por atuar em uma área fortemente influenciada pela indústria petrolífera, e que conseqüentemente sofre os impactos diretos e indiretos sobre os recursos naturais, tais como o crescimento urbano acelerado, a especulação imobiliária, além dos riscos de desastres ambientais (Bozelli et al., 2009; Marotta et al., 2009). A identificação das reservas e o desenvolvimento de tecnologia para a extração do que regionalmente é chamado de ouro negro, a partir dos anos 1970, transformou drasticamente a identidade dos municípios no Norte

Fluminense, em especial Macaé. Em menos de 40 anos, Macaé experimentou um crescimento populacional acelerado de cerca de 280% (de 47.221 para 132.461 habitantes), superando em três vezes a média nacional. De cidade pacata de pescadores e fazendeiros, Macaé atualmente se destaca pela produção de renda, emprego e consolidação de empresas relacionadas direta e indiretamente ao ramo *offshore* de extração de petróleo. Entretanto, grande parte do cenário luxuriante das lagoas costeiras, admirado inclusive por Charles Darwin em sua visita à região, já foi altamente modificado, perdido, ou se encontra sob iminente risco de degradação.

Assim, sem dúvida, a proteção do remanescente de 14.860 ha de restinga na forma de parque nacional foi determinante para que o histórico de ocupação antrópica desta pequena parcela da costa do sudeste brasileiro fosse diferente daquele experimentado na região desde a colonização do Brasil (para mais detalhes, ver Dean, 1995). Já nos primeiros anos do PELD-Sítio 5, os resultados das pesquisas reforçaram a particularidade do ecossistema da restinga e a necessidade de sua conservação (Rocha et al., 2004). Além disso, o nível de comprometimento e a inserção dos pesquisadores nas demandas locais foram fundamentais para o reconhecimento por parte do poder público municipal, federal e da UFRJ da necessidade de implantação da primeira extensão da universidade fora do município do Rio de Janeiro (Esteves et al., 2005). Em 2006, o primeiro passo para a implantação do Campus da UFRJ/Macaé foi dado quando o Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas foi ofertado no Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Sócio-Ambiental de Macaé (NUPEM/UFRJ). Atualmente, além da Biologia, os cursos de Licenciatura em Química, Farmácia, Nutrição, Enfermagem e Medicina ampliam as possibilidades de formação e qualificação na região Norte Fluminense, sob a chancela da UFRJ/Macaé.

Entretanto, em seu histórico de comprometimento com o desenvolvimento sócio-ambiental da região Norte Fluminense a UFRJ transpõe as barreiras do meio acadêmico. Além de oferecer oportunidades de formação a um contingente crescente de jovens universitários fluminenses, a UFRJ/Macaé promove a inclusão da sociedade e subsidia o poder público nas questões ambientais. Numa inserção regional anterior à consolidação do Campus da UFRJ/MACAÉ, o PELD-Sítio 5 foi um dos principais responsáveis pela disseminação popular de grande parte do conhecimento científico gerado em 223 teses, dissertações e monografias; além dos outros produtos anteriormente mencionados, transcritos em linguagem acessível e desenvolvidos na forma de metodologias de ensino (Bozelli et al., 2004). Este material de divulgação científica e de educação ambiental do PELD-Sítio 5 tem sido amplamente utilizado na capacitação de professores do ensino médio e fundamental dos municípios do Norte Fluminense e região dos Lagos na forma de material didático (cadernos do NUPEM, Fichas dos

Seres), além de cursos regulares de férias, oferecidos no NUPEM/UFRJ. O programa de visitas guiadas no PARNA Restinga de Jurubatiba intitulado *Jurubatiba, uma sala de aula* já contou com a participação de 14.900 alunos e 1.280 professores das redes pública e particular de ensino, além de funcionários de diversas empresas da região (Fig. 3). Dessa forma, o PELD-Sítio 5 tem sido o alicerce do forte cunho extensionista da UFRJ/Macaé.



Figura 3. *Jurubatiba, uma sala de aula*, atividade extensionista de divulgação científica e educação ambiental realizada pelo PELD Sítio-5 às margens da lagoa Cabiúnas. Fonte: acervo do NUPEM/UFRJ.

Perspectivas do Peld-Sítio 5

De acordo com estimativas recentes, o COD representa um dos maiores estoques de carbono no planeta, sendo que sua degradação e transformação em CO_2 representam uma etapa importante no ciclo do carbono e na exportação desse elemento dos ambientes aquáticos para a atmosfera (Schindler et al., 1996; Steinberg et al., 2006; Suhet et al., 2007). Em continuidade às pesquisas iniciadas em 2000, a nova etapa do PELD-Sítio-5 tem por objetivo identificar os compartimentos da restinga que funcionam como emissores e sumidouros de carbono, em escalas temporais que variam de minutos a milhares de anos. Para isto, conta com a singularidade do amplo gradiente de COD dos ambientes aquáticos do PARNA Restinga de Jurubatiba, no qual serão identificadas e quantificadas as fontes inorgânicas de carbono (CO_2 , HCO_3^-), bem como descritos os processos de sua fixação biológica (fotossíntese),

acúmulo na forma orgânica (produção primária e secundária, metabólitos secundários), transferência (cadeia trófica), imobilização e saída (respiração, decomposição) dos ecossistemas. A caracterização do ciclo hidrológico e a aplicação de métodos geomorfológicos, sedimentológicos, geoquímicos e micropaleontológicos permitirá compreender a origem e a dinâmica paleoambiental e paleoclimática da restinga de Jurubatiba, servindo de referencial histórico para as alterações observadas na atualidade, e subsidiando as previsões sobre o funcionamento dos ecossistemas terrestre e aquático no cenário de mudanças climáticas globais.

Para este desafio, 23 pesquisadores das mais diversas áreas das ciências, em parceria com outros grupos sítios de pesquisa (PELD-Sítios 4 e 6) e demais colaboradores estão mobilizados. O conhecimento gerado a partir das pesquisas realizadas pelo PELD-Sítio 5, apoiado pelo MCT/CNPq é especialmente relevante para o país, por ser este o detentor de uma das maiores reservas de águas continentais do planeta, e para a rede internacional, pelas peculiaridades do carbono na restinga de Jurubatiba.

Referências Bibliográficas

- ANDERSON B, LIKENS GE, ROZZI R, GUTIERREZ JR; ARMESTO JJ, POOLE A. 2008. Integrating science and society through long-term socio-ecological research. *Environmental Ethics* 30 (3): 295-312.
- BARBOSA FAR, SCARANO FR, SABARÁ MG, ESTEVES FA. 2003. Brazilian LTER: Ecosystem and biodiversity information in support of decision-making. *Environmental Monitoring and Assessment* 90: 121-133.
- BINKLEY D, MOORE MM, ROMME WH, BROWN PM. 2006. Was Aldo Leopold right about the Kaibab Deer Herd? *Ecosystems* 9: 227-241.
- BONDAVALLI C, BODINI A, ROSSETTI G., ALLESIN S. 2006. Detecting stress at the whole-ecosystem level: the case of a mountain lake (Lake Santo, Italy). *Ecosystems* 9: 768-787.
- BOZELLI RL, CALIMAN A, GUARIENTO RD, CARNEIRO LS, SANTANGELO JM, BARROS MPF DE, LEAL JJF, ROCHA AM, QUESADO LB, LOPES PM, FARJALLA VF, MARINHO CC, ROLAND F, ESTEVES FA. 2009. Interactive effects of environmental variability and human impacts on the long-term dynamics of an Amazonian floodplain lake and a South Atlantic coastal lagoon. *Limnologia* 39: 306-313.

- BOZELLI RL, FERREIRA DM, ESTEVES FA, ROCHA AM, LOPES A. 2004. Educação Ambiental: um processo embasado no conhecimento científico em longo prazo e determinante no cuidado com a natureza. Pesquisa de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: Ecologia, História Natural e Conservação. In: Rocha CFD, Esteves FA, Scarano FR (Org.). Pesquisas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: Ecologia, História Natural e Conservação. Rio de Janeiro: RiMa, p. 361-373.
- CARPENTER SR, CHRISHOLM SW, KREBS CJ, SCHINDLER DW, WRIGHT RF. 1995. Ecosystems experiments. *Science* 269: 324-327.
- CODY ML. 1996. Introduction to long-term community ecological studies. In: Cody ML, Smallwood JA (Eds.). *Long-Term Studies of Vertebrate Communities*. USA: Academic Press.
- DE DEYN GB, CORNELISSEN JHC, BARDGETT RD. 2008. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters* 11: 516-531.
- DE MACEDO-SOARES PHM, PETRY AC, FARJALLA VF, CARAMASCHI EP. 2010. Hydrological connectivity in coastal inland systems: lessons from a Neotropical fish metacommunity. *Ecology of Freshwater Fish* 19: 7-18.
- DEAN W. 1995. *With Broadax and Firebrand: The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest*. Berkeley: University of California Press.
- ESTEVES FA, BOZELLI RL, ENRICH-PRAST A, CALIMAN A. 2005. NUPEM/UFRJ: Unindo ciência, ensino, preservação ambiental e promoção da cidadania no norte do Estado do Rio de Janeiro. In: Oliveira AJB, Pires MM. (Org.). *Democratização do Acesso ao Ensino Superior - Desafios e perspectivas*. 1ª ed. Rio de Janeiro, v. 1, p. 86-98.
- ESTEVES FA, CALIMAN A, SANTANGELO JM, GUARIENTO RD, FARJALLA VF, BOZELLI RL. 2008. Neotropical coastal lagoons: an appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology* 68: 631-637.
- FARJALLA VF, AMADO AM, SUHETT AL, MEIRELLES-PEREIRA F. 2009a. DOC removal paradigms in highly humic aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research International* 16: 531-538.
- FARJALLA VF, MARINHO CC, FARIA BM, AMADO AM, ESTEVES FA, BOZELLI RL, GIROLDO D. 2009b. Synergy of Fresh and Accumulated Organic Matter to Bacterial Growth. *Microbial Ecology* 57: 657-666.
- FARJALLA VF, PRAST AH, ESTEVES FA, CIMBLERIS A. 2006. Bacterial Growth and DOC consumption in a Tropical Coastal Lagoon. *Brazilian Journal of Biology* 66(2): 383-392.

- IPCC, 2007. Climate change and its impacts in the near and long term under different scenarios. In: Pachauri RK, Reisinger A (Eds). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC. Pp. 43-54.
- KAREIVA P, ANDERSEN M. 1988. Spatial aspects of species interactions: the wedding of models and experiments. In: Hastings A (Ed.). Community ecology. New York: Springer, p. 35-50.
- MAROTTA H, BENTO L, ESTEVES FA, ENRICH-PRAST A. 2009. Whole Ecosystem Evidence of Eutrophication Enhancement by Wetland Dredging in a Shallow Tropical Lake. *Estuaries and Coasts* 32: 654-660.
- ROCHA CFD, ESTEVES FA, SCARANO FR (Org.). 2004. Pesquisas de Longa Duração na Restinga de Jurubatiba: Ecologia, História Natural e Conservação. Rio de Janeiro: RiMa.
- SÁNCHEZ-BOTERO JI, GARCEZ DS, CARAMASCHI EP, SAAD AM. 2009. Indicators of influence of salinity in the resistance and resilience of fish community in a tropical coastal lagoon (Southeastern Brazil). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 38 (1): 171-195.
- SANTANGELO JM, ROCHA AM, BOZELLI RL, CARNEIRO LS, ESTEVES FA. 2007. Zooplankton responses to sandbar opening in a tropical eutrophic coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71: 657-668.
- SANTOS AM, AMADO AM, MINELLO M, FARJALLA VF, ESTEVES FA. 2006. Effect of the sand bar breaching on *Typha domingensis* (PERS.) in a tropical costal lagoon. *Hydrobiologia* 556: 61-68.
- SCHINDLER DW, CURTIS PJ, PAKER BR, STANTON MP. 1996. Consequences of climate warming and lake acidification for UV-B penetration in North American boreal lakes. *Nature* 379: 705-708.
- SCHINDLER DW. 2001. The cumulative effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 18-29.
- STEINBERG C, KAMRA S, PEUTHERT A, PROKHOTSKAYA VY, MANUSADZIANAS L, KARASYOVA T, TIMOFEYEV M, JIE Z, PAUL A, MEINELT T, FARJALLA VF, MATSUO A, BURNISON BK, MENZEL R. 2006. Dissolved humic substances - ecological driving forces from the individual to the ecosystem level? *Freshwater Biology* 51: 1189-1210.

- SUHETT AL, AMADO AM, ENRICH-PRAST A, ESTEVES FA. 2007. Seasonal changes of DOC photo-oxidation rates in a tropical humic lagoon: the role of rainfall as a major regulator. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64: 1266-1272.
- WILLIS KJ, BHAGWAT AS. 2009. Biodiversity and climate change. *Science* 326: 806-807.