

RAPELD no sistema marinho

O RAPELD é um sistema de monitoramento ambiental inicialmente desenvolvido para monitoramento de áreas sujeitas a exploração madeireira em ambientes tropicais, mas que tem sido implementado em diversos ecossistemas e sobre diferentes usos da terra, como florestas e savanas amazônicas, o Pantanal, florestas de eucalipto na Austrália, e áreas agrícolas (Costa & Magnusson 2010, Magnusson et al. 2013). Está sendo adotado por vários órgãos responsáveis para avaliação e monitoramento de impactos ambientais, incluindo o ICMBIO, o IBAMA e o SFB e, hoje em dia, provavelmente é o sistema de monitoramento mundial com o maior taxa de aumento em termos de km² monitorados. A possibilidade de implantar o sistema na Estação Ecológica Tupinambás está sendo avaliada por ICMBIO (Marli Penteado, com. pess.), e uma reunião com vários atores envolvidos aprovou o planejamento [1]. No entanto, o RAPELD ainda não foi efetivamente implantado em ambiente marinho. Nesta proposta, nós indicamos as vantagens do sistema para monitoramento do ambiente marinho brasileiro. Informações detalhadas do sistema podem ser obtidos em Costa e Magnusson (2010, Magnusson et al. 2013) e no site do PPBio, e aqui nós somente indicaremos as respostas às questões mais frequentemente levantadas em relação ao sistema marinho.

Por que um sistema espacialmente padronizado?

O manejo de ecossistemas em larga escala requer informações que possam ser convertidas em camadas para uso em sistemas de informações geográficas (SIG). Para variáveis simples, como pH ou biomassa de plâncton, extrapolações simples podem ser possíveis, mas fatores inerentemente multivariados, como os que descrevem a biodiversidade, não podem ser extrapoladas por simples divisão e multiplicação, porque conceitos como complementaridade de espécies e diversidade beta tem complexas relações com espaço, e estas relações espaciais variam geográfica e temporalmente, o que faz com que não possam ser descritas por modelos matemáticos definidos a priori. São estes conceitos que embasam os algoritmos para determinar os usos mais eficientes da terra e para determinar os custos de perdas de áreas devido aos impactos planejados ou indesejáveis de atividades humanas.

Amostras aleatórias, ou fortemente estratificadas, são eficientes para responder muitas questões científicas, especialmente em escalas pequenas. No entanto, amostragem sistemática normalmente é mais eficiente logisticamente para estudos em grande escala, tem menor chance de vieses imprevisíveis, e retorna menores erros padrão quando a intenção é comparar mudanças temporais (Caughley & Sinclair 1994). Além disso, facilita muito a produção de mapas e análises de padrões espaciais (Fortin & Dale 2005).

Enquanto é frequentemente factível calibrar técnicas diferentes para medir a mesma variável, diferenças na escala e padrão espacial da amostragem normalmente impossibilitam comparações entre os índices mais usados para avaliação de impactos na biodiversidade. Uma ênfase demasiada em padronização técnica impede o aproveitamento de inovações tecnológicas. Dentro de poucos anos, avanços em tecnologia de sonar permitirão a identificação de espécies de peixes no fundo do mar, avanços em genética permitirão levantamentos da biota baseados em fragmentos de DNA e outras substâncias químicas orgânicas dissolvidas na água, e avanços em sensoriamento remoto já estão substituindo medidas diretas de variáveis como temperatura e clorofila. O sistema precisa ser suficientemente flexível para absorver

novas tecnologias ou não será aceito pela comunidade científica, mas falta de padronização espacial impediria a eficiente calibração de novas técnicas contra as antigas, e impossibilita a construção de séries temporais de longa duração.

Porque o sistema tem forte ênfase em amostragens associadas com curvas de nível?

O sistema RAPELD usa parcelas que seguem a curva de nível porque este procedimento geralmente minimiza variação interna dentro da parcela de amostragem. Isto aumenta a precisão de medidas ambientais preditoras (como características do solo e distância até o lençol freático no ambiente terrestre, e profundidade, luz e substrato no ambiente marinho), que são importantes para o desenvolvimento de modelos de nicho e previsão de distribuições sob diferentes condições ambientais. Por exemplo, Castilho et al. (2010) mostraram que os modelos de acumulação de biomassa arbórea (o principal estoque de carbono) na Amazônia devem levar em consideração variação edáfica e variação temporal provavelmente associada com variação climática. Tais conclusões não teriam sido possíveis usando amostragem convencional com o mesmo esforço amostral.

Modelos precisos serão necessários porque o mar está sendo impactado por mudanças antrópicas de grande escala completamente independentes de impactos locais, como sobre-pesca e derramamento de petróleo. Monitoramento somente para detectar mudanças não será útil sem informações sobre a escala dos impactos e as prováveis causas. Por exemplo, podemos prever que qualquer ponto no mar sofrerá mudanças ambientais e mudanças na sua biota nas próximas décadas simplesmente porque o pH e a profundidade vão mudar [3]. As mudanças na profundidade provocarão mudanças em correntes que resultarão em mudanças em substratos, fontes de colonização de larvas, e outros processos que se sabe serem críticos na determinação da biota em qualquer local no mar. Avaliações de impactos de intervenções locais, como instalação de infraestrutura portuária ou poluição devida a derramamentos, precisam ser feitas em relação às mudanças que ocorrerão independente das atividades locais.

A modelagem é crítica para estudos de larga escala porque o custo da intensidade amostral necessária para tomar decisões baseadas em considerações estatísticas, sem controlar estatisticamente as variáveis mais importantes, está além de qualquer provável financiador do sistema.

Porque enfatizar amostragem integrada se pesquisadores gostam de trabalhar independentemente?

O sistema convencional competitivo de financiamento de pesquisa leva os pesquisadores a trabalhar independentemente e a não mostrar seus dados, exceto na forma de tabelas resumidas em publicações. Enquanto é discutível se este sistema é eficiente no âmbito acadêmico, não há dúvida de que é perverso para os órgãos encarregados para tomar decisões baseadas nos dados gerados, porque estes órgãos precisam levar em consideração os interesses de vários usuários simultaneamente, e dados de estudos individuais, que não podem ser integrados, tem pouco valor para estas entidades. Dados imprecisos, mas integrados, geralmente tem mais valor para tomadores de decisões que dados muito precisos que não podem ser integrados com dados de outras áreas.

Os maiores custos de pesquisa de campo estão associados com a instalação de infraestrutura e a logística de acesso aos pontos de coleta. Em terra, acesso depende de veículos e trilhas para caminhar. No mar, depende principalmente de embarcações.

Planejamento em relação às questões a serem respondidas pode reduzir muito os custos de pesquisas individuais (Santos et al. 2008). No entanto, a principal economia pode ser alcançada por integração de coleta/monitoramento por diversos pesquisadores usando a mesma infra-estrutura. No caso do mar, onde o maior custo geralmente está associado à compra, manutenção ou aluguel de embarcações, ficam óbvias as economias a serem obtidas quando várias equipes podem usar a mesma infra-estrutura e pontos de coleta.

Como obter a cobertura necessária se nenhum financiador pode pagar todos os custos?

Levantamentos biológicos e ambientais não são baratos, mesmo que custem muito menos que as quantidades investidas em outros aspectos da cadeia produtiva. Isto deixa sistemas de amostragem de grande escala que são altamente centralizados em um único financiador muito vulneráveis a mudanças políticas e econômicas. Tais atividades na realidade representam megaprojetos e não sistemas de avanço de conhecimento. Para atrair vários investidores de muitas regiões, o sistema precisa oferecer resultados relevantes para uma variedade de usuários em muitas escalas diferentes. O sistema RAPELD no ambiente terrestre mostra como isto é factível. O sistema está sendo usado, e financiado, por vários usuários, desde empresários, grupos comunitários, governos estaduais e federal, institutos de pesquisa e ensino, e ONGs. Cada um contribui com recursos diferentes, em escalas diferentes, mas os dados podem ser integrados em qualquer escala.

Os maiores custos no longo prazo estão associados com a manutenção de pessoal. Limitações de contratação e locais de trabalho impedem a criação de um megaprojeto para cobrir todos os aspectos de monitoramento do meio ambiente. No entanto, a mobilização de pesquisadores, analistas, e principalmente alunos de pós-graduação, permitiu que o RAPELD expandisse no ambiente terrestre exatamente no período em que outros grandes projetos de monitoramento estavam encolhendo por causa da crise econômica mundial.

O RAPELD está sendo aplicado dentro do Programa de Pesquisa em Biodiversidade através de Núcleos Regionais. Estes reúnem as instituições de determinadas regiões para desenvolver pesquisas em conjunto, e estes núcleos estão integrados através de várias redes maiores, como os Núcleos Executores do PPBio e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia CENBAM na Amazônia. A capacidade instalada em todas as regiões brasileiras é suficiente para garantir avanços importantes no monitoramento do meio ambiente; o que falta é integração.

Pesquisas marinhas não são tão diferentes que não podem ser integradas com terrestres, mesmo nas zonas de interface, como mangues e estuários?

Amostragens no sistema marinho seguem as mesmas metodologias empregadas no ambiente terrestre. Ou são baseados em transecções lineares ou em parcelas de tamanhos e formas variadas. Muitos aspectos do ambiente podem ser monitorados por sensoriamento remoto (onde a parcela é o pixel), mas a maioria das variáveis de interesse de tomadores de decisão ainda não podem ser medidas com sensoriamento remoto (p.ex. espécies de valor econômico, espécies ameaçadas e a maioria dos poluentes). Fluxos de sedimentos, poluentes e água não obedecem as linhas arbitrárias entre ecossistemas desenhadas em mapas por ser humanos (Beger et al. 2009), e mudanças no nível do mar mudarão os limites entre o mar e a terra no futuro próximo.

Exemplos de fauna e flora marinha frequentemente monitorados através de transecções lineares incluem aves marinhas, mamíferos marinhos, plâncton, e espécies de peixes e crustáceos que formam grandes cardumes que podem ser detectados por sonar. Exemplos de organismos frequentemente monitorados em parcelas incluem corais, peixes e invertebrados bentônicos, macro algas e répteis marinhos. Todos estes grupos, e os substratos que ocupam, mostram fortes relações com a profundidade, e modelos preditivos baseados em dados de parcelas com um mínimo de variação interna de profundidade (como as do RAPELD) permitem previsões muito mais precisas.

Um sistema com amostragem sistemática de uma amplitude de escalas restrita não arrisca excluir alguns processos e organismos importantes?

A resposta é sim, mas um sistema para estudar todas as possíveis escalas de espaço e tempo, e todos os organismos simultaneamente, simples não seria economicamente viável. O sistema RAPELD foi baseado nas escalas (transecções de 5km e parcelas de 250m de comprimento) em que tomadores de decisão a nível federal, estadual e municipal normalmente trabalham, e escalas com a maior facilidade de integração com os atuais sistemas de sensoriamento remoto. No entanto, muitas pesquisas mais específicas podem facilitar a interpretação dos padrões gerados nos estudos em escalas maiores. Por exemplo, parcelas do programa TEAM da Conservation International, parcelas de 50 ha do CTFS e torres de eddyflux do LBA estão aninhadas em sítios de amostragem do RAPELD. Alguns usuários modificaram o padrão para obter amostragens mais intensivas, como a EMBRAPA nas savanas de Roraima e a Universidade de Griffith em área urbana na Austrália.

O sistema RAPELD é baseado em grades e módulos, e comparações requerem que estas grades de amostragem sejam padronizadas em algumas escalas, mas isto não indica que uma grade uniforme de coleta sobre a região inteira é necessária, nem desejável. O sistema RAPELD é hierárquico, permitindo amostragem mais intensiva em algumas áreas, mas também retornando cobertura uniforme sobre áreas maiores.

A Figura 1 mostra um delineamento hipotético para parte da costa brasileira baseado em considerações levantadas pelos participantes da reunião em São Sebastião. As unidades amostrais mais usadas no sistema RAPELD são módulos padrão (2 transecções de 5 km separadas por 1 km com 10 parcelas de 250m distribuídas uniformemente) e grades padrão (12 transecções de 5km na forma de uma grade quadrada com 30 parcelas de 250m distribuídas uniformemente). Locais de interesse especial (como em volta de plataformas de extração de petróleo, vizinhas a portos, e em volta de reservas marinhas) podem ser amostradas com grades padrão, ou conjuntos de módulos padrão. Áreas intermediárias e infra-estrutura linear, como oleodutos, podem ser amostradas usando conjuntos mais espaçados de módulos padrão. Este é somente um exemplo de como o sistema pode ser montado. O delineamento precisa ser decidido em comum acordo com as diversas entidades responsáveis pela região.

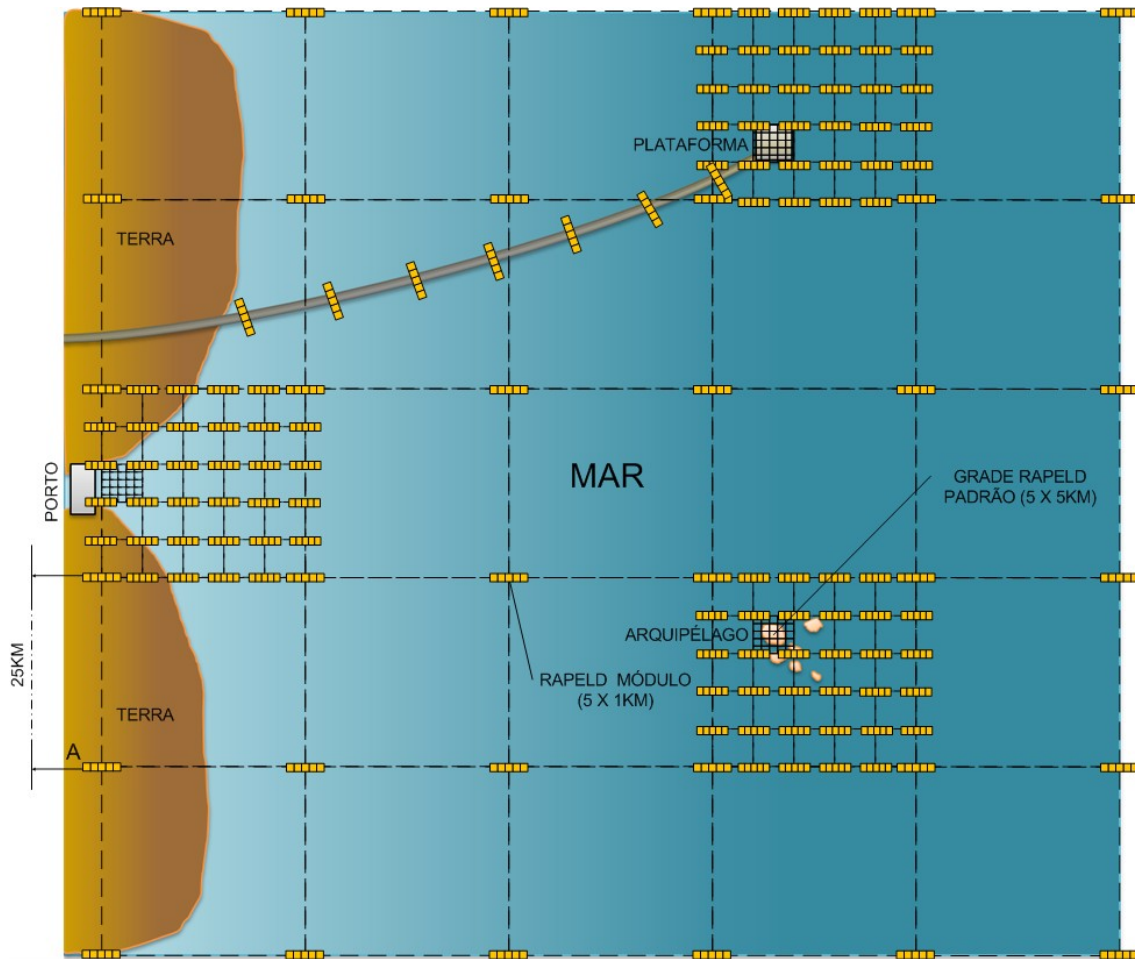


Figura 1. Sistema RAPELD em ambiente marinho e de transição para a costa. Uma grade maior cobre os diferentes elementos de interesse (costa, arquipélagos, áreas de exploração e transporte de petróleo, e águas abertas), mas grades menores cobrem de forma mais intensiva alguns destes elementos.

Todos os organismos, variáveis ambientais e regiões precisam ser amostrados com o mesmo esforço temporal?

É fácil e relativamente barato amostrar algumas variáveis, como clorofila total ou densidade de aves marinhas. No entanto, outros, como amostragem de peixes predadores, podem requerer mais esforço e recursos financeiros. Alta frequência de amostragem de organismos bentônicos em parcelas permanentes pode modificar o substrato e levar a conclusões espúrias sobre mudanças temporais. Monitoramento requer amostragens regulares no tempo, mas o intervalo entre as amostragens deve ser otimizado para cada grupo alvo em relação aos custos, à tecnologia disponível, à possibilidade de economizar através de levantamentos conjuntos com outros grupos, e à necessidade das informações para tomar decisões.

Levantamentos em transecções lineares, como para aves e mamíferos marinhos podem ser realizados regularmente (várias vezes por ano) durante percursos para abastecer plataformas, estações de pesquisa e atividades rotineiras da Marinha, com pouco custo adicional. Levantamentos de parcelas permanentes usando armadilhas ou câmeras de vídeo subaquáticas podem ser realizados com relativa frequência (p.ex. anualmente) a custos intermediários. Levantamentos com potencial de causar distúrbios,

como amostras de bentos através de remoção do substrato, e levantamentos de alto custo, como levantamentos com mergulhadores em profundidades grandes, podem ser feitas a intervalos maiores (p.ex. 5 – 10 anos). É responsabilidade do comitê coordenador maximizar a frequência dos levantamentos de cada grupo, em cada área, dentro dos limites das tecnologias atuais, e dos recursos financeiros e humanos disponíveis, de acordo com as prioridades dos tomadores de decisão.

Não há dados já disponíveis para tomar decisões?

Vários autores estimaram que o custo de validação, armazenamento e disponibilização de dados varia entre 15 e 20% do custo total do programa. É este investimento que está faltando para quase todas as atividades de monitoramento no mundo inteiro. Neste caso, estamos tratando somente de dados oriundos do sistema RAPELD, e não os custos para resgatar dados já disponíveis ou adquirir dados de alta densidade disponíveis através de sensoriamento remoto. Os últimos podem contribuir para análises, mas as lacunas mais importantes atualmente são os dados sobre a distribuição da biodiversidade in loco. É a falta de dados coletados in loco de qualidade e distribuição suficiente para criar camadas de SIG confiáveis que está impedindo o uso de dados da biodiversidade por tomadores de decisão.

A falta de dados confiáveis não resulta de falta de levantamentos biológicos. Centenas de milhões de reais são gastos anualmente no Brasil em atividades para avaliar impactos ambientais e monitoramento de impactos de empreendimentos de grande porte, mas estes dados não são disponibilizados para o público e não são acompanhados por metadados que permitiriam seu uso em meta-análises. É por causa disso que o IBAMA-DILIC, o ICMBIO e o SFB estão trabalhando para incorporar o RAPELD em EIA-RIMAS e programas de monitoramento obrigatórios no âmbito terrestre.

A falta de disponibilização de dados é um dos maiores impedimentos à ciência hoje em dia, apesar dos enormes avanços na área de informática. Existem muitos grandes bancos de dados no mundo, mas com a exceção de alguns muito específicos, como o GENBANK, a maioria está vazia (Nelson 2009). Não é somente um problema para tomadores de decisões. A maioria das mais renomadas revistas científicas nas áreas de ecologia e evolução agora está recusando publicar artigos se os dados originais não estiverem disponibilizados na internet em repositórios de livre acesso (Bruna 2010, Pullin & Salafsky 2010, Whitlock et al. 2010). Não é uma questão de falta de investimento na informática, que é uma das áreas de tecnologia que mais recebe investimento. Falta investimento no treinamento de pesquisadores no manejo de dados, e faltam profissionais na interface entre a pesquisa e a informática para validar os dados e ajudar os pesquisadores com a tarefa difícil de disponibilizar seus dados em formas úteis para outros usuários. Uma das principais razões do sucesso do RAPELD no ambiente terrestre foi o investimento em pessoal nesta área crítica.

Quanto custa implantar o sistema RAPELD?

O sistema RAPELD foi desenhado para retornar mais informações úteis para tomadores de decisão que qualquer outro sistema de monitoramento in loco sobre grandes áreas para um dado esforço. O fato de não existir outro sistema integrado competidor indica que os usuários consideram que está cumprindo este objetivo. No entanto, o esforço depende dos recursos disponíveis, e o objetivo do sistema é de integrar fontes de financiamento dispersas para contribuir para o mesmo objetivo, enquanto garante os resultados específicos requeridos por cada usuário. O sucesso do

sistema depende da capacidade do comitê coordenador recrutar parceiros com investimento em infra-estrutura (p.ex. embarcações, recursos humanos, equipamentos de mergulho profundo) já feito.

O custo total de qualquer sistema de monitoramento sobre grandes áreas é enorme (de ordem de centenas de milhões a bilhões de reais), se contabilizar todos os investimentos já feitos em infra-estrutura. Isto se aplica tanto ao ambiente terrestre como ao ambiente marinho. Felizmente, várias organizações, como o Ministério de Educação, o Ministério de Ciência e Tecnologia, os governos estaduais, a Marinha, e empresas como Petrobrás, já tem feito muitos dos investimentos necessários. Novos investimentos em infra-estrutura somente devem ser feitos depois de otimizar o uso dos recursos já disponíveis.

Avaliação das necessidades de novos investimentos somente pode ser feita depois de reunir os usuários, avaliar os recursos disponíveis, e determinar qual a precisão demandada para os dados de cada região ou local. Criação de mais um instituto de pesquisas marinhas ou reforçar o financiamento de programas atuais para continuar com suas atividades rotineiras não resolverá o problema. Os únicos custos que podem ser definidos com precisão estão relacionados à coordenação do programa, treinamento e a manutenção da base de dados gerados. Tipicamente, os custos totais de pesquisa são subestimados, porque as propostas normalmente preveem contrapartida do órgão proponente para todas as contratações de longo prazo e custos imobiliários. O problema para bancos de dados de extrema importância e de longo prazo é que nenhum instituto de biodiversidade atualmente está investindo nesta área. Atualmente, o MCT está investindo, a partir de várias fontes, em torno de R\$ 2.000.000,00 por ano no sistema RAPELD na Amazônia, se forem considerados os custos totais de todas as fontes, e o sistema sofre carência em várias áreas, especialmente em relação à contratação de pessoal permanente para a manutenção e disponibilização de dados. Estes valores não incluem os custos de manutenção de infra-estrutura ou os salários dos pesquisadores e a maioria dos técnicos envolvidos.

Presumindo que não podem ser obtidos de parceiros, os custos mínimos iniciais para a coordenação incluem os seguintes (os valores são puramente ilustrativos):

- (1) Um prédio e mobiliário para alojar a coordenação e os equipamentos de informática (R\$ 800.000,00).
- (2) Contratação de 4 doutores, 4 mestres, 4 técnicos de informática, e 3 secretárias (R\$ 1.900.000,00 por ano).
- (3) Reuniões e oficinas para envolver todos os usuários e definir responsabilidades (R\$ 500.000,00 por ano).
- (4) Equipamento e serviços de informática (R\$ 200.000,00).

Estes preços podem ser diminuídos para o programa com a utilização de funcionários e prédios já existentes. No entanto, é importante enfatizar que qualquer outro investimento, sem estes de coordenação, mesmo para projetos diferentes do RAPELD, não resultarão em dados sobre a biodiversidade e ambiente mais úteis para os tomadores de decisão que aqueles já existentes.

Links:

[1] <https://ppbio.inpa.gov.br/noticias/encontross/ssebastiao>

[2] <https://ppbio.inpa.gov.br/inicio>

[3] <http://www.ocean-acidification.net/>

[4] <https://ppbio.inpa.gov.br/publicacoes/livros>

Referências

- Beger, M., H. S. Grantham, R. L. Pressey, K. A. Wilson, E. L. Peterson, D. Dorfman, P. J. Mumby, R. Lourival, D. R. Brumbaugh & H. P. Possingham. 2009. Conservation planning for connectivity across marine, freshwater, and terrestrial realms. *Biological Conservation* doi:10.1016/j.biocon.2009.11.006.
- Bruna E. M. 2010. Scientific Journals can Advance Tropical Biology and Conservation by Requiring Data Archiving. *Biotropica*. 42:399-401.
- C.V. Castilho, W.E. Magnusson, R.N.O. Araújo, R.C.C. Luizão, F.J. Luizão, A.P. Lima, N.Higuchi. Variation in above ground tree live biomass in a central Amazonian Forest: effect of soil and topography. *Forest Ecol. Manag.*, 234 (2006), pp. 85-96
- Caughley, G. C. & A. R. E. Sinclair. 1994. *Wildlife Management and Ecology*. Blackwell Science, Cambridge, MA, USA.
- Costa, F. R. C. & W. E. Magnusson. 2010. The need for large-scale, integrated studies of biodiversity – the experience of the program for biodiversity research in Brazilian Amazônia. *Natureza & Conservação* 8:1-5.
- Fortin, M.-J. & M. R. T. Dale. 2005. *Spatial Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Magnusson, W. E. et al. 2013. *Biodiversidade e Monitoramento Ambiental Integrado*. Áttema Editorial, Santo André, SP
<<http://ppbio.inpa.gov.br/noticias/livrorapeld>>.
- Nelson B. 2009. Data sharing: Empty archives. *Nature* 461:160-3.
- Pullin A. S. & N. Salafsky. 2010 Save the Whales ? Save the Rainforest ? Save the Data ! *Conservation Biology*. 24:915-917.
- Santos, E. M. R., E. Franklin & W. E. Magnusson. 2008. Cost-efficiency of subsampling protocols to evaluate oribatid-mite communities in an Amazonian savanna. *Biotropica* 40:728-735.
- Whitlock M. C., M. A. Mcpeek, M. D. Rausher, L. Rieseberg & A. J. Moore. 2010. Data Archiving. *The American Naturalist*. 175:145-146.