

Resultados do LBA e uma Perspectiva da Futura Pesquisa Amazônica

M. Batistella,¹ P. Artaxo,² C. Nobre,³ M. Bustamante,⁴ e F. Luizão⁵

Este capítulo resume resultados selecionados do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) e descreve, brevemente, uma visão da pesquisa futura amazônica. Enfatiza-se a necessidade de pesquisa sobre as interações sociedade e meio ambiente no contexto de mudança regional e global. O LBA desenvolveu capacidade científica e institucional na Amazônia, mas seu desempenho para promover o desenvolvimento sustentável foi restrito porque o programa focalizou, em sua grande parte, o avanço do conhecimento básico, com menos ênfase nos estudos integrados, especificamente projetados para influenciar políticas públicas com consequências para o uso e cobertura da terra na região. O desafio de transformar produtos naturais da Amazônia em benefícios humanos e econômicos de modo ambientalmente sustentável requer uma nova conscientização e trabalho colaborativo por meio da habilidade de se movimentar de um simples diagnóstico em direção a ações em níveis locais, regionais e nacional. A partir dos resultados do LBA, talvez possamos desenvolver novas experiências por meio das quais a sociedade possa agregar valores às interações entre a biosfera e atmosfera.

1. INTRODUÇÃO

O Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) tem se fundamentado no reconhecimento de que a Amazônia vive uma transformação rápida e intensa, associada aos

processos de desenvolvimento e ocupação. As mudanças no uso da terra, cobertura vegetal e clima podem afetar os processos biológicos, químicos e físicos, bem como o desenvolvimento sustentável da região e suas interações com o clima regional e global. A jornada pelos capítulos deste livro confirma que o LBA é um programa multidisciplinar que busca entender o funcionamento dos ecossistemas amazônicos, e a Amazônia como entidade regional do sistema da Terra. Ele busca também entender as causas e consequências das mudanças que ocorrem na região e o modo como minimizar o desenvolvimento desses impactos.

A agenda científica original do LBA foi desenhada em torno de duas questões principais, que envolvem pesquisa multidisciplinar: (1) De que modo a Amazônia funciona como uma entidade regional? (2) De que modo as mudanças no uso da terra e clima afetarão o funcionamento biológico, químico e físico da Amazônia, inclusive sua sustentabilidade e influência no clima global?

¹Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, Brasil.

²Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

³Centro de Ciências do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil.

⁴Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

⁵Departamento de Ecologia, INPA, Manaus, Brasil.

Desde o início do programa nos anos 1990, muito foi realizado para responder a essas perguntas, mas muito ainda precisa ser feito por meio e além da ciência do LBA. Este capítulo resume as lições do LBA e descreve brevemente uma visão do futuro da pesquisa amazônica.

2. RESULTADOS SELECIONADOS DO LBA

Desde seu início, o LBA produziu inúmeras publicações, incluindo mais de 2000 artigos em revistas indexadas, mais de 200 capítulos de livros, pelo menos 13 livros e 10 edições especiais de periódicos científicos (*Journal of Geophysical Research, Remote Sensing Environment, Ecological Applications, Global Change Biology, Theoretical and Applied Climatology, Acta Amazonica, Earth Interactions, Hydrological Processes, Atmospheric Chemistry and Physics, e o Brazilian Journal of Meteorology*). É virtualmente impossível enumerar todas as descobertas produzidas pelo LBA, mas os parágrafos seguintes focalizam resultados selecionados, conforme resumidos no plano científico do LBA2 [Batistella et al., 2007].

A região amazônica pode ser categorizada como uma região de grande risco ambiental e social no que diz respeito à mudança e variabilidade climática. O risco não se deve apenas à mudança climática projetada, mas também à ocupação da região, tais como o desmatamento e mudanças no uso da terra. Modelos indicam a possibilidade de que nas próximas décadas ocorra uma substituição abrupta e irreversível de áreas de floresta por formações vegetais com menor biomassa, que afetará a biodiversidade e a capacidade de sobrevivência de populações da região.

2.1. Sistema da Física do Clima

No contexto da mudança do clima [Marengo et al., neste volume], cenários projetados para até o final deste século indicam possíveis reduções de até 40% de precipitação, e aumentos de temperatura até 8°C [Marengo et al., 2007]. Os impactos mais severos na redistribuição de espécies e biomas serão sentidos no nordeste da Amazônia, e os menos severos em sua parte oeste [Salazar et al., 2007].

As mudanças no uso da terra têm efeitos importantes na meteorologia da Amazônia [Nobre et al., neste volume; Betts et al., neste volume; Silva Dias et al., neste volume; da Rocha et al., neste volume]. Em Rondônia, foram observadas oscilações intrassazonais de vento de oeste e de leste, associadas a diferentes características de chuva, composição de aerossóis e núcleos de condensação de nuvens. O extenso sistema hidrológico da Amazônia afeta a circulação atmosférica e o padrão de circulação na interface entre os grandes rios e a floresta adjacente (Silva Dias et al., 2004). Grandes corpos de água aberta produzem circulações regionais que alteram o padrão de distribuição de nuvens e o perfil diário dos ventos na interface rio-floresta, alterando inclusive o fluxo de carbono em regiões próximas dos grandes rios na Amazônia. O desmatamento e as mudanças no uso da terra também influenciam a cobertura de nuvens em escalas sazonais e distribuições diurnas (Durieux et al., 2003). Na estação seca, observações mostraram uma maior presença de nuvens baixas no início da tarde e menos convecção durante a noite e início da manhã em áreas desmatadas. Durante a estação chuvosa, há um aumento de nebulosidade convectiva no início da noite em áreas desmatadas [Machado et al., 2004].

2.2. Química Atmosférica

O efeito de aerossóis no funcionamento dos ecossistemas amazônicos foi também estudado no LBA por meio de várias abordagens [Kesselmeier et al., neste volume; Longo et al., neste volume; Artaxo et al., neste volume; Davidson e Artaxo, 2004; Artaxo et al., 2006]. O impacto das emissões de gases traço e aerossóis de queimadas na Amazônia foi também quantificado [Artaxo et al., 2002], e seus efeitos não estão limitados à Amazônia, mas atingem uma grande porção do continente sul americano. Observou-se uma forte influência de partículas de aerossóis nos mecanismos de formação e desenvolvimento de nuvens [Andreae et al., 2004], com importantes implicações para o ciclo hidrológico. Observou-se também a supressão de nuvens e a diminuição do tamanho das gotas de nuvens em áreas com alta concentração de aerossóis. O tempo de residência de nuvens aumenta na presença de aerossóis, o que,

potencialmente, reduz a precipitação local e altera o balanço de radiação. Foram observados novos mecanismos de formação natural de nuvens com produção de núcleos de condensação a partir de compostos orgânicos voláteis emitidos pela própria vegetação [Clayes et al., 2004]. Aerossóis emitidos pela queima de biomassa podem interceptar grandes quantias de radiação solar e alterar significativamente o balanço de radiação. Essas partículas podem afetar as taxas fotossintéticas em áreas de floresta distantes da região da queima de biomassa, com forte influência na ciclagem de carbono na Amazônia.

2.3. Biogeoquímica: Estoque e Troca de Carbono e Outros Gases-Traço e Nutrientes

O LBA também desenvolveu estudos intensivos sobre ciclos biogeoquímicos [Davidson e Martinelli, neste volume; Luizão et al., neste volume; Bustamante et al., neste volume; Mahli et al., neste volume; Phillips et al., neste volume; Saleska et al., neste volume; Houghton et al., Meir et al., neste volume; Trumbore e de Camargo, neste volume; Lloyd et al., neste volume]. A ciclagem de nutrientes, tais como o fósforo e nitrogênio, tem importância crucial nos ecossistemas. A resposta para a pergunta se a Amazônia é uma fonte ou sumidouro de carbono continua pendente. Mas, o LBA já produziu resultados importantes sobre os mecanismos que regulam os fluxos de carbono em ecossistemas naturais e em áreas alteradas por mudanças no uso da terra. Pesquisa desenvolvida em toda a Amazônia mostrou tendência de crescimento da floresta e acúmulo de biomassa [Malhi et al., 2004]. Essa tendência é especialmente mais forte no oeste da Amazônia, mas sua causa permanece desconhecida [Baker et al., 2004]. O LBA implantou um conjunto de torres de fluxo com operações semicontínuas que se estenderam durante muitos anos. Os resultados das torres de fluxo também mostraram uma tendência predominante de sequestro de carbono em várias localidades, com alguns exemplos interessantes de sítios que mostraram distúrbios ecológicos, conforme observado pelas grandes quantidades de biomassa morta acima do solo [Saleska et al., 2003]. Esses estudos de fluxos também mudaram nossa concepção sobre a sazonalidade dos fluxos das florestas amazônicas. Vários sítios mostraram

maior sequestro líquido de carbono durante a estação seca, em comparação com a estação chuvosa, possivelmente devido à disponibilidade de água em solos profundos e maior radiação fotossintética durante a estação seca [Silva e Avissar, 2006]. O conhecimento da ciclagem de nutrientes é crucial para a recuperação de áreas degradadas na Amazônia. Davidson et al. [2007] descreveram os complexos mecanismos envolvidos no balanço de fósforo e nitrogênio em cronosequências de recuperação de vegetação. Observou-se que são necessários pelo menos 70 anos para o restabelecimento do ciclo de nitrogênio após o distúrbio.

2.4. Hidrologia de Superfície e Química da Água

Outros estudos demonstraram que as mudanças no uso e cobertura da terra, como a conversão para pastagens, alteraram significativamente as características físicas e químicas de rios, afetando sua estrutura e funcionamento [Richey et al., neste volume; Tomasella et al., neste volume; Melack et al., neste volume; Costa et al., neste volume]. Quando a floresta é removida, a disponibilidade de luz favorece o aumento da temperatura da água e influencia uma série de reações químicas como, por exemplo, a solubilidade de oxigênio [Neill et al., 2006]. A substituição da vegetação primária por pastagens também intensifica processos erosivos [Thomas et al., 2004; Krusche et al., 2005]. O maior aporte de matéria orgânica lábil causa um aumento no processo de decomposição, que é dependente do oxigênio dissolvido na água [Bernardes et al., 2004]. Consequentemente, há uma diminuição da concentração de oxigênio, que produz impactos na biota. O ciclo do nitrogênio também é afetado, uma vez que a quantidade de nitrogênio disponível diminui nas pastagens, acarretando uma diminuição de seu aporte aos pequenos rios, que se tornam deficientes em nitrogênio, e não em fósforo, eram como originalmente [Carmo et al., 2005]. Entretanto, há incertezas quanto a essas alterações se estenderem a rios de maior ordem, principalmente aqueles que drenam bacias hidrográficas de mesoescala.

2.5. Uso e cobertura da terra

Avanços importantes foram feitos nos estudos do uso e cobertura da terra, conforme proposto nas perguntas originais de pesquisa do LBA [LBA, 1996; *Alves et al.*, neste volume; *Asner et al.*, neste volume; *Schroeder et al.*, neste volume]. E, novas técnicas de monitoramento, executadas direta ou indiretamente no âmbito do LBA, permitiram o desenvolvimento de estudos em diferentes escalas temporais e espaciais, particularmente com relação às áreas de floresta.

Durante todo o período de implementação do LBA, foram realizados levantamentos de desmatamento anual pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que forneceram à comunidade científica importantes informações sobre taxas e padrões de desmatamento [*Alves*, 2002]. Esses levantamentos também permitiram ao LBA identificar novas perguntas sobre padrões locais e regionais de uso da terra, particularmente referentes à dinâmica de ocupação de zonas pioneiras [*Batistella e Moran*, 2005], dinâmica de conversão de floresta em agricultura intensiva [*Moran et al.*, 2006], e a relação entre extração madeireira, degradação da floresta e taxas de conversão [*Asner et al.*, *Souza et al.*, 2005]. Outros estudos indicaram uma variedade de processos, não apenas relacionados à expansão de fronteiras agrícolas, mas também relativos à intensificação do uso da terra e variações nos sistemas de produção baseados em tecnologias tradicionais e modernas. Esse trabalho foi conduzido em vários sítios por meio de técnicas robustas de sensoriamento remoto e trabalho de campo [*Roberts et al.*, 2003; *Lu et al.*, 2004]. O destino de áreas abandonadas e de seus serviços ambientais potenciais tornou-se de grande relevância, a despeito das evidências que mostram a redução dessas áreas em regiões altamente degradadas [*Alves et al.*, 2003].

Obteve-se um avanço significativo no entendimento da intensidade e extensão da exploração madeireira na Amazônia e nos possíveis danos ambientais causados por essa atividade [*Chambers et al.*, 2001]. *Nepstad et al.* [1999] observaram que a extensão das áreas sob exploração madeireira equivale às áreas desmatadas anualmente. Aproximadamente 16% das áreas exploradas são convertidos em área desmatada no ano seguinte, e cerca de 32% são

desmatados em quatro anos. Isso significa que a exploração madeireira não ocorre anteriormente ao desmatamento, mas é um modo de distúrbio em si mesmo, o que facilita o aumento das áreas afetadas pelas atividades humanas [*Asner et al.*, 2005b].

Portanto, as mudanças no uso da terra podem afetar os serviços ambientais, especialmente aqueles relacionados com o funcionamento de longo prazo dos ecossistemas [*DeFries et al.*, 2004]. Mudanças de longo prazo foram avaliadas por *Foley et al.* [2007] em análises de vários resultados do LBA. Os autores apresentaram quatro exemplos de serviços ambientais afetados negativamente pelo desmatamento e degradação: estoque de carbono, fluxo hidrológico, influência sobre o clima regional, e vetores de doenças.

Em cenários plausíveis de mudanças no uso e cobertura da terra na Amazônia, ferramentas analíticas e teóricas foram desenvolvidas com o objetivo de alimentar modelos climáticos regionais, inclusive alternativas de governança à dinâmica atual de uso da terra [*Soares Filho et al.*, 2006].

2.6. Dimensões Humanas

Esforços significativos foram feitos na pesquisa das dimensões humanas das mudanças ambientais na Amazônia no âmbito do LBA [*Walker et al.*, neste volume; *Perz et al.*, neste volume; *Pffaf et al.*, neste volume; *Brondizio et al.*, neste volume; *Batistella et al.*, 2008]. Inicialmente, parcerias *ad-hoc* foram incentivadas a discutir questões científicas identificadas pela comunidade do programa, em particular aquelas voltadas para um melhor entendimento dos processos de mudança do uso e cobertura da terra. Essa ação catalisou a construção de pontes mais sólidas com cientistas sociais, a partir de sua inserção no Comitê Científico e, posteriormente, mediante a promoção de iniciativas sistemáticas ou programáticas. Entre essas iniciativas, um levantamento da produção científica em ciências humanas, seminários e cursos dedicados ao tema e várias publicações podem ser considerados os resultados mais significativos do componente de Dimensões Humanas do LBA [*da Costa et al.*, 2007].

2.7. Treinamento e Educação

Além da produção científica, as atividades de treinamento e educação são reconhecidas como um dos principais resultados e legados do programa. Mais de 900 estudantes foram treinados, entre alunos de graduação, mestres e doutores. Para aprimorar o treinamento de jovens cientistas engajados nas pesquisas do LBA, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) criou um programa especial de bolsas. Três cursos de graduação, quatro de mestrado e dois de doutorado se originaram no âmbito do LBA, todos em estados amazônicos. Além da motivação científica, esses recursos humanos, agora disponíveis na região, representam um fator positivo e crucial para uma nova visão da pesquisa amazônica.

3. ALÉM DAS BARREIRAS CIENTÍFICAS: SOCIEDADE, AMBIENTE E PESQUISA INTEGRADA NA AMAZÔNIA

Na primeira fase do LBA, houve uma tendência a favorecer alguns sítios de pesquisa por considerações históricas e desenho experimental baseado em transeções ecológicas. Assim, grandes áreas e outros ambientes importantes foram sub-representados. É importante agora revisar a distribuição geográfica dos esforços do LBA, procurando equilibrar o planejamento de pesquisa com base em aspectos ecológicos e biogeográficos. Isso é vital para a integração de estudos locais, regionais e globais.

A pesquisa ambiental básica deve continuar, mas é também crucial construir novas pontes para aplicações no desenvolvimento sustentável [Batistella e Luizão, 2006]. O foco deverá continuar a ser a região como um todo, mas com estudos de caso em áreas prioritárias. Para esses estudos integrados, uma nova configuração de pesquisa foi proposta, baseada em três domínios disciplinares.

Um desses domínios está sendo estruturado como “interações físico-químicas multiescalares na interface biosfera-atmosfera na Amazônia”. Seu objetivo é estudar o transporte e a transformação de água, energia, gases traço e aerossóis no sistema amazônico e identificar os

efeitos e os impactos das atividades humanas nessa região. É necessária uma forte conectividade entre geração de conhecimento e suas aplicações para o desenvolvimento sustentável, incluindo inovações tecnológicas em atividades agropecuárias, arranjos e cadeias produtivas, previsões ambientais e impactos sobre a população humana. Um segundo domínio disciplinar trata das “dimensões sociais das mudanças ambientais e as dinâmicas de uso e cobertura da terra na Amazônia”, com estudos sobre as complexas interações entre ambiente e sociedade, que caracterizam a região. O terceiro domínio trata dos “processos físico-químico-biológicos nos sistemas aquáticos e terrestres e suas interações”. Assim, a questão das estratégias de desenvolvimento ambiental associadas às práticas sustentáveis de produção torna-se um dos tópicos importantes.

No âmbito desses domínios disciplinares e após ampla discussão com tomadores de decisão e a comunidade científica, três focos de pesquisa aglutinaram as principais questões a serem abordadas durante a segunda fase do LBA: (1) o ambiente amazônico em mudança; (2) a sustentabilidade dos serviços ambientais e os sistemas de produção terrestres e aquáticos; (3) a variabilidade climática e hidrológica e sua dinâmica: respostas, adaptação e mitigação.

Uma análise dos resultados até o presente e a identificação de lacunas remanescentes revelam a necessidade de regionalização mediante integração em mesoescala. Em particular, processos tais como a degradação e a intensificação do uso da terra precisam ser estudados e monitorados por abordagens integradas que articulem ciências naturais e sociais. Dessa forma, podemos começar a construir abordagens baseadas, empiricamente, em tempo real para a elaboração de políticas públicas para a Amazônia. Sugerimos as seguintes ações, benéficas para a região, baseadas na ciência do LBA: (1) geração de produtos em escala regional sobre mudança da cobertura da terra, fundamentados em observações multissensoriais; (2) integração de dados biofísicos e de demandas de agentes sociais e econômicos, como, por exemplo, mediante o uso da ciência no gerenciamento de zoneamento e planejamento territorial; e (3) modelagem da distribuição espacial e mapeamento de vulnerabilidades biofísicas e sociais.

Para assegurar o uso da ciência na elaboração de políticas públicas e fornecer modelagem com características utilizáveis, é importante, à medida que avançamos no LBA: (1) padronizar a coleta de dados em domicílio ou em escalas menos detalhadas de agregação; (2) escolher modelos que permitam um engajamento pró-ativo de agentes e de outros tomadores de decisão, não apenas de cientistas; e (3) promover a interação entre os cientistas do LBA, encurtando caminhos entre áreas como biogeoquímica, uso da terra, interações sociais, química atmosférica, e modelos de climas regionais.

Ainda, o treinamento e educação de jovens cientistas e o seu engajamento em instituições locais irá contribuir significativamente para ampliar a capacitação e assim possibilitar aos amazonenses liderar e conduzir estudos sobre o funcionamento de ecossistemas e sua importância no contexto de mudança global.

Há uma necessidade fundamental de substituir análises regionais por estudos de caso, uma vez que as políticas baseadas apenas em estudos em escala regional podem esconder práticas sustentáveis importantes. Além disso, o entendimento das características, vetores e consequências da mudança da terra na Amazônia não deveria depender apenas de estudos do uso e cobertura da terra, em si mesmos, mas deveria incluir análises das dimensões humanas da mudança ambiental.

A comunidade científica está engajada em uma discussão ampla e participativa sobre como fazer a transição da pesquisa amazônica para a próxima década. O governo brasileiro, por intermédio do Ministério da Ciência e Tecnologia, concentra esforços para avançar o programa a partir do sucesso reconhecido de sua primeira fase, um desafio que engloba estudos regionais integrados e articulações complexas entre questões de mudança global.

Muito tem que ser feito para o avanço do LBA a partir de sua pesquisa multidisciplinar rumo às perguntas interdisciplinares e transdisciplinares integradas. Em particular, é vital ligar os processos locais e regionais às questões de mudança global por meio de integração em mesoescala. As mudanças no uso e cobertura da terra deveriam ainda estar no centro do programa, devido ao seu papel de transformação da paisagem e consequentes impactos na dinâmica do carbono,

ciclos biogeoquímicos, processos hidrológicos, química atmosférica e física do clima. Processos recentes na Amazônia, como a urbanização, intensificação da agricultura e manejo florestal deveriam ser de especial interesse, uma vez que são propulsores de novas mudanças na região.

Uma perspectiva integrada possibilita uma rara oportunidade de entender os ecossistemas amazônicos, paisagens e regiões, por meio de estratégia de pesquisa defendida por cientistas do IGBP Fase II [Moran *et al.*, 2004]. Essa nova estratégia de ciência entende os sistemas sociais e ambientais como sistemas multiescalares e integrados, e requer uma nova abordagem para ajustar os estudos de caso aos estudos regionais, com particular atenção aos limites e às não linearidades. Algumas investigações do LBA contribuíram para uma agenda de pesquisa integrada por meio de diálogos entre as ciências naturais e sociais. Um importante desafio é apreender as diferenças regionais e entender sua dinâmica em escala local [Batistella e Brondizio, 2004; Batistella e Moran, 2007; Lashen e Nobre, 2007]. Surge então uma estrutura mais complexa para a pesquisa do LBA, indicativa da necessidade de uma pesquisa contínua, com ligações entre uso da terra e as mudanças na cobertura da terra e outros processos. O LBA está iniciando um novo esforço programático que será essencial para ampliar sua interface com outras iniciativas de pesquisa. O reconhecimento das revisões contínuas e criativas sobre a integração das ciências naturais e sociais está entre os incentivos para a uma ciência da sustentabilidade da Amazônia.

4. PREOCUPAÇÕES INSTITUCIONAIS: UMA VISÃO DO FUTURO

Sob o conceito da construção institucional, incluímos uma discussão sobre as dimensões sociais e ambientais de mudança na Amazônia, assim como a articulação entre os domínios científico e político. O papel das comunidades na gestão de recursos naturais e os desafios do desenvolvimento institucional tem recebido atenção especial. A articulação entre ciência e a elaboração de políticas públicas é um passo necessário para responder à mudança ambiental

aproveitando os conceitos e resultados produzidos pelo LBA.

O termo “ciência da sustentabilidade” foi criado para descrever a pesquisa que visa a facilitar a transição para a sustentabilidade. Com foco na interação entre ciências ambientais e ciência de desenvolvimento, a ciência da sustentabilidade é movida pelo interesse no bem estar das pessoas e a vida no planeta, procurando combinar atividades de pesquisa e o entendimento do modo como a sociedade e os sistemas naturais interagem em escalas locais à global. A ciência da sustentabilidade também é uma iniciativa para incluir mais ciências sociais, prioridades de países menos desenvolvidos e focos subglobais, em proporção com tendências que favorecem as ciências ambientais globais, e abordagens que refletem prioridades de países mais desenvolvidos [Cash et al., Clark, 2007].

O LBA promoveu, indiretamente, a sustentabilidade mediante o desenvolvimento da capacidade institucional na região, especialmente na Amazônia brasileira, e o livre acesso ao conhecimento e dados coletados. O desenvolvimento de tal capacidade de enfrentar a mudança ambiental é necessário em nível global [Ambuj e VanDeveer, 2005], especialmente em países menos desenvolvidos, pois dispõem de menos recursos humanos e financeiros e são mais vulneráveis aos múltiplos impactos resultantes das mudanças, rápidas e simultâneas, nos sistemas sociais e ambientais [Kates et al., 2001].

Entretanto, a capacidade de o LBA promover o desenvolvimento sustentável na Amazônia foi restrita porque o programa priorizou, em sua grande parte, o avanço do conhecimento básico, com menos ênfase em estudos integrados especificamente projetados para influenciar políticas públicas voltadas para o uso e cobertura da terra na região. Conforme apontado no resumo de *Batistella et al.* [neste volume], alguns esforços notáveis do LBA obtiveram sucesso na promoção do uso de Ciência e Tecnologia (C&T) para o desenvolvimento sustentável da região. Os objetivos de sustentabilidade poderiam ter tido mais êxito, se mais estudos desse tipo tivessem sido desenvolvidos.

As dificuldades de tratar o desenvolvimento sustentável na região refletem, em parte, a dificuldade de unir as ciências sociais [Philippi et al., 2003; Schor, 2005] e o entendimento da

relação entre pensamento científico e processos de tomadas de decisão relativos aos projetos de políticas públicas.

Desde as discussões preliminares sobre o desenvolvimento do primeiro plano científico do LBA no início dos anos 1990, a percepção sobre o papel da Amazônia se sobrepôs à sua importância geopolítica e ao seu capital natural. Assim, o desafio da sustentabilidade permanece. Em resposta à crescente preocupação sobre os riscos de práticas ambientais danosas, os governos têm lançado planos de conservação ambiental para a região. A biodiversidade da Amazônia é agora vista como a base para as ciências de ponta, especialmente biotecnologia e geotecnologia, capazes de conciliar desenvolvimento regional e conservação. Entretanto, esse conjunto de visões e de boas intenções é confrontado pelos processos econômicos bem estabelecidos, baseados na exploração de recursos naturais como meio de geração de desenvolvimento. Tais processos são apoiados, historicamente, pela implementação de projetos de infraestrutura e incentivos à mudança extensiva no uso da terra, com grande potencial para a manutenção do ciclo de desmatamento.

O desafio de transformar o capital natural da Amazônia em benefícios econômicos e humanos por meio de modos ambientalmente sustentáveis requer um novo nível de conscientização e trabalho colaborativo. Embora a C&T deva ter um papel central para a superação desse desafio, há pouco conhecimento sistemático sobre como criar instituições que usem efetivamente a C&T para a sustentabilidade. Isso é significativamente maior para a Amazônia dada a falta de um modelo que possa ser copiado, ou seja, pelo menos de um país tropical desenvolvido ou região com uma economia fortemente baseada em recursos naturais diversificados, particularmente recursos florestais, e uso intensivo de C&T por meio de uma força de trabalho treinada e educada para promover o desenvolvimento e a conservação ambiental [Nobre e Lahsen, 2008].

A solução para esse dilema depende da habilidade de mover de um simples diagnóstico para ações concretas, persistentes e integradas em níveis local, regional e nacional. Embora reconheçamos que muito desse desafio seja político, a C&T tem uma importância no desenvolvimento sustentável da Amazônia,

inclusive na necessidade de gerar um novo conhecimento sobre os serviços ambientais prestados pela região.

Os países amazônicos deveriam buscar um novo paradigma de desenvolvimento, minimizando impactos ambientais danosos. Esse é um imenso desafio, particularmente para países em desenvolvimento com dívidas sociais. A partir dos resultados do LBA, talvez possamos desenvolver novas experiências, por meio das quais a sociedade possa agregar valores às interações entre a biosfera e a atmosfera.

REFERÊNCIAS

- Alves, D. S. (2002), Space time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia, *Int. J. Remote Sens.*, 23, 2903-2908.
- Alves, D. S., M. I. S. Escada, J. L. G. Pereira, and C. A. Linhares (2003), Land use intensification and abandonment in Rondonia, *Int. J. Remote Sens.*, 24, 899-903.
- Ambuj, D., and S. D. Van Deveer (2005), Capacity development for the environment: Broadening the scope, *Handbook of Global Environmental Politics*, 5(3), 14-22.
- Andreae, M. O., D. Rosenfeld, P. Artaxo, A. A. Costa, G. P. Frank, K. M. Longo, and M. A. F. Silva-Dias (2004), Smoking rain clouds over the Amazon, *Science*, 303, 1337-1340.
- Artaxo, P., J. V. Martins, M. A. Yamasoe, A. S. Procópio, T. M. Pauliquevis, M. O. Andreae, P. Guyon, L. V. Gatti, and A. M. C. Leal (2002), Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in Rondônia, Amazonia, *J. Geophys. Res.*, 107(D20), 8081-8095, doi:10.1029/2001JD000666.
- Artaxo, P., P. H. Oliveira, L. L. Lara, Pauliquevis, T. M. Rizzo, L. V., C. Pires Junior, M. A. Paixão, K. M. Longo, S. de Freitas, and A. L. Correia (2006), Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia, *Rev. Bras. de Meteorol.*, 21(3), 1-22.
- Artaxo, P., et al. (2009), Aerosol particles in Amazonia: Their composition, role in the radiation balance, cloud formation, and nutrient cycles, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000778, this volume.
- Asner, G. P., D. E. Knapp, E. N. Broadbent, P. J. C. Oliveira, M. Keller, and J. N. Silva (2005), Selective logging in the Brazilian Amazon, *Science*, 310, 480-482.
- Asner, G. P., D. E. Knapp, A. N. Cooper, M. M. C. Bustamante, and L. P. Olander (2005b), Ecosystem structure throughout the Brazilian Amazon from Landsat observations and automated spectral unmixing, *Earth Interactions*, 9, (7), E1134, doi:10.1175/EI134.1.
- Asner, G. P., M. Keller, M. Lentini, F. Merry, and C. Souza Jr. (2009), Selective logging and its relation to deforestation, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000723, this volume.
- Baker, T., et al. (2004), Increasing biomass in Amazonian forest plots, *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, 359, 353-365.
- Batistella, M., and E. S. Brondizio (2004), Uma estratégia integrada de análise e monitoramento do impacto ambiental de assentamentos rurais na Amazônia, in *Avaliação e Contabilização de Impactos Ambientais*, edited by A. R. Romeiro, pp. 74-86, Editora Unicamp, Campinas.
- Batistella, M., and F. Luizão (2006), LBA and the future of Amazonian research, *Global Change Newsl.*, 67,4-5.
- Batistella, M., and E. F. Moran (2005), Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: Uma contribuição do LBA, *Acta Amazonica*, 35(2), 239-247.
- Batistella, M., and E. F. Moran (2007), A heterogeneidade das mudanças de uso e cobertura das terras na Amazônia: Em busca de um mapa da estrada, in *Dimensões Humanas da Biosfera-Atmosfera na Amazônia*, edited by W. M. da Costa, B. Becker, and D. Alves, pp. 65-80, EDUSP, São Paulo.
- Batistella, M., D. Alves, P. Artaxo, M. Bustamante, M. Keller, F. Luizão, J. A. Marengo, L. Martinelli, and C. A. Nobre (2007), Plano Científico LBA2-Programa de Pesquisas Sobre Interações Biosfera-Atmosfera na Amazônia, LBA, Cachoeira Paulista. (Available at http://lba.inpa.gov.br/nba/?p=plano_cientifico_LBA2_vf2_l&t:1, accessed 10 August 2009).

- Batistella M., E. F. Moran, and D. S. Alves (Eds.) (2008), *Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação*, 304, pp, EDUSP, São Paulo.
- Batistella, M., D. S. Alves, E. F. Moran, C. Souza Jr., R. Walker, and S. J. Walsh (2009), People and environment in Amazonia: The LBA experience and other perspectives, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2009GM000902, this volume.
- Bernardes, M. C., et al. 2004), Riverine organic matter composition as a function of a land use changes, southwest Amazon, *Ecol. Appl.*, 14, 263-279.
- Carmo, J. B., C. Neill, D. C. Garcia-Montiel, M. C. Piccolo, C. C. Cerri, P. A. Steudler, C. A. Andrade, C. C. Passianoto, B. J. Feigl, and J. M. Melillo (2005), Nitrogen dynamics during till and no-till pasture restoration sequences in Rondônia, Brazil, *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 71, 213-225.
- Cash, D. W., W. C. Clark, F. Alcock, N. M. Dickson, N. Eckley, D. H. Guston, J. Jäger, and M. B. Ronald (2003), Knowledge systems for sustainable development, *PNAS*, 100 (14), 8086-8091.
- Chambers, J. Q., J. Santos, R. J. Ribeiro, and N. Higuchi (2001), Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest, *For. Ecol. Manage.*, 152, 73-84.
- Clark, W. C. (2007), Sustainability science: A room of its own, *PNAS*, 104 (6), 1737-1738.
- Clayes, M., B. Graham, G. Vas, W. Wang, R. Vermeylen, V. Pashynska, J. Cafmeyer, P. Guyon, M. O. Andreae, P. Artaxo, and W. Maenhaut (2004), Formation of secondary organic aerosols through photooxidation of isoprene, *Science*, 303, 1173-1176.
- Costa M. H., M. T. Coe, and J. L. Guyot (2009), Effects of climatic variability and deforestation on surface water regimes, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000738, this volume.
- Costa, W. M. da, B. Becker, and D. Alves (Eds.) (2007), *Dimensões Humanas da Biosfera-Atmosfera na Amazônia*. 178pp., EDUSP, São Paulo.
- da Rocha, H. R., A. O. Manzi, and J. Shuttleworth (2009), Evapotranspiration *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000744, this volume.
- Davidson, E. A., and P. Artaxo (2004), Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: Results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment, *Global Change Biology*, 10, 1-11.
- Davidson, E. A., C. J. A. R. de Carvalho, M. Figueira, F. Y. Ishida, J. P. H. B. Ometto, G. B. Nardoto, R. T. Sabá, S. N. Hayashi, E. C. Leal, I. C. G. Vieira, and L. A. Martinelli (2007), Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment, *Nature*, 447, 995-998.
- DeFries, R. S., J. A. Foley, and G. P. Asner (2004), Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function, *Front. Ecol. Environ.*, 2, 249-257.
- Durieux, L., L. A. T. Machado, and H. Laurent (2003), The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation, *Remote Sens. Environ.*, 86, 132-140.
- Foley, J. A., G. P. Asner, M. H. Costa, M. T. Coe, R. DeFries, H. K. Gibbs, E. A. Howard, S. Olson, J. Patz, N. Ramankutty, and P. Snyder (2007), Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin, *Front. Ecol. Environ.*, 5, 25-32.
- Houghton, R. A., M. Gloor, J. Lloyd, and C. Potter (2009), The regional carbon budget, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000718, this volume
- Kates, R. W., W. C. Clark, R. Corell, J. M. Hall, C. C. Jaeger, I. Lowe, J. J. McCarthy, H. J. Schellnhuber, B. Bolin, N. M. Dickson, S. Faucheux, G. C. Gallopin, A. Grubler, B. Huntley, J. Jäger, N. S. Jodha, R. E. Kasperson, A. Mabogunje, P. Matson, H. Mooney, B. Moore III, T. O'Riordan, and U. Svedin (2001), Environment and development: sustainability science, *Science* 292 (5517), 641-642.
- Krusche, A. V., M. V. R. Ballester, R. L. Victoria, M. C. Bernardes, N. K. Leite, L. Hanada, D. de C. Victoria, A. M. Toledo, J. P. Ometto, M. Z. Moreira, B. M. Gomes, M. A. Bolson, S. Gouveia Neto, N. Bonelli, L. Deegan, C. Neill, S. Thomas, A. K. Aufdenkampe, and J. E. Richey (2005), Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia, *Acta Amazon.*, 35, 197-205.
- Lahsen, M., and C. A. Nobre (2007), Challenges of connecting international science and local

- level sustainability efforts: the case of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia, *Environ. Sci. Policy*, *10*(1), 62-74.
- LBA (1996), Plano Científico Conciso, *Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia*, Cachoeira Paulista.
- Lloyd, J., M. L. Goulden, J. P. Ometto, S. Patiño, N. M. Fyllas, and C. A. Quesada (2009), Ecophysiology of forest and savanna vegetation, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000740, this volume.
- Lu, D., P. Mausel, M. Batistella, and E. F. Moran (2004), Comparison of land-cover classification methods in the Brazilian Amazon Basin, *Photogramm. Eng. Rem. Sens.*, *70*(6), 723-731.
- Luizão, F. J., P. M. Fearnside, C. E. P. Cerri, and J. Lehmann (2009), The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000742, this volume.
- Machado, L. A., H. Laurent, N. Dessay, and I. Miranda (2004), Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: a comparison of different vegetation types and large scale forcing, *Theor. Appl. Climatol.*, *78*, 61-78.
- Malhi, Y., et al. (2004), The above-ground wood productivity and net primary productivity of 104 neotropical forests plots, *Global Change Biology*, *10*, 563-591.
- Malhi, Y., S. Saatchi, C. Girardin, and L. E. O. C. Aragão (2009), The production, storage, and flow of carbon in Amazonian forests, *Geophys. Monogr. Ser.* Doi: 10.1029/2008GM000779, this volume.
- Marengo, J., C. A. Nobre, R. A. Betts, P. M. Cox, G. Sampaio, and L. Salazar (2009), Global warming and climate change in Amazonia: Climate-vegetation feedback and impacts on water resources, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000743, this volume.
- Marengo, A. J., C. Nobre, J. Tomasella, M. D. Oyama, G. S. de Oliveira, R. de Oliveira, H. Camargo, and L. M. Alves (2007), The drought of Amazonia in 2005, *J. Climate*, *21*(3), 495-516.
- Moran, E. F., D. L. Skole, and B. L. Turner (2004), The development of the international land use and land cover change (LUCC) research program and its links to NASA's land cover and land use change (LCLUC) initiative, in *Land Change Science: Observing, Monitoring and Understanding Trajectories of Change on the Earth's Surface*, edited by G. Gutman et al., pp 1-17, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Morton, D., R. DeFries, Y. E. Shimabukuro, E. Arai, R. Freitas, L. O. Anderson, F. B. Espirito-Santo, and J. Morissette (2006), Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon, *PNAS*, *103*, 14637-14641.
- Neill, C., H. Elsenbeer, A. V. Krusche, J. Lehmann, D. Markewitz, and R. O. Figueiredo (2006), Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment, *Hydrol. Process.*, *20*, 2467-2476.
- Nepstad, D., A. Veríssimo, A. Alencar, C. A. Nobre, P. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, P. Moutinho, E. Lima, M. Cochrane, and V. Brooks (1999), Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire, *Nature*, *398*, 505-508.
- Nobre, C. A., and M. Lahsen (2008), Desenvolvimento sustentável na Amazônia: desafios, potencial e o papel da ciência e tecnologia, in *Amazônia: Natureza e Sociedade em Transformação*, edited by Batistella, M., E. F. Moran, and D. S. Alves, pp 291-300, EDUSP, São Paulo.
- Nobre, C. A., G. O. Obregón, J. A. Marengo, R. Fu, and G. Poveda (2009), Characteristics of Amazonian climate: Main features, *Geophys. Monogr., Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000720, this volume.
- Philippi Junior, A., F. R. de Aquino Neto, I. Walker, F. R. de Novais, and U. G. Cordani (2003), *Revisão de meio termo: experimento de grande escala da biosfera-atmosfera na Amazônia*, LBA, Manaus, Santarém, Belém.
- Phillips, O. L., N. Higuchi, S. Vieira, T. R. Baker, K.-J. Chao, and S. L. Lewis (2009), Changes in Amazonian forest biomass, dynamics, and composition, 1980-2002, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000739, this volume.
- Roberts, D. A., M. Keller, and J. V. Soares (2003), Studies of land cover, land use, and biophysical properties of vegetation in the Large Scale Biosphere Atmosphere

- Experiment in Amazonia (LBA), *Remote Sens. Environ.*, *87*, 377-388.
- Salazar, L. F., C. A. Nobre, and M. D. Oyama (2007), Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America, *Geophys. Res. Lett.*, *34*, 1-6.
- Saleska, S. R., S. D. Miller, D. M. Matross, M. L. Goulden, S. C. Wofsy, H. R. Rocha, P. B. Camargo, P. Crill, B. C. Daube, H. C. Freitas, L. Hutyrá, M. Keller, V. Kirchoff, M. Menton, J. W. Munger, E. H. Pyle, A. H. Rice, and H. Silva (2003), Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses, *Science*, *302*, 1154-1157.
- Saleska, S., H. da Rocha, B. Kruijt, and A. Nobre (2009), Eco-system carbon fluxes and Amazon forest metabolism, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000728, this volume.
- Schor, T. (2005), *Ciência e tecnologia: uma interpretação da pesquisa na Amazônia - o caso do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA)*. Ph.D. thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Schroeder, W., A. Alencar, E. Arima, and A. Setzer (2009), The spatial distribution and interannual variability of fire in Amazonia, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000724, this volume.
- Silva, R. R., and R. Avissar (2006), The hydrometeorology of a deforested region of the Amazon Basin, *J. Hydrometeorol.*, *7*, 1028-1042.
- Silva Dias, M. A. F., P. L. Silva Dias, M. Longo, D. R. Fitzjarrald, and A. S. Denning (2004), River breeze circulation in eastern Amazonia: observations and modelling results, *Theor. Appl. Climatol.*, *78*, DOI 10.1007/s00704-004-0047-6.
- Soares-Filho, B., D. Nepstad, L. Curran, G. Cerqueira, R. Garcia, C. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre, P. Schlesinger, and D. McGrath (2006), Amazon conservation scenarios, *Nature*, *440*, 1-35.
- Souza Junior, C. M., D. A. Roberts, and A. L. Monteiro (2005), Multitemporal analysis of degraded forests in the southern Brazilian Amazon, *Earth Interactions*, *9*, 1-25.
- Thomas, S. M., C. Neill, L. A. Deegan, A. V. Krusche, V. M. Ballester, and R. L. Victoria (2004), Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network, *Biogeochemistry*, *68*, 135-151.
- Tomasella, J., C. Neill, R. Figueiredo, and A. D. Nobre (2009), Water and chemical budgets at the catchment scale including nutrient exports from intact forests and disturbed landscapes, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000727, this volume.
- Trumbore, S., and P. B. de Camargo (2009), Soil carbon dynamics, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi: 10.1029/2008GM000741, this volume.
- Walker, R., R. DeFries, M. del C. Vera-Diaz, Y. Shimabukuro, and A. Venturieri (2009), The expansion of intensive agriculture and ranching in Brazilian Amazonia, *Geophys. Monogr. Ser.*, doi:10.1029/2008GM000735, this volume.
- P. Artaxo, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, CEP 05.508-050, Brasil.
- M. Batistella, Embrapa Monitoramento por Satélite, Avenida Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, CEP 13.070-115, Campinas, SP, Brasil.
- M. Bustamante, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, CEP 70.910-900, Brasília, DF, Brasil.
- F. Luizão, Departamento de Ecologia, INPA, CEP 69.060-001, Manaus, AM, Brasil.
- C. Nobre, Centro de Ciências do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP, CEP 12.630, Brasil.

Tradução: Ivani Pereira

Copyright © 2010 American Geophysical Union, Washington, D.C., USA. All rights reserved.

These materials are protected by the United States Copyright Law, International Copyright Laws and International Treaty Provisions.

Estes materiais são protegidos pela Lei de Direitos Autorais dos Estados Unidos, por Leis Internacionais de Direitos Autorais e Disposições de Tratados Internacionais.