

# INSTRUMENTAÇÃO E MODELAGEM HIDROLÓGICA EM MICROBACIAS NA AMAZÔNIA: UMA PROPOSTA SUSTENTÁVEL PARA GESTÃO DO USO DO SOLO E DOS RECURSOS HÍDRICOS

Rodolfo Nóbrega<sup>1\*</sup>; Norma Bertão<sup>2</sup>; Alphonse Guzha<sup>1</sup>; Ricardo Amorim<sup>2</sup>; Gerhard Gerold<sup>1</sup>; Eduardo Couto<sup>2</sup>

**Resumo** – Nos últimos anos muitos países têm sido confrontados com resultados insuficientes no que diz respeito aos de controle ambiental, os quais estão na maioria em vigor desde a década de 90. Embora isso possa significar a priorização do desenvolvimento econômico em detrimento da sustentabilidade ambiental, o monitoramento do meio ambiente ainda se apresenta como solução eficaz e tem comprovado a necessidade de mais pesquisas para avaliação e entendimento da dinâmica ambiental em áreas que possuem grande legado ambiental e que ainda carecem de estudos. Dentre as demandas de pesquisa, se destacam os processos biogeoquímicos nos ecossistemas terrestres em áreas de importante papel ambiental na esfera global. Nesse contexto, o presente trabalho descreve um conjunto de ações realizadas e em andamento na região da Amazônia Legal que visa, com base em análises hidrológicas, avaliar o impacto de diferentes tipos de uso do solo no fluxo de nutrientes. Para isso foram selecionadas cinco microbacias com quatro diferentes usos do solo para instrumentação, monitoramento e modelagem. Os resultados preliminares reafirmam o deflorestamento como principal fator de alteração do ciclo hidrológico. Outros resultados e métodos aplicados também são discutidos.

**Palavras-Chave** – Modelagem hidrológica, fluxo de nutrientes, Amazônia.

## INSTRUMENTATION AND HYDROLOGICAL MODELING AMAZON MICROWATERSHEDS: A SUSTAINABLE APPROACH FOR BETTER SOIL AND WATER MANAGEMENT

**Abstract** – Many countries have not been able to meet the environmental management milestones which were mostly placed after the Rio Declaration of 1992. This might be attributed to policy decisions on tradeoffs between economic development and environmental sustainability. Environment monitoring is still a critical component to further research, evaluate and understand environmental dynamics as a precursor to informed policy decisions on environmental management. Among these research demands, we highlight the biogeochemical processes in terrestrial ecosystems as an important environmental role in the global scenario. In this context, this paper describes a set of actions taken and progress in the Amazon region which aims at assessing the impact of land use land cover changes on nutrients fluxes and carbon loss, based on hydrological and hydrochemical analysis and modeling. To achieve this objective, five microcatchments with four different land uses/land cover were selected and were for instrumented and high frequency monitoring is currently ongoing. We present in this paper the research protocols and preliminary results from field experimentation. Preliminary results show

---

<sup>1</sup> Georg-August Universidade de Goettingen, Instituto de Geografia, Departamento de Ecologia da Paisagem, Goettingen, Alemanha.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, FAMEVZ, Cuiabá (MT).

\* rodolfo.nobrega@geo.uni-goettingen.de

deforestation as the main factor of changing the hydrological cycle. Further analysis and methods are also discussed.

**Keywords** – Hydrological modeling, nutrient fluxes, Amazon.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o desenvolvimento de mecanismos de controle, regulação e planejamento ambiental tem sido um dos instrumentos mais utilizados para intervir nas ações humanas nos recursos naturais do planeta. Esses mecanismos são implementados de diferentes formas (leis, planos, acordos, entre outros), utilizados principalmente por governos e organizações ambientais, e seus objetivos estão associados a fundamentos ambientais nas mais diversas escalas territoriais. Em nível global destaca-se, por exemplo, o Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 2008), acordo que trata de compromissos internacionais para a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa e, mais recentemente, o UN-REDD (UN-REDD Programme Framework Document, 2008), programa da ONU para redução da emissão desses gases provocada pela degradação e desmatamento de florestas em países em desenvolvimento. Em âmbito nacional pode-se destacar o Código Florestal e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

O desenvolvimento desses mecanismos é fundamentado principalmente em argumentos de base científica e validados por métodos discutidos pelas comunidades de P&D nas suas respectivas áreas de excelência. No entanto, interferências de ordem política originadas principalmente de grupos de pressão (lobby) dificultam a implementação desses mecanismos de maneira efetiva, o que, conseqüentemente, desarmoniza os critérios de controle e planejamento em face a dinâmica ambiental sustentável. Diante disso, as comunidades científicas passam a ter a responsabilidade de reafirmar conclusões, por meio de pesquisas que abrangem outras escalas e aspectos, além de incorporar análises suplementares sobre os impactos causados pelo uso não sustentável dos recursos naturais, muitas vezes conseqüência da falta ou insuficiente implementação de mecanismos ambientais. Soma-se a isso a falta de compasso entre a o processo de desenvolvimento das leis o tempo de resposta as ações antrópicas e mudanças ambientais.

Um dos exemplos mais clássicos no contexto nacional e internacional são as ações relacionadas ao sequestro de carbono. Diversas iniciativas, como o supracitado Protocolo de Kyoto, buscam controlar as emissões dos gases do efeito estufa e, para isso, utilizam o mecanismo de Redução Certificada de Emissões (RCE), também conhecido como mercado de créditos de carbono. Por outro lado, esses mecanismos ainda buscam melhores resultados em relação ao o aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera em países em desenvolvimento, normalmente relacionadas às mudanças desordenadas do uso da terra originadas da degradação e desmatamento de florestas.

Uma das linhas de pesquisa que tentam avaliar os impactos e melhores práticas de gestão em relação a essas mudanças do uso da terra é o estudo dos ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas terrestres, que, por sua vez, estão diretamente ligados ao ciclo hidrológico. De acordo com Likens et al. (1981), o ciclo hidrológico é de suprema importância através do seu efeito nos ciclos biogeoquímicos e as bacias hidrográficas são unidades adequadas para estudos que visam a quantificar o fluxo da água e de elementos químicos em ecossistemas terrestres. A quantificação dos fluxos de carbono transportados pela água dos ambientes terrestres para ambientes aquáticos é fundamental para entender o balanço do carbono em diferentes escalas hidrográficas (Billett et al. 2004; Siemens 2003). As nascentes proveem

uma escala na qual o fluxo de água possui a mais forte relação com aos fluxos de água terrestres (Hope et al. 2004). Devido à boa parte do que é transportado pelos eventos de chuva não é representado pelas campanhas de amostragem de água semanais, uma consideração detalhada dos fluxos de carbono com uma abordagem hidrológica é necessário para melhor determinar o transporte de carbono terrestre para esses fluxos (Johnson et al., 2006).

A distribuição heterogênea de florestas primárias e secundárias (mata de galeria), sistemas agroflorestais, e culturas e pastos anuais podem mascarar os efeitos da mudança da floresta na vazão e fluxos de nutrientes (Wilk et al. 2001). Além disso, há uma grande demanda para aplicação e calibração de modelos hidrológicos para regionalização de bacias nos trópicos.

É extremamente necessário conhecer melhor os efeitos da mudança do uso de solo em florestas degradadas e desenvolver alternativas para sua gestão com base no ciclo hidrológico para o correta gestão dos recursos hídricos, como parte de um dos serviços do ecossistema. Nascentes integram todos os processos geocologicos nas suas áreas de captação, devido a isso o monitoramento dos seus aspectos ecológicos se forma uma ferramenta eficiente para avaliar os efeitos da gestão do uso do solo. Nas área agrícolas nos trópicos os principais problemas são altos níveis de sólidos suspensos em combinação com impactos de fertilizantes (Wantzen et al. 2008). Fica evidente a importância de estudos hidrológicos que considerem processos biogeoquímicos e o fluxo de nutrientes em bacias hidrográficas e, dentre desse contexto, o presente trabalho propõe a apresentação de uma série de atividades de pesquisa em corrente desenvolvimento em microbacias localizadas no Mato Grosso e no Pará, ao longo do Cerrado e da Amazônia, no contexto do Projeto CARBIOCIAL - *CARBon sequestration, BIOdiversity and soCIAL structures project in Southern Amazonia* ([www.carbiocial.de](http://www.carbiocial.de)).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Áreas de estudo

Foram selecionadas cinco microbacias localizadas ao longo da transição entre os biomas Cerrado e Amazônia na região do arco do deflorestamento na Amazônia. As microbacias estão localizadas nos municípios de Campo Verde (MT) e Novo Progresso (PA), e possuem diferentes usos e coberturas do solo, sendo: uma com vegetação nativa de cerrado (MT), duas com práticas de pasto (MT e PA), uma em área de produção agrícola (MT) e uma em floresta nativa (PA). Na Figura 1 é possível visualizar as microcaptações com diferentes uso do solo que são estudadas no município de Campo Verde (MT).



Cerrado

(15°47.967'S 55°19.867'W)

Pasto

(15°48.436'S 55°19.921'W)

Área agrícola

15°44.775'S 55°21.622'W

Figura 1 – Localização e visualização das microcaptações com diferentes uso do solo que são estudadas no município de Campo Verde (MT)

Para a seleção das microbacias foi levada em consideração a proximidade desses locais com a BR-163, devido a aspectos sócias, econômicos e culturais que também estão sendo estudados no Projeto CARBIOCIAL, pois essa rodovia desempenha forte influência na alteração desses aspectos e do uso do solo nas regiões que ela se situa. Como complemento, para as bacias hidrográficas onde essas microbacias estão localizadas foram realizadas análises da mudança do uso do solo com o auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e análises de tendência da precipitação e da vazão utilizando o método Mann-Kendall. Para as análises foram utilizados dados históricos do satélite Landsat, dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET e dados hidrológicos da plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).



## Instrumentação e análises de laboratório

Com o uso de scanner laser 3D e aparelhos GPS de alta precisão foram realizados o levantamentos topográficos de cada microbacia. Como essa atividade foi possível determinar os o modelo de elevação digital como também os limites de cada área de captação para, entre outros objetivos, a correta locação dos instrumentos e consequente monitoramento dos dados.

Cada microbacia foi instrumentada com os seguintes equipamentos: a) amostrador automático de água (Figura 2a); b) sonda multiparamétrica hydrolab DS5X (Figura 2b); c) 3 pluviógrafos; d) vertedor retangular/triangular (Figura 2c); e) estação meteorológica e f) 8 tubos para medição da umidade do solo. Por meio dos amostradores automáticos de água são possíveis coletas de amostras das águas das nascentes, incluindo os sólidos suspensos, para análise de cátions (Na, K, Ca, Mg, NH<sub>4</sub>) e ânions (Cl, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>) como também análises para determinação do COT, COD, NO<sub>3</sub> e N. Com as sondas multiparamétricas é possível coletar dados da altura do nível da água, turbidez, temperatura, pH e oxigênio dissolvido.



(a)



(b)



(c)

Figura 2 – a) amostrador automático de água; b) sonda multiparamétrica e c) vertedor instalado na área agrícola.

As atividades de coleta de dados foram iniciadas no último trimestre de 2012 e devem ser continuadas por 2 a 3 anos. Também estão sendo coletadas informações sobre as práticas de manejo do solo (aplicação de fertilizantes e pesticidas, épocas de plantio e de colheita, entre outras). Com isso, está sendo possível, por exemplo, relacionar os dados de turbidez com os sólidos em suspensão, com o intuito calibrar curvas que estimem satisfatoriamente essa relação, e possibilitando quantificar a quantidade de sedimento escoada pela bacia. Também será possível realizar a modelagem hidrológica de cada microbacia utilizando modelos hidrológicos que computam o fluxo de nutrientes no ciclo hidrológico (MIKE-SHE, SWAT e MGB-IPH-C, por exemplo).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados preliminares mostram que a bacia hidrográfica do Rio das Mortes, onde se situa o município de Campo Verde, passou por um vasto processo de deflorestamento nas últimas décadas (Figura 3). Ao mesmo tempo, na Figura 4a, é possível observar que os testes de tendência Mann-

Kendall não apresentam significantes tendências na precipitação. No entanto, é possível visualizar nas Figuras 4b e 4c tendências de aumento da vazão anual da bacia, com níveis e significância de 0.01 e 0.05 (Figura 4b).

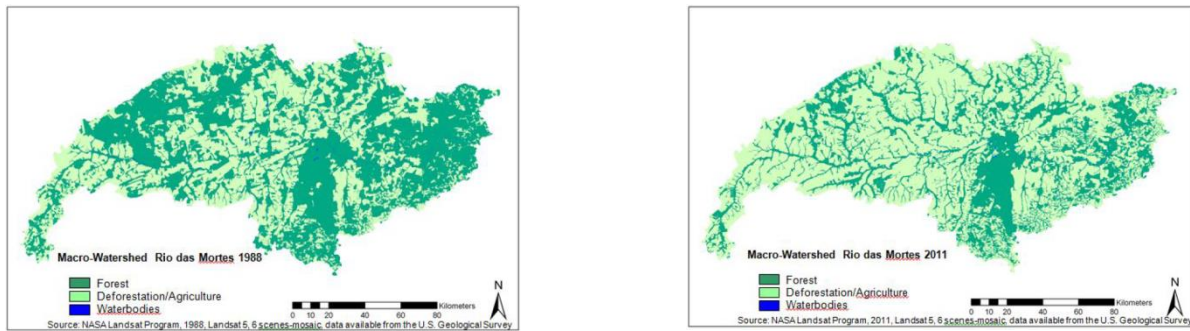


Figura 3 – Uso do solo na Bacia do Rio das Mortes em 1988 e em 2011 obtido através de imagens Landsat.

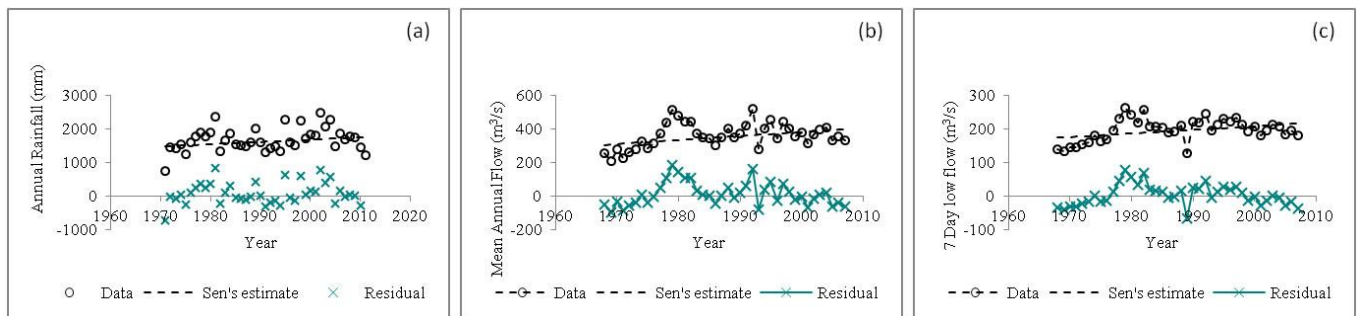


Figura 4 - Teste de tendência Mann-Kendall na (a) precipitação anual da bacia estudada; (b) na média das vazões e (c) nas vazões mínimas com frequência semanal (estação ANA 26050000).

Em relação às microbacias, é possível observar que parâmetros como  $\text{NO}_3$ , TOC e DOC tem aumento de concentração em cerca de cinco vezes quando ocorrem eventos de chuva/vazão na nascente. No entanto, somente após uma série maior de dados será possível aplicar métodos de análises que produzam consistência suficientes para apresentação e discussão destes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos e materiais propostos neste trabalho propõem, principalmente, apresentar resultados embasados e estimar com maior precisão as perdas de carbono no solo e transporte de nutrientes por meio dos rios. A partir da calibração e validação dos modelos pretende-se gerar cenários sustentáveis de uso do solo. Para isto, também serão considerados cenários econômicos, sociais, climáticos e legais. Os resultados esperados ainda incluem:

- Análises dos efeitos do uso do terra atualmente empregado e das estratégias de mitigação, e sinergias entre as gestões orientadas ao carbono e aos recursos hídricos;

- Avaliação da eficiência das matas ciliares e estratégias de uso do solo propostas na redução das perdas de carbono e transporte de nutrientes;
- Elaborar uma série de recomendações de boas práticas para agricultores e tomadores de decisão visando a adaptação às mudanças climáticas e gestão sustentável do uso da terra.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Ministério Federal da Educação e Pesquisa da Alemanha (BMBF) pelo financiamento deste trabalho no contexto do Projeto *CARbon sequestration, BIODiversity and soCIAL structures project in Southern Amazonia* (CARBIOCIAL). Os mesmos também agradecem ao DAAD e a CAPES pelas bolsas de pesquisa do primeiro e segundo autor, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- Billett, M. F.; Palmer, S.M.; Hope, D.; Deacon, C.; Storeton-West, R.; Hargreaves, K.J.; Flechard, C.; Fowler, D. (2004) Linking land-atmosphere-stream carbon fluxes in a lowland peatland system. *Global Biogeochem Cycles* 18:1–12.
- Güntner, A. (2002). Large-Scale hydrological modelling in the Semi-Arid North-East of Brasil. Dissertação, Universidade de Postdam.
- Hope, D.; Palmer, S.M.; Billett, M.F.; Dawson, J.J.C. (2004) Variations in dissolved CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in a first-order stream and catchment: an investigation of soil–stream linkages. *Hydrological Processes* 18:3255–3275
- Johnson, M.; Lehmann, J.; Couto, E.; Novães Filho, J. P.; Riha, S. (2006) DOC and DIC in flowpaths of Amazonian headwater catchments with hydrologically contrasting soils. *Biogeochemistry* 81:45–57.
- Likens, G. E.; Bormann, F. H.; Johnson, N. M. (1981). Interactions between major biogeochemical cycles in terrestrial ecosystems. In *Some perspectives of the major biogeochemical cycles*. Editado por Likens, G. E., John Wiley & Sons Ltd. Ed., pp. 93-112.
- Siemens, J. (2003) The European carbon budget: a gap. *Science* 302:1681–1681.
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change (2008). *Kyoto Protocol – Reference Manual – On account of emissions and assigned amount*. Organização das Nações Unidas. ISBN 92-9219-055-5.
- UN-REDD - UN Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries Programme (2008). *Framework Document*. Disponível em <[http://www.un-redd.org/Portals/15/documents/publications/UN-REDD\\_FrameworkDocument.pdf](http://www.un-redd.org/Portals/15/documents/publications/UN-REDD_FrameworkDocument.pdf)>. Acesso em 16 de março de 2013.
- Wantzen, K.M.; Mathooko, J.; Yule, C.; Pringle, C. (2008). Organic matter processing in tropical streams. In: Dudgeon, D. (ed.). *Tropical stream ecology*. Elsevier, London, 44-64.
- Wilk, J.; Andersson, L.; Plermkamon, V. (2001). Hydrological impacts of forest conversion to agriculture in a large river basin in northeast Thailand. *Hydrological Processes* vol. 15: 2729-2748.