

# *Análise crítica dos estudos sobre metano desenvolvidos no Brasil*

*Critical analysis of methane research carried in Brazil*

Gustavo Gomes Chagas\*

Este artigo avalia a produção bibliográfica gerado por pesquisadores e centros de pesquisa nacionais acerca da contribuição aos ambientes aquáticos brasileiros para a emissão de gases de efeito estufa, relevância das publicações e se há concentração dos trabalhos em determinadas regiões do Brasil. A análise dos artigos científicos demonstrou que a participação de pesquisadores brasileiros ainda é pequena. Os trabalhos estão concentrados na região amazônica, não sendo observada nenhuma iniciativa nas regiões sul e nordeste. Desta forma, espera-se que os estudos futuros possam abranger uma maior variedade de ecossistemas, cobrindo lacunas importantes nas demais regiões do País.

*Palavras-chave:* Pesquisa nacional. Gases de efeito estufa. Hidrelétricas. Áreas alagadas.

*This article evaluates the scientific knowledge generated by researchers and national research centers concerning how greenhouse gases affect Brazilian water systems, relevant publications on this issue and whether these studies are concentrated in certain areas of the country. Analysis of scientific articles demonstrated that participation of Brazilian researchers is still small. Research is concentrated in the Amazon region, with no findings in the southern and northeastern regions. One expects that future studies will consider a greater variety of ecosystems, filling important gaps in other regions of the Country.*

*Key words:* National research. Greenhouse gases. Hydroelectric dams. Wetlands. Scientific knowledge.

## ***1 Introdução***

Nas últimas duas décadas, vários estudos sobre a concentração e fluxo de gases de efeito estufa (especialmente CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) têm sido realizados, em lagos e rios naturais e represas em todo o mundo, mostrando que estes ambientes podem contribuir de forma significativa para o efeito estufa (BARTLETT; HARRISS, 1993). Os ambientes aquáticos produzem estes gases biogênicos no processo de decomposição da matéria orgânica produzida dentro do ambiente (autóctone) ou na que é importada da bacia de drenagem (alóctone). Estima-se que estes ambientes contribuem com cerca de 40% da emissão global de metano para a atmosfera (KHALIL; SHEARER, 1993).

O metano é produzido pela degradação anaeróbica de compostos orgânicos, e inundações de sedimentos ricos em matéria orgânica em ambientes de água doce e

\*Doutorando em Ecologia e Recursos Naturais-UENF. Professor do IF Fluminense Campus Campos Centro.

pobre em aceptores de elétrons ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Mn}^{+4}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ) que favorecem a produção e liberação de metano (FENCHEL *et al.*, 1998). O  $\text{CO}_2$  é liberado em condições aeróbicas ou quando existem outros aceptores de elétrons na respiração anaeróbica (CARMOUZE, 1994).

O Brasil é um país de dimensões continentais que apresenta um dos maiores complexos hidrográficos do mundo, com rios que de grande extensão, largura e profundidade. Somando as áreas das principais bacias hidrológicas brasileiras (Bacia do Amazonas, Bacia do Tocantins-Araguaia, Bacia do Paraná e Bacia do São Francisco), estas englobam 76% do território nacional (BRASIL, 2006). Estes rios apresentam áreas alagadas onde a vazão da água é reduzida, formando um ambiente favorável à deposição e posterior degradação da matéria orgânica de forma aeróbica e anaeróbica, resultando na formação de gases  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

Dada a vasta disponibilidade de recursos hídricos, relevo favorável e avanço tecnológico, a matriz energética brasileira é composta cerca de 15% de hidrelétricas, estando atrás apenas do petróleo (38,4%) e biomassa (29,7%) (BRASIL, 2006). A construção de hidrelétricas aumenta o tempo de residência da água e favorece a degradação da matéria orgânica nestes ambientes (FEARNSIDE, 2001).

Neste contexto, é importante avaliar quanto os ambientes aquáticos brasileiros vêm contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o conhecimento científico gerado por pesquisadores e centros de pesquisa nacionais acerca deste ponto, relevância das publicações e se há concentração dos trabalhos em determinadas regiões do país ou se há uma distribuição igualitária dos artigos gerados em todo o Brasil.

## 2 Métodos

Para direcionar a revisão, foram elaboradas seis questões para serem respondidas baseadas no levantamento bibliográfico:

2.1- Qual o número de artigos publicados sobre metano em ambientes aquáticos no Brasil nos últimos vinte e cinco anos?

2.2- Qual região apresenta maior número de ambientes estudados?

2.3- Os estudos estão concentrados em poucos grupos de pesquisa?

2.4- Quais estudos foram realizados exclusivamente por grupo de pesquisa brasileiro?

2.5- Qual a relevância dos estudos?

2.6- As hidrelétricas produzem realmente uma energia limpa?

O levantamento foi realizado consultando revistas internacionais indexadas através do site do “*Institute for Scientific Information- ISI*” utilizando as seguintes

palavras-chave: *Methane + Brazil + Aquatic; Methane + Brazilian + Aquatic; Methane + Brazil + River; Methane + Brazilian + River; Methane + Brazilian + Wetland; Methane + Brazil + Pantanal.*

O foco central da busca foram artigos com o tema metano, pois trabalhos sobre este gás invariavelmente têm um foco sobre o aquecimento global e liberação de gases de efeito estufa.

## 2.1 Qual o número de artigos publicados sobre metano em ambientes aquáticos no Brasil nos últimos vinte e cinco anos?

O levantamento dos dados revelou um total de 23 artigos utilizando as palavras chaves já listadas. A despeito do vasto território e da abundância de ambientes alagados, os estudos sobre metano proveniente da decomposição são escassos (Figura 1). Além do reduzido número de artigos encontrados, um dado relevante é que a maior parte dos trabalhos foram publicados a partir de 2000, indicando que as pesquisas sobre concentração e emissão de metano estão apenas iniciando no Brasil.

## 2.2 Qual região apresenta maior número de ambientes estudados?

A Figura 1 compara a distribuição dos trabalhos sobre metano e gases de efeito estufa no Brasil. Para esta classificação, os artigos sobre hidrelétricas foram organizados à parte, pois alguns estudos abordam hidrelétricas localizadas em diferentes regiões do país. Segundo a classificação do IPCC (IPCC, 1995), a hidrelétrica é considerada área de mudança do uso do solo, não sendo um ambiente natural.

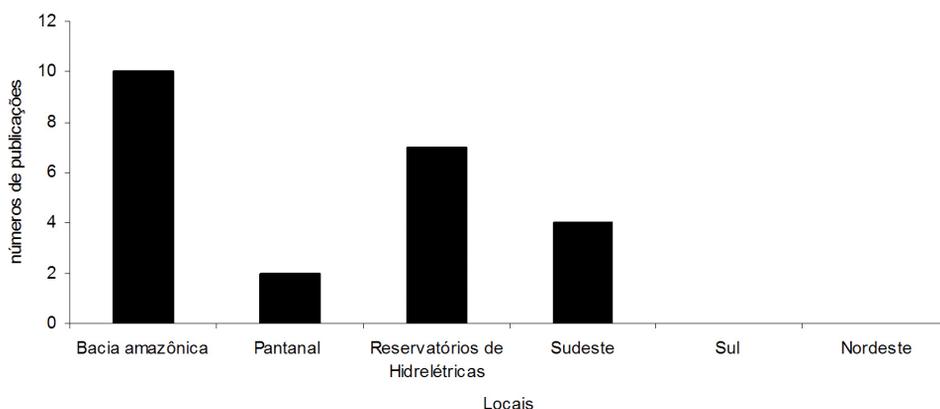


Figura 1: Distribuição por região brasileira dos trabalhos realizados sobre metano

A região amazônica apresentou o maior número de artigos, totalizando 10. Embora seja a região com maior número de trabalhos publicados, este número ainda é pequeno tendo em vista a área total da região, número de rios e alagados.

A região do pantanal apresenta dois trabalhos. Assim como observado na região amazônica, os estudos no pantanal ainda são raros a despeito de sua vastidão. A região do pantanal e da bacia amazônica apresentam grandes áreas que sofrem alagamentos sazonais, gerando decomposição anaeróbica e produção significativa de metano (HAMILTON *et al.*, 2002). Um dado importante é que nenhum dos trabalhos sobre o pantanal foi realizado por grupo de pesquisa localizado na região do pantanal (estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul).

Os trabalhos relacionados a hidroelétricas totalizam sete. No entanto, cada trabalho faz uma comparação entre hidroelétricas, estendendo o estudo a diversas áreas do território nacional. Muitos estudos sobre hidroelétricas constam em relatórios das agências reguladoras. Estes relatórios são importantes na geração do conhecimento científico, no entanto, tais trabalhos não passam por qualquer crivo editorial, não tendo sido utilizados nesta revisão.

Os demais quatro trabalhos são originários de ecossistemas localizados na região sudeste (Rio Mogi-Guaçu e lagoas costeiras). Não foram encontrados na base ISI, quaisquer trabalhos realizados em ecossistemas da região sul e nordeste do país.

### *2.3 Os estudos estão concentrados em poucos grupos de pesquisa?*

A resposta para esta pergunta está relacionada ao custo da pesquisa sobre gases de efeito estufa. Poucos centros de pesquisa apresentam os equipamentos necessários para determinar metano ou CO<sub>2</sub> que são o cromatógrafo a gás e TOTAL ORGANIC CARBON ANALYSER (TOC). Além disso, são necessários cuidados especiais no preparo da amostra, como no caso de sedimento que deve ser manuseado em atmosfera inerte.

A determinação deve ser feita a mais rápida possível, requerendo um transporte rápido do campo para o laboratório. Ballester e Santos (2001) descreveram que o tempo decorrido entre coleta e determinação foi de 12 horas. Considerando este tempo como o tempo ideal para a determinação dos gases, alguns trabalhos que foram realizados na Amazônia e a amostra foi levada para laboratório nos EUA (DEVOL *et al.*, 1988; RICEY *et al.*, 1988; DEVOL *et al.*, 1990) e outros realizados no Brasil por grupos de pesquisa do sudeste (LIMA, 2005; SANTOS *et al.*, 2006; BAMBACE *et al.*, 2007; MARINI; ALVALÁ, 2007) necessitam que a mostra fique fixada ou resfriada até a determinação. Nenhum destes trabalhos menciona o tempo entre a coleta e determinação para fazer uma comparação.

Este conjunto de fatores faz com que poucos grupos tenham disponíveis recursos logísticos e financeiros para realizarem os trabalhos, restringindo a pesquisa brasileira sobre um tema importante a alguns grupos de pesquisa. Dentre os grupos que realizaram trabalhos sobre o tema metano e gases de efeito estufa, temos o CENA-USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura), COPPE-UFRJ, Departamento de Ecologia da UFRJ, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA).

Como nenhum grupo está localizado na região do pantanal, este fato indica que os trabalhos realizados nesta região são de grupos que se deslocaram para o local, possivelmente não capacitando profissionais nesta região estratégica. Além disso, os grupos de pesquisa do sudeste formam parcerias para estudos na Amazônia, mas os ecossistemas naturais das regiões sul e nordeste ainda não foram estudados.

#### *2.4 Quais estudos foram realizados exclusivamente por grupo de pesquisa brasileiro?*

Para a classificação, foi usado o endereço de correspondência dos autores presentes nos artigos. Os pesquisadores lotados em centros de pesquisa localizado no Brasil foram classificados como autores nacionais. Os trabalhos realizados por autores lotados em centros de pesquisa estrangeiros, mas que apresentavam autores nacionais, foram classificados como trabalhos com participação de autores brasileiros. O número total é o somatório dos trabalhos realizados por autores brasileiros, trabalhos com participação de autores brasileiros e trabalhos realizados apenas por autores estrangeiros. A Figura 2 mostra o número cumulativo de artigos publicados no Brasil sobre o tema gases de efeito estufa.

O número total representa o somatório acumulado de artigos publicados até 2009 sobre o tema. Trabalhos com participação de grupos de pesquisa nacional representam a soma acumulada de trabalho que apresenta pesquisadores de grupos lotados no Brasil os quais participam como colaboradores dos trabalhos, como também trabalho de que pesquisadores nacionais são os únicos integrantes. E, por último, foi organizado o total acumulado de trabalhos realizados apenas por pesquisadores de centros de pesquisa nacional.

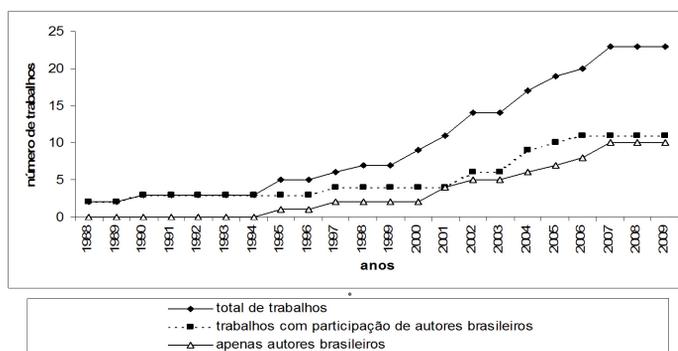


Figura 2: Número cumulativo de trabalhos publicados sobre gases de efeito estufa em ecossistemas brasileiros

Os primeiros trabalhos realizados no Brasil sobre o tema foram executados na região amazônica, por pesquisadores americanos tendo pesquisadores lotados em centros de pesquisa nacional como colaboradores (DEVOL *et al.*, 1988; RICHEY *et al.*, 1988). No trabalho de Devol *et al.* (1988), estimou-se que a emissão média  $390 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Embora os autores tenham sugerido que as macrófitas aquáticas seriam importantes no processo de emissão de metano, não foi realizado uma estimativa direta utilizando destes organismo, mas apenas registrou-se que as macrófitas aquáticas formam um microambiente favorável para a produção e emissão do metano. Este trabalho relata que o processo de ebulição do gás no sedimento para a atmosfera é mais importante que a difusão como fonte de emissão para a atmosfera, contribuindo com 85% do total. Utilizando estes dados, os autores extrapolaram a estimativa de emissão de metano para a atmosfera pela bacia do rio Amazonas de  $10 \text{ Tg. a}^{-1}$ , indicando a importância desta área para a emissão global de metano.

Até 1994, tinham sido realizados apenas três estudos apontando que os primeiros autores estão lotados em centros de pesquisa internacionais (School of oceanography, University of Washington), tendo a participação de integrantes de centros de pesquisa nacional (INPA e Centro de Energia Nuclear na Agricultura).

No período de 1990-1994, o Brasil, como um signatário da Convenção – quadro das nações unidas sobre mudanças do clima (CQNUMC), realizou o seu inventário de emissões antrópicas (BRASIL, 2004). A partir deste inventário, outros trabalhos foram realizados para estimar a concentração e emissão de gases de efeito estufa provenientes dos ecossistemas aquáticos brasileiros. No entanto, a contribuição de grupos de pesquisa brasileiros foi lenta. Até o ano 2000, do total de nove trabalhos publicados, 3 trabalhos tinham pesquisadores nacionais como colaboradores (DEVOL *et al.*, 1988; RICKEY *et al.*, 1988; DEVOL *et al.*, 1990) e apenas dois foram realizados por pesquisador de centro de pesquisa nacional, lotado no INPA (FEARNSIDE, 1995; 1997).

Do total dos 23 artigos publicados ao longo destes 21 anos, 11 contam com participação de pesquisadores lotados em centros de pesquisa nacional como

colaboradores. Estes dados sugerem certa dependência na realização de trabalhos científicos de profissionais de centro de pesquisa internacionais, especialmente no início dos estudos. Tais trabalhos contam com pesquisadores da University of Washington (EUA), Harvard University (EUA), University of Califórnia, Michigan State University (EUA), State University of New York (EUA), Leibniz-Institute of Freshwater Ecology na Inland Fisheries (Alemanha), Woods Hole Research center (USA).

Os trabalhos que foram integralmente realizados por grupos de pesquisa exclusivamente brasileiros foram: Fearnside, 1995; Fearnside, 1997; Fearnside, 2001; Ballester e Santos, 2001; Fearnside, 2002; Fosenca *et al.*, 2004; Lima, 2005; Santos *et al.*, 2006; Marani e Alvalá, 2007; Bambace *et al.*, 2007, totalizando apenas 10 trabalhos. Isto representa menos da metade do número total de trabalhos realizados que constam nesta revisão.

Com o estabelecimento e fortalecimento de novos grupos de pesquisa, dada a relevância mundial do tema, espera-se que ocorra tendência de aumento no número de trabalhos e que estes sejam realizados por grupos formados por pesquisadores lotados em centros de pesquisa nacionais. Desta forma, além de gerar conhecimento científico, estes profissionais estarão envolvidos também nos cursos de pós-graduação formando novos profissionais. Atualmente existem cursos de pós-graduação em ecologia em todas as regiões do país, formando uma estrutura favorável ao avanço da pesquisa nesta área.

## *2.5 Qual a relevância dos estudos?*

Para responder esta pergunta foi utilizada a seguinte metodologia: observar o fator de impacto do periódico através do índice JCR-2007 (*Journal Citation Reports*), disponível no portal Periódico Capes e verificar o número de citações de cada artigo utilizando o site Google Acadêmico. Para padronizar o número de citações, este foi dividido pelo tempo que o artigo encontra-se disponível, resultando em número de citações por ano.

### ***Lista de periódicos e fator de impacto:***

Na Tabela 1, estão listadas as revistas nos quais foram publicados os artigos sobre metano em ecossistemas aquáticos brasileiros e o respectivo fator de impacto.

Os resultados desta busca mostram que os trabalhos realizados no Brasil sobre o tema gases de efeito estufa em ambientes aquáticos apresentam uma boa aceitação na comunidade científica, sendo publicados em periódicos com elevado fator de impacto.

Os periódicos que apresentam mais artigos publicados são o *Global Change Biology* (2 artigos), *Limnology and Oceanography* (2 artigos), *Biogeochemistry* (3 artigos) e *International Journal of Remote Sensing* (2 artigos). Os dois primeiros

periódicos possuem os maiores fatores de impacto. Esta análise mostra que os trabalhos foram executados com rigoroso conteúdo científico e foram aceitos por periódicos bem conceituados, demonstrando a relevância das pesquisas realizadas no Brasil.

Tabela 1

Lista das revistas das publicações com o tema metano e o respectivo fator de impacto

Periódico	Fator de impacto JCR
Atmospheric environment	2,549
Biogeochemistry	2,534
Brazilian Archives of Biology and Technology	0,349
Chemosphere	2,739
Energy	1,172
Energy Policy	1,901
Environmental Conservation	1,143
Environmental Management	1,240
Geophysical Research Letter	2,744
Global Change Biology	4,786
International Journal of Remote Sensing	0,987
Journal of Geophysical Research	2,953
Limnology and Oceanography	3,277
Lakes and Reservoirs: Research and Management	1,041
Water, Air and soil Pollution	1,224

### *Número de citações por ano:*

A lista de trabalhos publicados e o número de citações por ano são apresentados na tabela 2. Esta tabela evidencia a qualidade das publicações e o interesse da comunidade científica em utilizar o conhecimento gerado sobre ecossistemas brasileiros em comparações com outros estudos.

A tabela 2 mostra que os trabalhos realizados na região amazônica são os que apresentam maior interesse para comparações em outros estudos. Somente dois trabalhos sobre a bacia amazônica apresentaram valor médio de citações por ano menor que 3,8 evidenciando o interesse sobre estudos na Amazônia.

As revistas que publicaram artigos sobre o pantanal apresentam índice de impacto que avaliam sua boa conceituação. O menor índice de citações dos trabalhos sobre este ambiente (menor que 3,8 por ano) demonstra menor interesse sobre esta importante área alagada brasileira, a maior área alagada da América do Sul (NOLTE *et al.*, 1997; HAMILTON *et al.*, 2002).

O trabalho de Fearnside (1995) é o que apresenta maior número médio de citações por ano e o maior valor absoluto de citações. Este trabalho foi o primeiro a destacar a importância da emissão de metano por hidrelétricas de grande porte, no âmbito global, servindo de referência para vários outros trabalhos.

**Tabela 2**  
**Lista de trabalhos, autores e o número de citações por ano**

	Periódico	Região estudada	Ano de publicação	Total de citações	Citações por ano
Abe <i>et al.</i>	Lakes And Reservoirs: Research and Management	Sudeste Reservatório Lobo-Broa- SP.	2005	3	0,75
Bambace <i>et al.</i>	Energy	Hidrelétricas	2007	4	2
Ballester e Santos	Oecologia Brasiliensis	Sudeste – rio Mogi-Graçu e lagoas marginais	2001	1	0,125
Davidson e Artaxo	Global Change Biology	Bacia Amazonica	2004	12	2,4
Devol <i>et al.</i>	Limnology and Oceanography	Bacia Amazonica	1988	53	2,5
Devol <i>et al.</i>	Journal of Geophysical Research	Bacia Amazônica	1990	39	2,05
Engle e Melack	Biogeochemistry	Bacia Amazônica	2000	8	0,88
Fearnside, P.M.	Environmental Conservation	Hidrelétrica da região amazônica	1995	99	7,07
Fearnside, P.M.	Environmental Conservation	Hidrelétrica	1997	56	4,67
Fearnside, P.M.	Environmental Management	Bacia Amazônica	2001	39	4,87
Fearnside, P.M.	Water, Air And Soil Pollutions	Hidrelétrica	2002	56	8
Fonseca <i>et al.</i>	Brazilian Archives of Biology and Technology	Lagoa costeira - Sudeste	2004	Sem citações	-
Furtado <i>et al.</i>	Brazilian Archives of Biology and Technology	Lagoa Costeira- Sudeste	2002	6	0,85
Hamilton <i>et al.</i>	Biogeochemistry	Pantanal	1995	51	3,64
Lima, I.B.T	Chemosphere	Hidrelétrica	2005	10	2,5
Kenneses, <i>et al.</i>	Geophysical Research Letter	Hidrelétrica	2007	5	2,5
Koschorreck, M	Biogeochemistry	Bacia Amazônica	2000	1	0,125
Marani e Alvala.	Atmospher Environment	Pantanal	2007	3	1,5
Melack <i>et al.</i>	Global Change Biology	Bacia amazônica	2004	32	6,4
Rosenqvist <i>et al.</i>	International Journal of Remote Sensing	Bacia Amazônica	2002	27	3,86
Richey <i>et al.</i>	Limnology and Oceanography	Bacia Amazônica	1988	53	2,52
Santos <i>et al.</i>	Energy Policy	Reservatórios de hidroelétricas	2006	14	4,6
Sippel <i>et al.</i>	International Journal of Remote Sensing	Bacia amazônica	1998	60	5,45

## 2.6 As hidrelétricas produzem realmente uma energia limpa?

A matriz energética brasileira é composta por 45% de fontes renováveis de energia (BEN, 2006). No setor de produção de energia elétrica, as hidrelétricas correspondem a 95 % do total produzido no país.

Durante muito tempo, a energia proveniente de hidrelétricas foi considerada como uma fonte de “energia limpa”. No entanto, do ponto de vista ambiental, não podem ser consideradas uma ótima solução ecológica. A construção dos reservatórios interferem drasticamente no meio ambiente, provocam inundações em imensas áreas de matas, interferem no fluxo de rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna, e interferem na ocupação humana. Quando não é realizado o corte da vegetação, a inundação das florestas faz com que a vegetação encoberta entre em decomposição, alterando a biodiversidade e provocando a liberação de metano, um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e pela rarefação da camada de ozônio (FEARNSIDE, 1995; LIMA, 2005).

O Brasil, como um signatário da Convenção – quadro das nações unidas sobre mudanças do clima (CQNUMC), tem como uma das obrigações realizar e atualizar levantamento sobre as emissões antrópicas de gases de efeito estufa. De forma a sistematizar estudos relacionados às emissões de gases de efeito estufa de atividades antrópicas no país, o Ministério da Ciência e Tecnologia coordenou alguns estudos temáticos de caráter inovador no tocante à metodologia de inventários.

Até 1994, quando foi iniciado o estudo para a realização do inventário, havia apenas o registro científico da emissão de gases *in loco* proveniente de um estudo realizado pela COPPE/UFRJ para a Eletrobrás, em 1992-1993, nos reservatórios Samuel, Tucuruí e Balbina (ANAEL, 2000). Em função do reduzido tempo, poucos recursos, poucos reservatórios incluídos (Miranda, Três Marias, Barra Bonita, segredo, Xingó Samuel, Tucuruí, Serra da Mesa, Itaipu) e métodos inadequados de coleta de dados, os dados não foram suficientes para gerar uma estimativa da emissão de gases proveniente das hidrelétricas (BRASIL, 2004).

Em geral, após a inundação, o reservatório sofre uma severa alteração quando são definidas novas barreiras biogeoquímicas e seleção da biota anterior ao enchimento do reservatório (TUNDISI, 1986). A prática comum de promover a inundação sem a retirada da vegetação favoreceu a liberação de gases provenientes da degradação da matéria orgânica por longo tempo. Fearnside (1995) assumiu que o tempo de decaimento de biomassa de folhas, serapilheira e madeira variou de acordo com a disponibilidade de oxigênio: A madeira submersa em água aerada leva cerca de 50 anos; folhas e litter, cerca de 10 anos para decomposição do material. Porém em regiões anaeróbicas, a madeira pode permanecer por 500 anos; e a biomassa de serapilheira abaixo do sedimento, até 50 anos. Durante este tempo, ocorreria o processo de decomposição e liberação de gases de efeito estufa, especialmente metano e dióxido de carbono.

Após a inundação, o solo rico em matéria orgânica lábil e nutrientes sofre um rápido processo de decomposição, liberando grandes quantidades de CH<sub>4</sub> (ROSA; SCHAEFFER, 1996; GALY-LACAUX *et al.*, 1997; LIMA, 2005). Passada a fase inicial, ocorre a estabilização do ecossistema, com empobrecimento da coluna d'água, redução na velocidade de decaimento e menores emissões (FEARNSIDE, 2001).

Santos *et al.*, (2006) comparou a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> proveniente de reservatórios de hidrelétricas e de termelétricas. Os autores chegaram à conclusão que, em complexos hidrelétricos, não há um padrão. Algumas como Itaipu, Xingó e Segredo emitem muito menos que termelétricas. Além dos problemas ambientais, alguns problemas sociais são gerados devido à desapropriação de terras da população ao redor (FEARNSIDE, 1999).

Embora as hidrelétricas sejam mais limpas que as termelétricas, ocorre uma emissão considerável de metano. Fearnside (2002) mostrou que grandes volumes de metano podem ser liberados da água através das turbinas. A emissão de gases de efeito estufa em 1990 foi estimada entre 7,0-10,1 x10<sup>6</sup> ton de CO<sub>2</sub>-Carbono-Equivalente quantidade substancialmente maior que a liberada na cidade de São Paulo por combustíveis fósseis.

Os estudos sobre este tema ainda estão concentrados em hidrelétricas da região amazônica. Atualmente o crescimento da instalação de pequenas centrais hidrelétricas pode representar um problema na liberação de gases de efeito estufa. Estas centrais apresentam pequena produção energética e conseqüentemente, uma relação entre a geração de energia e liberação de gases de efeito estufa elevado. Atualmente o Brasil apresenta um total de 79 hidrelétricas instaladas e os estudos sobre liberação de gases de efeito estufa vêm sendo realizados em 10 instalações apenas.

## ***Conclusão***

Os estudos sobre emissão e concentração de gases de efeito estufa ainda são insipientes no Brasil. Embora maior número de trabalhos esteja na bacia amazônica, dado sua grande extensão e presença de ambientes aquáticos, os dados disponíveis não são suficientes para estimar a emissão de metano na região amazônica como um todo.

Há uma tendência de maior realização de estudos limnológicos e ecológicos primeiramente nos ecossistemas amazônicos, estendendo-se posteriormente para os ecossistemas de outras regiões do país. Isto se deve ao interesse internacional pela Amazônia, refletindo-se na presença de pesquisadores de outros países naquela região. No entanto, os principais centros de pesquisa estão lotados no sul e sudeste. Desta forma, espera-se que os estudos futuros possam abranger uma maior variedade de ecossistemas, cobrindo lacunas importantes não somente na região amazônica, mas também nas demais regiões.

De toda forma, os estudos atuais são insuficientes para avaliar a contribuição dos ecossistemas aquáticos brasileiros na emissão global de gases de efeito estufa.

## **Referências**

- ABE, D. S. *et al.* Sediment greenhouse gases (methane and carbon dioxide) in the Lobo-Broa Reservoir, São Paulo State, Brazil: Concentrations and diffuse emission fluxes for carbon budget considerations. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, v. 10, n. 4, p. 201 – 209, 2005.
- BALLESTER, M. V. R.; SANTOS, J. E. Biogenic gases in tropical floodplain river. *Brazilian Archives of Biol. Technol.*, v. 44, n. 2, p. 141-147, 2001.
- BAMBACE, L. A.W. *et al.* Mitigation and recovery of methane emissions from tropical hydroelectric dams. *Energy*, v. 32, n. 6, p. 1038-1046, 2007.
- BARLETT K. B.; HARRISS R. C. Review and assessment of methane emissions from wetlands. *Chemosphere*, v. 26, n. 1-4, p. 261-320, 1993.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia, 2006. *Balanço Energético Nacional - BEN 2005*. Brasília 2006.
- BRASIL, Ministério de Ciência e Tecnologia. *Brazil's initial national communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Brasília, DF: Ministério de Ciência e Tecnologia, 2004.
- CARMOUZE JP. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Editora Edgard Blucher: FAPESP, 1994.
- DAVISON, E. A.; ARTAXO, P. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere–Atmosphere Experiment. *Global Change Biology*, v. 10, n. 5, p. 519-529, 2004.
- DEVOL, A. H., J. E. *et al.* Methane Emissions to the Troposphere From the Amazon Floodplain. *J. Geophys. Res.*, v. 93, n. D2, p. 583–1592, 1988.
- DEVOL, A. H. *et al.* Seasonal Dynamics in methane emissions from the amazon river floodplain to the troposphere. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, n. D10, p.16417-16426, 1990.
- ENGLE, D.; MELACK, J. M. Methane emissions form an Amazon floodplain lake: enhanced release during episodic mixing and during falling water. *Biogeochemistry*, v. 51, n. p. 71-90, 2000.
- FEARNSIDE, P. M. Social Impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management*, v. 24, n. 4, p. 485-495, 1999.
- \_\_\_\_\_. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation*, v. 22, n.1, p. 7-19, 1995.

\_\_\_\_\_. Green house gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí (Dam) and the energy policy implications. *Water, Air, Soil, Pollutions*, v. 133, p.69-96, 2002.

\_\_\_\_\_. Environmental Impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned Lessons for Hydroelectric Development in Amazonia. *Environ. Manage*, v. 27, n. 3, p. 377-396, 2001.

FENCHEL T, KING GM, BLACKBURN TH. *Bacterial Biogeochemistry: The Ecophysiology of Mineral Cycling*. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1998. 307p.

FONSECA, A. L. S. *et al.* Methane concentration in water column and in pore water of a coastal lagoon (Cabiúnas lagoon, Macaé, RJ, Brazil). *Brazilian Archives of Biol. Technol.*, v. 47, n.2, p. 301-308, 2004.

FURTADO, A. L. S., CASPER, P. ESTEVES, F. A. Methanogenesis in an impacted an two dystrophic coastal lagoons ( Macaé, Brazil). *Brazilian Archives of Biol. Technol.*, v. 45, n. 2, p. 195-202, 2002.

HAMILTON, S. K., SIPPEL, S. J., MELACK, J. M. Comparison of inundation patterns among major South America floodplains. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, n. 0, p. 1-14, 2002.

LIMA, I. B. T. Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroservoirs. *Chemosphere*, v. 59, p.1697-1702, 2005.

NOLTE U.; DE OLIVEIRA M. J.; STUR E. Seasonal, discharge-driven patterns of mayfly assemblages in an intermittent Neotropical stream. *Freshwater Biology*, v. 37, n. 2, p. 333-343, 1997.

KHALIL, M. A. K.; SHEARER, M. J. Sources of methane:an Overview. *In: KHALIL, M.A.K (ed). Atmospheric methane sources, sinks and role in global chance*. v. 13. Berlin: Nato ASI Series, Springer, 1993. p. 180-198

KOSCHORRECK, M. Methane turnover in exposed sediment of an Amazon Floodplain lake. *Biogeochemistry*, v. 50, n. 2, p. 195-206, 2000.

MARANI, L., ALVALÁ, P.C. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. *Atmospheric environment*, v. 41, n. 8, p. 1627-1633, 2007.

MELACK, J. M. *et al.* Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing . *Global Change Biology*, v. 10, n. 4, p.530-544, 2004.

RICKEY, J. E. *et al.* Biogenic and the oxidantion and reduction of carbon in Amazon River and Floodplains waters. *Limnol. Oceanogr.*, v. 33, n. 4, p. 551-561, 1998.

ROSENQVIST, A. *et al.* The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon Floodplain. *Int. J. Remote Sensing*, v. 23, n. 7 p. 1303-1328, 2002.

SANTOS, M. A. *et al.* O. Gross greenhouse gas fluxes from hydropower reservoir compared to themopower plants. *Energy policy*, v. 34, n. 4, p. 481-488, 2006.

SIPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELACK, J. M. Passive microwave observations of inundation area and the area/stage relation in the Amazon River Floodplain. *Int. J. Remote Sensing*, v.19, n. 16, p. 3055- 3074, 1998.

*Artigo recebido em: 30 de mai. 2009*

*Aceito em: 2 de out. 2009*