

**The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.**

Please cite as:

Favor citar como:

Fearnside, P.M. 2015. Emissões das hidrelétricas tropicais e o IPCC. pp. 239-258. In: P.M. Fearnside (ed.) *Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras*. Vol. 2. Editora do INPA, Manaus. 297 pp.

[tradução de: Fearnside, P.M. 2015. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy* 50: 225-239. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.002]

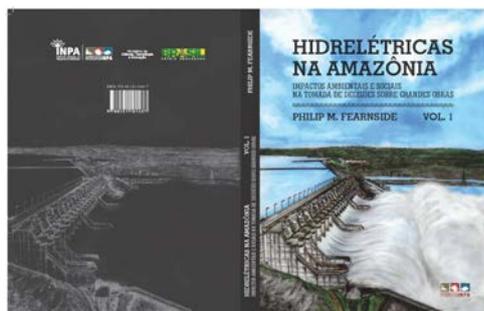
ISBN print: 978-85-211-0144-4 online: 978-85-211-0150-5

Copyright: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA

The original publication is available from:

A publicação original está disponível de:

<http://livrariadoinpa.nuvemshop.com.br/> ou envie e-mail para: editora.vendas@gmail.com; editora@inpa.gov.br. Telefones: (92) 3643-3223, 3643-3438.



Download grátis em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro%20Hidrelétricas%20V.2.pdf

Capítulo 34

Emissões de hidrelétricas tropicais e o IPCC

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)
Av. André Araújo, 2936 - CEP: 69.067-375, Manaus, Amazonas, Brasil.
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2015. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy* 50: 225-239. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.002

RESUMO

As emissões de hidrelétricas tropicais são subestimadas em inventários nacionais de gases de efeito estufa no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), dando-lhes um papel em minar a eficácia de limites, ainda não decididos, sobre emissões. As emissões de hidrelétricas tropicais são também em grande parte, deixadas fora do Relatório Especial sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação das Mudanças Climáticas, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), e foram excluídas de uma revisão das orientações do IPCC sobre zonas úmidas. O papel das hidrelétricas em inventários de emissões e na mitigação tem sido sistematicamente ignorado.

Palavras-chave: Amazônia; aquecimento global; emissões de gases de efeito estufa; hidrelétricas; metano; mitigação

EMISSIONES DE BARRAGENS TROPICAIS

Barragens da Amazônia produzem gases de efeito estufa, especialmente durante seus primeiros dez anos de operação (e.g., Abril et al., 2005; Delmas et al., 2005; Fearnside, 2002a, 2005a, 2008a, 2009, 2013; Fearnside & Pueyo, 2012; Galy-Lacaux et al., 1997, 1999; Guerin et al., 2006; Gunkel, 2009; Kemenes et al., 2007, 2008, 2011; Pueyo & Fearnside, 2011). Os números publicados para emissões de hidrelétricas variam muito, mas a maior parte desta variação pode ser explicada por diferenças conhecidas entre as barragens em questão, por omissões conhecidas e por problemas na metodologia de medição, particularmente para os valores baixos. A existência de incerteza tem sido usada repetidamente como justificativa para não levar as emissões de hidrelétricas em conta. Entre os exemplos desta prática é o atual conjunto de diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) para os inventários nacionais, que optou por não fornecer valores padrão (*default*) para as grandes fontes de emissões de hidrelétricas através de desgaseificação nas turbinas, de ebulição (bolhas) da superfície do reservatório e de ebulição e difusão no rio a jusante da barragem (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3).

BARRAGENS NOS RELATÓRIOS E DIRETRIZES DO IPCC

Relatório especial sobre energias renováveis

O Relatório Especial do IPCC sobre Fontes Renováveis de Energia e a Mitigação da Mudança Climática (IPCC, 2012) resumiu as suas conclusões sobre as emissões de hidrelétricas assim: “atualmente não há consenso sobre se os reservatórios são emissores líquidos ou sumidouros líquidos” (Arvizu et al., 2012, p. 84). O relatório classificou as hidrelétricas como tendo metade ou menos impacto por kWh de eletricidade gerada em comparação a qualquer outra fonte, incluindo eólica e solar (Moomaw et al., 2012, p. 982) (Figura 1). Um fator que pode, em parte, explicar a conclusão do relatório que as hidrelétricas têm emissões muito baixas é a preponderância de locais temperados e boreais entre as barragens existentes. Embora o quadro-resumo indique que três valores foram usados de barragens tropicais, nenhuma das 11 fontes utilizadas no estudo de todas as zonas climáticas (Moomaw et al., 2012, p. 986) parece dizer respeito a represas tropicais (Tabela 1). Apenas uma fonte listada diz respeito ao Brasil (Ribeiro & da Silva, 2010). Esta é uma análise de ciclo de vida da hidrelétrica de Itaipu, que está localizada na fronteira entre Brasil e Paraguai (Figura 2) e não é uma represa tropical. As estimativas de gases de efeito estufa usadas no estudo de Itaipu são os números oficiais que omitem a emissão a partir das turbinas e que subestimam as emissões de superfície do reservatório por um fator de três devido a erros matemáticos (Pueyo & Fearnside, 2011; ver também Fearnside & Pueyo, 2012). Apenas quatro das 11 fontes utilizadas no relatório especial do IPCC são de literatura publicada com avaliação pelos pares (Tabela 1).

A literatura utilizada no relatório especial então é reduzida porque o processo de seleção que foi adotado restringe a consideração para barragens onde as emissões havia sido reportadas de forma “facilmente conversível para a unidade funcional escolhida para este estudo: gramas de CO₂e por kWh gerado” (Moomaw et al., 2012, p. 981) (ver também crítica por CO2list, 2011, que também lista numerosas omissões nos poucos estudos que foram usados nas estimativas globais do relatório especial). “CO₂e”, ou “equivalentes de dióxido de carbono”, expressa os impactos sobre o aquecimento global de todos os gases, incluindo o metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), em termos dos pesos de CO₂ que teriam o mesmo efeito, com base

Tabela 1. Trabalhos sobre emissões de hidrelétricas usados no relatório especial do IPCC

Nº Referência	Locais das barragens	Nomes das barragens	Emissões incluídas									Total g de CO ₂ e/kWh	Notas		
			Energia e materiais de construção	Perda de carbono da vegetação & solo	Energia e materiais de operação	Superfície do reservatório	Desgaseificação em turbinas e vertedouros	Rio a jusante	Energia e materiais de remoção no fim da vida útil	Liberção de carbono dos sedimentos após o fim da vida útil					
1	Barnthouse et al., 1994	E.U.A.: Estado de Washington	Rocky Creek, Diobsud Creek, Boulder Creek, Jordan Creek, Irene Creek, Jackman Creek	x		x								8,7	(a)
2	Denholm & Kulcinski, 2004	E.U.A.: South Carolina, California, Virginia, Missouri, Colorado, Georgia, Tennessee	Bad Creek, Balsam Meadow, Clarence, Fairfield, Helms, Mt. Elbert, Raccoon Mtn., Rocky Mtn.	x		x								5,6	(b)
3	Dones et al., 2005	Suíça	Dados sobre materiais e energia de “mais de 50 usinas hidrelétricas de reservatório na Suíça”	x	x	x	x					x		3,77	(c)
4	Dones et al., 2007	Suíça	Dados sobre materiais e energia de “mais de 50 usinas hidrelétricas de reservatório na Suíça”	x	x	x	x					x		3,77	(d)
5	Horvath, 2005	U.S.A.: Arizona	Glen Canyon		x								x	35	(e)
6	IEA, 1998	No data on specific dams.													
7	Pacca, 2007	E.U.A.: Arizona, Nevada, North Dakota, South Dakota, Montana	Hoover, Glen Canyon, Garrison, Oahe, Fort Peck, Fort Randall										x	35-380	(f)
8	Rhodes et al., 2000	E.U.A.: Estado de Washington	Chelan	x		x								1,592	(g)
9	Ribeiro & da Silva, 2010	Brasil/Paraguai	Itaipu	x		x	x							4,86	(h)
10	Vattenfall, 2008	Suécia	Seitevare, Harsprånget, Porsi, Boden, Juktan, Umluspen, Stornorrfor, Stalon, Bergforsen, Älvkarleby, Olidan, Hojum, Pamilo, Upperud	x	x	x								4,5	(i)
11	Zhang et al., 2007	China	Baseado em relatórios “nominalmente confidenciais” sobre dois projetos, denominados “A” e “B”.	x		x								25,05	(j)

(a) Projetos são para adição de canais de diversão a pequenas barragens planejadas (emissões de construção de barragem não são incluídas).

(b) Barragens de armazenamento de hidro bombeado (PHS). As emissões dos gases individuais e valores de GWP utilizados para as conversões não são apresentados.

(c) Versão anterior das estimativas em Dones *et al.*, 2007.

(d) Emissões de reservatório “presumidas para condições gerais alpinas” estimadas “utilizando informações limitadas disponíveis sobre lagos naturais suíços” (Dones *et al.*, 2007, p. 10). Emissões para barragens suíças de armazenamento são 4,0 gCO₂e/kWh (54% da produção total de energia hidrelétrica) e 3,5 gCO₂e/kWh para usinas a fio d’água (46%). A publicação extrapola a partir de barragens suíças para estimar as emissões para usinas de reservatório em regiões alpinas no resto da Europa (4,5 g CO₂e/kWh), áreas não-alpinas europeias (10,0 g CO₂e/kWh) e Finlândia (34,0 gCO₂e/kWh) e para usinas a fio d’água no resto da Europa (3,5 g CO₂e/kWh). Valores de GWP são para 100 anos do terceiro relatório de avaliação do IPCC.

(e) Este documento de trabalho não avaliado por pares parece conter erros matemáticos na conversão de CH₄ em CO₂e; o GWP usado não é apresentado, embora seja descrito como sendo um GWP de 20 anos, mas os cálculos não são reproduzíveis com quaisquer valores do IPCC.

(f) Usa GWPs de 100 anos do terceiro relatório de avaliação do IPCC.

(g) Usa GWPs de 100 anos do primeiro relatório de avaliação do IPCC.

(h) Baseado em 100 anos de vida, a construção + operação liberam 0,132 g CH₄ e 1,56 g CO₂/kWh, totalizando 4,9 g CO₂e/kWh, se calculado usando GWPs de 100 anos do quarto relatório de avaliação do IPCC.

(i) A versão de 2011 do relatório (não usada pelo IPCC) eleva esta estimativa para 8,6 g CO₂e/kWh.

(j) O projeto “A” = 44 g CO₂e/kWh; Projeto “B” = 6,1 g CO₂e/kWh.

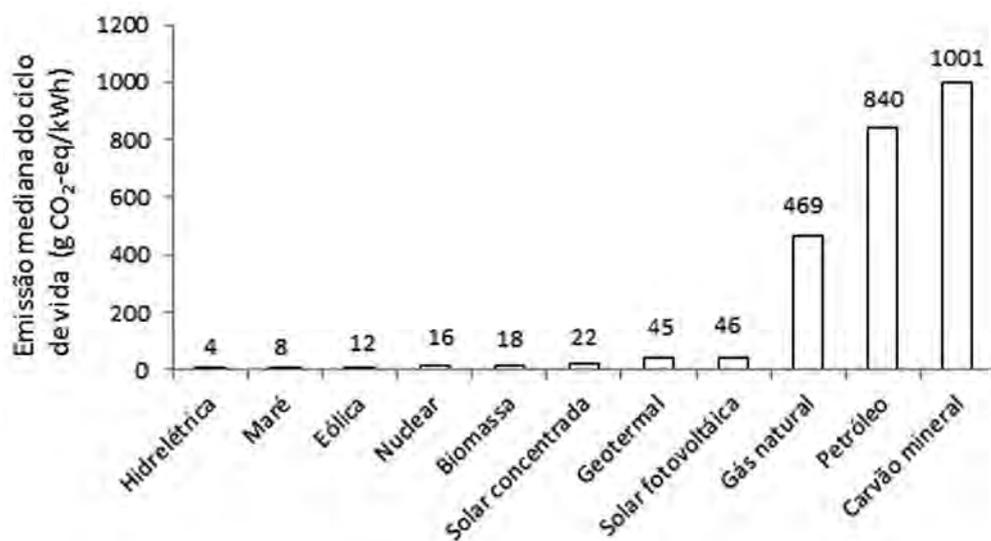


Figura 1. Emissões medianas de ciclo de vida de diferentes fontes de eletricidade, de acordo com o Relatório Especial do IPCC sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação da Mudança Climática (dados para o percentil 50% de Moomaw et al., 2012, p. 982).

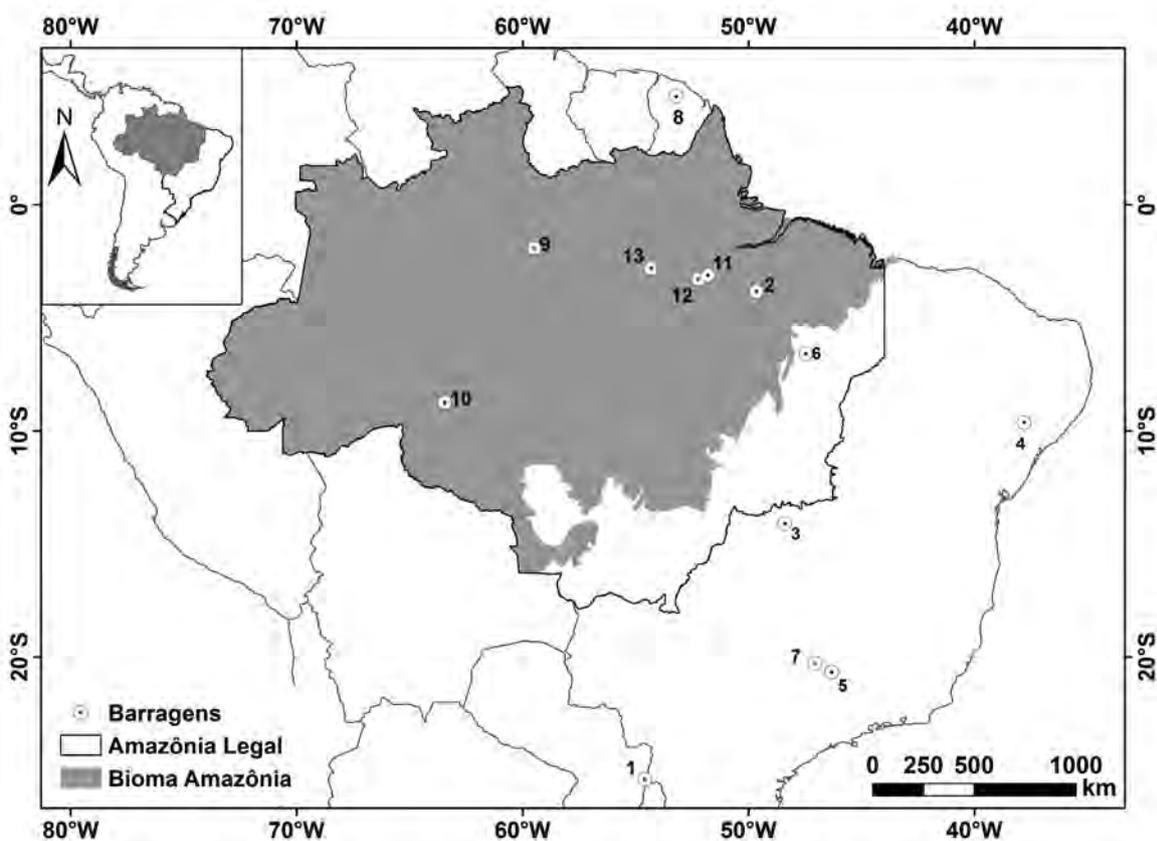


Figura 2. Barragens sul-americanas mencionadas no texto: 1 = Itaipu, 2 = Tucuruí, 3 = Serra da Mesa, 4 = Xingó, 5 = Furnas, 6 = Estreito, 7 = Peixoto, 8 = Petit Saut, 9 = Balbina, 10 = Samuel, 11 = Belo Monte, 12 = Babaquara/Altamira, 13 = Curuá-Una. “Amazônia Legal” e “Bioma Amazônia” do Brasil também são mostrados.

no potencial de aquecimento global (GWP) de cada gás (veja Seção 3.6).

Uma fonte de emissões explicitamente excluída pelos autores do IPCC foi a mudança do uso da terra (Moomaw et al., 2012, p. 981), mas barragens em áreas de floresta tropical, muitas vezes, provocam desmatamento com emissões significativas (e.g., Barreto et al., 2011). Os resultados também tiveram que se encaixar em uma análise de ciclo de vida, e para estes foram usados o relatório especial “da forma publicada”, sem qualquer avaliação de precisão ou padronização, para os estudos que passaram pelos critérios de seleção (Moomaw et al., 2012, p. 980). A maioria dos 11 estudos de hidrelétricas presumiu uma vida útil de 100 anos, um fator que pesa a favor da energia hidrelétrica em cálculos como estes sem nenhum desconto por tempo (ver Seção 3.7). Observe que as análises de ciclo de vida são, muitas vezes, incompletas, com fontes de emissões diferentes sendo omitidas em estudos individuais (Tabela 1). Para inclusão no relatório, os estudos tiveram que incluir pelo menos duas fases do ciclo de vida, mas poderiam omitir outras fases sem quaisquer ajustes para estas omissões (Moomaw et al., 2012, p. 980). Uma fase frequentemente omitida é a desativação de uma barragem no fim da sua vida útil. Justificativas para isso revelam a natureza seletiva das escolhas sobre o valor do tempo: a escolha virtualmente universal da indústria hidrelétrica é de não dar nenhum valor ao tempo, considerando a emissão de uma tonelada de carbono no primeiro ano, por exemplo, ter o mesmo valor que uma tonelada emitida um século no futuro (ver Seção 3.7). Mas, no caso de desmantelamento de uma barragem no final da vida o argumento oposto é usado: por exemplo, o estudo realizado por Denholm & Kulcinski (2004, p. 2158) usado no relatório especial do IPCC afirma que “embora não considerado na presente avaliação, a energia e as emissões relacionadas ao desmantelamento podem potencialmente ser descontadas devido a seus impactos em uma data futura”.

Embora o relatório especial seja dominado por represas não tropicais, a atual expansão de hidrelétricas concentra-se em regiões tropicais como a Amazônia, onde barragens emitem quantidades muito maiores de gases de efeito estufa do que em locais temperados e boreais. Exceções importantes para os trópicos como o local do atual *boom* de construção de barragens são: a China e locais de alta altitude nos Himalaias e Andes. As barragens nos trópicos úmidos dominam no Brasil, onde o Plano

Decenal de Expansão de Energia do país para 2013–2022 prevê 18 “grandes” barragens até 2022 na região da Amazônia Legal (Brasil, MME, 2013). No Brasil, “grandes” barragens são aquelas com mais de 30 MW de potência instalada.

Barragens tropicais, especialmente aquelas nos trópicos úmidos, emitem substancialmente mais gases de efeito estufa do que aquelas em outras zonas climáticas (ver extensa revisão por Barros et al., 2011). Isto se reflete nos estudos de ciclo de vida: uma revisão por Steinhurst et al. (2012) conclui que barragens tropicais emitem 1.300–3.000 g CO₂e/kWh contra 160–250 g CO₂e/kWh para barragens boreais, com termelétricas, utilizando gás natural, petróleo e carvão emitindo 400–500, 790–900 e 900–1.200 g CO₂e/kWh, respectivamente.

Como ilustração, as emissões podem ser calculadas para a barragem de Petit Saut, na Guiana Francesa, que é a barragem tropical mais bem estudada para emissões de gases de efeito estufa. Um cálculo de 20 anos está apresentado na Tabela 2, incluindo uma comparação com a produção da mesma quantidade de eletricidade a partir de uma usina de ciclo combinado a gás natural. O período de 20 anos é o período de tempo relevante para manter a temperatura média global, dentro do limite de 2° C acima da média pré-industrial (ver Seção 3.7). A comparação indica 22 vezes mais emissões (g CO₂e/kWh) da barragem em comparação com o gás natural, com base em um GWP de 20 anos para a conversão de metano em CO₂e (ver Seção 3.6). Mesmo se for usado o GWP de 100 anos, a represa tem 19 vezes mais emissões nos primeiros 20 anos.

Dois componentes de impacto líquido da hidrelétrica de Petit Saut são omitidos no cálculo na tabela 2: a perda das emissões do solo sob a floresta natural que é inundada e o acréscimo da emissão do solo na zona de deplecionamento. Petit Saut tem uma zona de deplecionamento de 100 km² (Abril et al., 2005, p. 4), ou 18% da área de 560 km² de floresta original que foi inundada. A zona de deplecionamento é exposta a cada ano, quando o nível de água no reservatório é abaixado e o solo encharcado pode ser esperada emissão de metano durante parte do ano. Em contraste, solos bem drenados sob florestas tropicais úmidas são geralmente sumidouros de metano em vez de fontes: 22 estudos revisados por Potter et al. (1996) indicam uma absorção média de 3,8 kg CH₄/ha/ano). Alguma formação de poças ocorre durante a estação chuvosa em florestas tropicais de

Tabela 2. Emissões estimadas ao longo de 20 anos para a barragem de Petit Saut, na Guiana Francesa, e comparação com a geração a partir de gás natural.

	CO ₂		N ₂ O	CH ₄		N ₂ O		Total de CO ₂ e		Emissões em 20 anos /kWh (b)	
	(Gg CO ₂)	(Gg CH ₄)		(Gg N ₂ O)	GWP 20 anos (a)	GWP 100 anos (a)	GWP 20 anos (a)	GWP100 anos (a)	N ₂ O + CO ₂ + CH ₄		GWP 20 anos (a)
			(Gg CO ₂ e)						(Gg CO ₂ e)	(Gg CO ₂ e)	
Barragem de Petit Saut											
Construção (c)								277	277	36	36
Reservatório, degaseificação & a jusante (d)	9,675	693	9	59,598	23,562	2,506	2,515	69,273	33,237	9,112	4,372
Decomposição das árvores mortas acima da água (e)	9,814	220		18,92	7,48			28,734	17,294	3,78	2,275
Total	19,489	913	9	78,518	31,042	2,506	2,515	98,285	50,809	12,928	6,683
Gás natural de ciclo combinado											
Construção (c)	6							6	6	0,8	0,8
Operação (combustão de combustível) (g)	1.535,40	0,03	0,003	2,6	1	0,8	0,8	1.538,70	1.537,20	202,4	202,2
Produção de gás (h)		2,14		184	72,7			184	72,7	24,2	9,6
Processamento de gás, transporte e distribuição (i)					120,7			305,2	120,7	40,1	15,9
Emissões fugitivas (vazamento de CH ₄) (j)		27,67		2.379,90	940,9			2.379,90	940,9	313	123,8
Total	1.541,40	33,39	0,003	2.871,70	1.135,30	0,8	0,8	4.413,90	2.677,50	580,6	352,2
										22,2673	18,97624

- (a) CH₄ GWP 20 anos = 86; GWP 100 anos = 34; N₂O GWP 20 anos = 264; GWP 100 anos = 265 (Myhre *et al.*, 2013, p. 714).
 (b) Produção de energia de 1994 a 2005 da ADEME Guyane (s/d). Produção de 2006 a 2013 presumido ser igual à média de 2001 a 2005 (416 GWh/ano). Total de vinte anos = 7.602 GWh.
 (c) Com base de um estudo de cinco barragens propostas no Chile (Burrall *et al.*, 2009); as quantidades são feitas proporcionais ao Petit Saut (560 MW instalado; 7.602 GWh gerados em 20 anos).
 (d) CH₄ de Delmas *et al.*, 2005, p. 996; ver também Delmas *et al.*, 2001. Medições estendem até 2003 e tendências são extrapoladas pelos autores para os anos subsequentes. N₂O de Guérin *et al.*, 2008.
 (e) Com base na estimativa para Petit Saut para 100 anos por Abril *et al.* 2013; aqui, presume-se 2/3 das emissões ocorrem nos primeiros 20 anos, como uma estimativa aproximada com base em Balbina depois de 23 anos (veja Abril *et al.*, 2013).
 (f) Consumo de gás 561 Gg CH₄, ou uma entrada de 30,1 × 10⁶ GJ em 20 anos (ver nota i). Fator de emissão 15,3 tC/TJ (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.24), fator de conversão 0,0036 MWh/TJ [1 kWh = 3,6 MJ], conteúdo de energia de gás 53,6 MJ/kg (Australian Gas Networks, 2007), fator de emissão de CH₄ para indústrias 1 kg CH₄/TJ de consumo de energia (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.35). Fator de emissão de N₂O 0,1 kg/TJ [g/GJ] (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.36). CO₂ da fração de C oxidado de 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8).
 (g) Produção de gás necessária para fornecer a usina é calculado em 589 Gg CH₄ em 20 anos, com base no consumo de 561 Gg CH₄, derivado de 53,6 MJ/kg [TJ/Gg] conteúdo de energia de gás (CH₄) (Australian Gas Networks, 2007) e a fração de C oxidado 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8).
 (h) Produção de gás necessária para fornecer a planta é calculado em 589 Gg CH₄ em 20 anos, com base no consumo de 561 Gg CH₄, derivado de 53,6 MJ/kg [TJ/Gg] conteúdo de energia de gás (CH₄) (Australian Gas Networks, 2007), fração de C oxidado de 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8), eficiência de 57,5% (ponto médio da faixa de valores brasileiros de 55-60% (Corrêa Neto & Tolmiskim, 2001) e geração em 20 anos de 27,4 × 10⁶ GJ (1 kWh = 3,6 MJ). Fator de emissão para a produção de gás: 288 × 10³ kg CH₄/PJ gás produzido (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.121).
 (i) Fator de emissão 118 × 10³ kg CH₄/PJ de gás consumido (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.121).
 (j) Com base na estimativa de vazamento de 4,7% no Brasil: dados de Petrobrás de 1999 (dos Santos *et al.*, 2006, p. 486). A produção de gás a qual esta percentagem é aplicada é calculada em 589 Gg CH₄ em 20 anos, com base no consumo de 561 Gg CH₄, derivado do conteúdo de energia de gás (CH₄) de 53,6 MJ/kg [TJ/Gg] (Australian Gas Networks, 2007), fração de C oxidado de 0,995 (IPCC, 1997, Vol. 1, p. 1.8), eficiência de 57,5% (Neto de Corrêa & Tolmiskim, 2001) e geração em 20 anos de 27,4 × 10⁶ GJ (1 kWh = 3,6 MJ).

terra firme, mas a porcentagem de área total não é grande: em florestas perto de Manaus, Brasil, essas áreas representam 5% da superfície inundada em cada evento (Mori & Becker, 1991); no entanto, eventos de inundação não ocorrem todo ano. Delmas *et al.* (2001) dão uma estimativa alta para emissões evitada do solo de floresta; outras estimativas são muito mais baixas (e.g., Fearnside, 2009). Acredita-se que a emissão do solo na zona de deplecionamento seja maior do que a emissão do solo de floresta evitada, fazendo

a Tabela 2 conservadora como estimativa do impacto líquido de Petit Saut.

Emissões de gases de efeito estufa nos inventários nacionais

As emissões de barragens tropicais representam uma lacuna significativa nos inventários nacionais de gases de efeito estufa compilados para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Pelas diretrizes do IPCC,

informações para cada item podem ser relatadas em um de três “*tiers*”, ou níveis de complexidade metodológica. Tier 1 é o nível básico, que é projetado de modo que pode ser aplicado por todos os países, incluindo aqueles com poucos dados e pessoal qualificado; Tier 2 é um nível intermediário que permite maior resolução fatores específicos a cada país; Tier 3 é o nível mais alto e oferece flexibilidade para métodos específicos de cada país, incluindo medições diretas e estimativas por modelagem, ou para um maior nível de desagregação. As diretrizes revistas de 1996 (“*1996 revised guidelines*”) do IPCC, que estavam em vigor até o final de 2014 para ambos os países do Anexo I e os não abrangidos pelo Anexo I [ou seja, os países com e sem limites sobre emissões nacionais] omitem inteiramente os reservatórios (IPCC, 1997). As diretrizes do IPCC sobre “boas práticas” (“*good practice guidelines*”), que estavam em vigor o final de 2014 como um suplemento para países do Anexo I, fornecem algumas informações para comunicação voluntária, mas a parte sobre reservatórios (Apêndice 3a.3) é intitulada como uma mera “base para futuro desenvolvimento metodológico” (IPCC, 2003). Este apêndice afirma que “devido à ligação estreita entre as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O e as metodologias, todas as três espécies de gases são tratadas nesta seção e nenhuma distinção para emissões de terras alagadas é feita com base na idade do reservatório” (IPCC, 2003, Apêndice 3a.3, p. 3.286). Isso é estranho, dado que o pico muito grande das emissões de metano nos primeiros anos depois de criar um reservatório dos trópicos já era conhecido há pelo menos uma década na época e havia sido documentado em alguns dos trabalhos citados no relatório. Nenhuma sugestão é feita para relatar as emissões no nível de detalhamento de Tier 1, e o relatório sugere que os países podem desenvolver seus próprios parâmetros se eles desejam relatar nos Tiers 2 ou 3. Intervalos de estimativas publicadas são dadas para difusão e ebulição de CH₄ das superfícies de reservatórios tropicais. Não há comentários sobre as emissões a jusante.

O IPCC produziu um novo conjunto de diretrizes em 2006, que fornece informações para as emissões de reservatório em um apêndice. A 17^a Conferência das Partes (COP-17), realizada em Durban em 2011, decidiu que as diretrizes de 2006 do IPCC seriam usadas para os inventários nacionais começando em 2015 para os países de Anexo I (Decisão 15/CP.17: UNFCCC, 2012). Para relatar emissões de metano, o Tier 1 é especificado para

incluir apenas as emissões relativamente modestas que ocorrem por meio de difusão da superfície do reservatório. Os países podem optar para relatar as emissões de ebulição das superfícies do reservatório no Tier 2, mas as grandes emissões de metano a partir das turbinas são relatadas somente no Tier 3, raramente utilizado (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3). O apêndice sobre reservatórios nas orientações de 2006 (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3) é identificado como uma atualização das orientações de boas práticas, do IPCC (IPCC, 2003, Apêndice 3a.3), mas nem todas as alterações representam adições: a tabela de dados sobre as emissões de ebulição desapareceu (IPCC, 2003, Apêndice 3a.3, p. 3.290, Tabela 2A.3.4 *versus* IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap.3.5, Tabela 2A.2). A reunião-chave que resultou nesta seção das orientações foi descrita da seguinte maneira por um dos participantes: “a nossa última reunião (Sydney [Austrália], em dezembro passado) foi muito difícil. Conclusão política: Emissões de CO₂ devem permanecer no corpo principal das orientações de 2006 do IPCC, mas o CH₄ será num anexo... as emissões de bolhas e desgaseificação só são consideradas, respectivamente, sob as abordagens dos Níveis 2 e 3. O perito da Hydro-Quebec argumenta que nós não temos conhecimento suficiente para emissões difusivas de CH₄...” (Duchemin, 2006).

O apêndice (“anexo”) às diretrizes de 2006 do IPCC fornecem um valor padrão (“*default*”) para o fluxo de difusão de metano a partir de superfícies reservatórios tropicais (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap.3.5). Isso é calculado como o valor mediano de uma série de medições publicadas para diferentes reservatórios. A mediana é usada em vez da média, porque a distribuição de valores é altamente distorcida. A mediana é frequentemente usada em vez da média como uma forma de minimizar o efeito de valores “*outlier*” (valores fora da faixa esperada) que são o resultado de erros de medição. No entanto, a distribuição desigual dos valores de fluxo de metano não é o resultado de erro de medição, mas sim uma característica do próprio sistema. Na maioria dos dias, a taxa de emissão será modesta, mas menos frequentemente haverá grandes explosões de emissão. Uma situação similar aplica-se aos dados de diferentes reservatórios. Sendo que o objetivo do valor padrão do IPCC é para a estimativa de um total anual de emissões, a métrica necessária não é aproximada melhor pela mediana, mas sim pela média. Usando uma mediana efetivamente descarta o efeito

dos reservatórios de alta emissão (i.e., casos como Balbina, mesmo se eles tivessem sido incluídos), mas isto não pode ser feito sem enviesar o resultado.

O apêndice das diretrizes do IPCC de 2006 (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap3.5) cita os seguintes documentos como base para seu valor padrão para a difusão de CH_4 das superfícies de reservatórios nos trópicos úmidos [ou seja, Tier 1]: Abril et al., 2005; de Lima, 2002, 2005; Duchemin et al., 2000; Galy-Lacaux, 1996; Galy-Lacaux et al., 1997; Keller & Stallard, 1994; Rosa et al., 2006a, e Therrien, 2004. Não há valores padrão fornecidos para ebulição [ou seja, Tier 2], mas o apêndice afirma que “informações úteis podem ser obtidas das seguintes referências”: Abril et al., 2005; de Lima, 2002; Delmas et al., 2005; Duchemin, 2000; Duchemin et al., 1995, 1999, 2006; Huttunen et al., 2002; Rosa et al., 1996, 2004; Soumis et al., 2004; Therrien, 2005 (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 2, p. Ap2.2). Nem as referências bibliográficas nem os valores padrão são dados para desgaseificação nas turbinas [ou seja, Tier 3], embora um conselho muito bom e amplamente ignorado (veja Seção 3.3) é dado que “concentrações de CH_4 a montante e a jusante das barragens seriam necessárias para estimar as emissões a partir da desgaseificação” (IPCC, 2006, Vol. 4, Apêndice 3, p. Ap3.5). Observe-se que nenhum dos documentos listados acima foi usado no relatório especial do IPCC (ver Tabela 1).

O IPCC classifica os reservatórios como “áreas úmidas” (“*wetlands*”), mas uma revisão da seção de áreas úmidas das orientações do IPCC 2006 realizada entre 2011 e 2013 excluiu explicitamente da revisão a parte sobre emissões de reservatórios (IPCC, 2014, p. O.4). Os autores foram instruídos que: “terras alagadas (reservatórios) são especificamente excluídas sendo que a TFI [força tarefa sobre inventários nacionais de gases de efeito estufa] não considera a ciência subjacente a ser suficientemente desenvolvida” (IPCC, 2011, p. 3). Esta posição significa que, na prática, as emissões de hidrelétricas continuarão sendo consideradas como zero ou próximo de zero, apesar de evidências substanciais de que barragens tropicais emitem quantidades significativas de gases de efeito estufa (por exemplo, Abril et al., 2005; Fearnside, 2002a, 2013; Fearnside & Pueyo, 2012; Kemenes et al., 2007). Embora as estimativas das quantidades emitidas sejam sujeitas à incerteza, como é o caso para todas as formas de emissão, a resposta apropriada é de usar os melhores dados científicos disponíveis em cada ponto no

tempo. Se uma posição conservadora é desejada para a formulação de políticas sobre mudança climática, isso significaria usar valores do lado alto das estimativas disponíveis, e não, essencialmente, atribuir um valor de zero para esta fonte.

Como o metano foi relegado a um apêndice nas diretrizes, relatar essas emissões continuará sendo algo voluntário, mesmo após estas diretrizes ter entrado em vigor em 2015 (Mäkinen & Khan, 2010). O resultado será, provavelmente, que as emissões de hidrelétricas tropicais permanecem praticamente ausentes das contas globais.

RAZÕES PARA EMISSÕES SEREM SUBESTIMADAS

1. Turbinas ignoradas

Quando a água é liberada a partir das turbinas está sob pressão considerável – por exemplo, no caso Tucuruí, a pressão é de aproximadamente quatro atmosferas devido ao peso da água no nível das entradas das turbinas (atualmente em 40 m de profundidade), além de uma atmosfera de pressão devido ao peso do ar acima do reservatório. Esta pressão é reduzida de repente para uma atmosfera na hora que a água emerge das turbinas, causando uma imediata emissão de gases. Grande parte desta emissão ocorrerá quase que imediatamente. Muitas estimativas das emissões de hidrelétricas simplesmente ignoram as emissões das turbinas e dos vertedouros, inclusive as estimativas no primeiro inventário nacional do Brasil de emissões de gases de efeito estufa (Brasil, MCT, 2004). O Segundo Inventário Nacional Brasileiro e o relatório sobre emissões que foi lançado como prelúdio ao terceiro inventário nacional ignoraram as emissões de hidrelétricas por completo (Brasil, MCT, 2010; Brasil, MCTI, 2013). A maioria dos outros países também tem ignorado essas emissões, sendo que reportá-las é, atualmente, opcional.

2. Árvores ignoradas

Outra fonte de emissão, muitas vezes ignorada é dióxido de carbono (CO_2) da decomposição de madeira de árvores em pé deixadas acima da água no reservatório (por exemplo, nas comparações no relatório especial do IPCC sobre as energias renováveis). Isto pode ser substancial em reservatórios amazônicos (e.g., Abril et al., 2013; Fearnside, 1995, 2009). As emissões provenientes da decomposição

de árvores ocorrem nos primeiros poucos anos da vida do reservatório, fazendo com que esta emissão seja particularmente importante do ponto de vista dos interesses da sociedade humana (veja Seção 3.7).

3. Contagem incompleta das emissões a jusante

O que se entende por “emissões a jusante” varia entre autores, o termo às vezes é usado para referir-se à emissão da desgaseificação quando a água emerge das turbinas e para a emissão da superfície da água no rio a jusante da barragem, e, às vezes, o termo é usado somente para o fluxo da superfície do rio a jusante. Medições de fluxo no rio muito abaixo da saída da barragem perderão a maior parte das emissões, que ocorrem predominantemente nos primeiros metros abaixo das turbinas.

Um influente estudo foi realizado por FURNAS (uma empresa que gera 40% de energia elétrica do Brasil, principalmente em barragens fora da Amazônia). A empresa lançou uma constatação de que as barragens são 100 vezes melhores do que os combustíveis fósseis do ponto de vista das emissões de gases de efeito estufa (Garcia, 2007). A omissão das emissões provenientes da desgaseificação nas turbinas e vertedouros é uma das principais razões por que o estudo (Ometto et al., 2011, 2013) produziu valores tão baixos para as emissões. As medições dos fluxos a jusante nas barragens de Serra da Mesa e Xingó começaram 500 m abaixo das barragens (da Silva et al., 2007), enquanto para as barragens de Furnas, Estreito e Peixoto medições começaram 50 m a jusante (dos Santos et al., 2009, p. 835). O estudo FURNAS também encontrou emissões relativamente baixas da superfície do rio, em parte, porque as barragens estudadas estão localizadas no Cerrado, onde se espera que as emissões sejam menores do que na Amazônia. Medições por Guérin et al. (2006) nos rios a jusante de três represas tropicais úmidas (Petit Saut na Guiana Francesa e Balbina e Samuel na Amazônia brasileira) mostraram altas emissões de metano (CH_4) no rio a jusante das barragens, apesar da desgaseificação das turbinas não ter sido incluída.

Obter medições de fluxo próximas às turbinas não é suficiente para uma estimativa confiável das turbinas como fonte de emissões, independente de quão perto se chega para amostrar. A única forma prática para avaliar as emissões provenientes da água que passa através das turbinas é usar medições de concentração em amostras de água colhidas nas

profundidades apropriadas acima e abaixo da barragem e calcular as emissões por diferença. A emissão na saída das turbinas é suficientemente rápida que só haveria um efeito mínimo de bactérias na água para converterem parte do CH_4 em CO_2 antes de atingir a atmosfera. Quando os cálculos baseiam-se em diferenças na concentração, a quantidade de metano emitida é grande, levando à conclusão de que as emissões são maiores do que seria liberada por combustíveis fósseis durante um número considerável de anos depois que os reservatórios foram formados. Isto é o caso em várias barragens da Amazônia, tais como Tucuruí (Fearnside, 2002a), Curuá-Una (Fearnside, 2005a), Samuel (Fearnside, 2005b) e Balbina (Kemenes et al., 2007, 2008), bem como para emissões calculadas para projetos planejados, tais como o complexo de Altamira composto pelas barragens de Belo Monte e Babaquara/Altamira (Fearnside, 2009).

Outra maneira em que a contagem das emissões a jusante pode ser incompleta é de cortar a consideração de fluxos, para além de uma determinada distância a jusante, por exemplo, 1 km no estudo de FURNAS (e.g., Ometto et al., 2011). Infelizmente, as emissões continuam além desta distância; elas têm sido medidas nas barragens de Balbina, Samuel e Petit Saut (Gosse et al., 2005; Guérin et al., 2006; Kemenes et al., 2007).

4. As concentrações subestimadas de metano

As estimativas das emissões das turbinas (incluindo as minhas) que usam dados sobre a concentração de CH_4 na água à profundidade das turbinas com base em medições em amostras coletadas usando garrafas tradicionais de Ruttner têm subestimado estas concentrações, e conseqüentemente as emissões, quando a água é liberada abaixo da barragem. A subestimativa é aproximadamente por um fator de dois. Isso ocorre porque parte do metano que é dissolvido na água sai da solução quando a garrafa Ruttner é trazida para a superfície e, conseqüentemente, a amostra de água extraída com uma seringa para análise química tem uma concentração de CH_4 mais baixa do que a água na parte inferior do reservatório. Outro tipo de garrafa, projetada para capturar e medir este metano, resultou em valores de concentração 116% mais elevados do que os valores para as amostras obtidas simultaneamente com garrafas Ruttner da água a 30 m de profundidade

no reservatório de Balbina, no estado do Amazonas (Kemenes *et al.*, 2011).

5. Extrapolação a partir de reservatórios não tropicais

Os reservatórios nos trópicos úmidos emitem muito mais metano do que aqueles em outras zonas climáticas (Barros *et al.*, 2011; Demarty & Bastien, 2011). Muitas reivindicações de baixas emissões de hidrelétricas são baseadas em estudos fora dos trópicos úmidos. No Brasil, importantes exemplos incluem o estudo de impacto ambiental (EIA) para a barragem de Belo Monte, que está em construção em uma área de floresta tropical no Rio Xingu, no Estado do Pará (Brasil, ELETROBRÁS, 2009, Vol. 5, p. 47; Ver Fearnside, 2011). Neste caso, a estimativa para futuras emissões do reservatório foi uma média de medição de fluxo por metro quadrado medido em dois reservatórios: Tucuruí e Xingó. No caso de Xingó, a represa está localizada no nordeste semiárido do Brasil e claramente tem emissões muito menores do que uma represa da Amazônia como Belo Monte.

6. Potencial de Aquecimento Global (GWP) desatualizado de metano

Na contabilização das emissões sob a UNFCCC, gases de efeito estufa não-CO₂ são convertidos em CO₂-equivalentes (CO₂e) multiplicando o número de toneladas emitido de cada gás por um potencial de aquecimento global (GWP). Cada gás tem um forçamento radiativo característico, que representa a sua eficácia em bloquear a passagem de radiação infravermelha pela atmosfera de forma quase instantânea: forçamento radiativo é o saldo do fluxo de energia na tropopausa (a divisão entre a troposfera e a estratosfera, em aproximadamente 10 km de altitude) causado por uma determinada quantidade de gás após uma demora de “alguns meses” para equilibrar a temperatura estratosférica (Shine *et al.*, 1995, p. 170). Incluindo efeitos indiretos, o metano tem um forçamento radiativo muito maior que o CO₂ em uma base de massa: 595 vezes mais por cada tonelada de gás presente na atmosfera de hoje (Hartmann *et al.*, 2013, Material complementar, Apêndice 2, p. 2SM-4; Myhre *et al.*, 2013, Material complementar, Anexo 8, p. 8SM-13). Cada gás tem também uma característica vida atmosférica média (o número de anos que uma tonelada do gás permanece na atmosfera, causando global aquecimento).

Uma tonelada de metano tem um impacto elevado, enquanto ele permanece na atmosfera, mas tem uma vida média de apenas 12,4 anos (Myhre *et al.*, 2013, p. 714). Uma tonelada de CO₂ tem um efeito muito mais fraco em cada ano em que esteja presente, mas o tempo médio de vida é longo: aproximadamente 40% de uma emissão permanece na atmosfera depois de um século (Myhre *et al.*, 2013, Material complementar, Apêndice 8, p. 8SM-16). O GWP representa uma integração ao longo de um horizonte de tempo, tais como 20 anos ou 100 anos, do forçamento radiativo de uma tonelada do gás emitida no início do período, em comparação com uma tonelada de CO₂ emitida simultaneamente. O uso de GWPs pelo IPCC é explicado por Albritton *et al.* (1995, p. 215-219). Na medida em que o horizonte de tempo para o GWP alonga, a importância do metano declina em relação ao CO₂.

O valor do GWP mais frequentemente usado para converter o impacto das emissões de metano para CO₂-equivalentes é 21, significando que uma tonelada de gás de CH₄ tem o mesmo impacto sobre o aquecimento global que 21 toneladas de CO₂ em um horizonte de tempo de 100 anos sem nenhum desconto por tempo. Este é o valor de GWP do Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, de 1995 (Schimel *et al.*, 1996) que foi adotado pelo Protocolo de Quioto para uso até o final de 2012 e foi usado em toda a contabilidade de gases nos inventários nacionais até esse mesmo ano. No entanto, as estimativas para o GWP do metano desde então foram sucessivamente revistas para cima: para 23 no Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC em 2001 (Ramaswamy *et al.*, 2001) e para 25 no Quarto Relatório de Avaliação em 2007 (Forster *et al.*, 2007). O quinto relatório de avaliação, de 2013, revisa isto para 28 se as mesmas suposições fossem mantidas (ou seja, ignorando todas as retroalimentações), mas apresenta um valor de 34 para metano que inclui efeitos indiretos não considerados nos relatórios anteriores do IPCC (Myhre *et al.*, 2013). Se um horizonte temporal de 20 anos é usado em vez de 100 anos, esse valor aumenta para 86 (Myhre *et al.*, 2013, p. 714). Uma redução rápida e sustentada em emissões de metano é parte necessária de qualquer estratégia para manter a temperatura média abaixo do limite de 2° C para o aumento acima da média pré-industrial, conforme acordado em Copenhague em 2009 sob decisão 2/CP.15 (Shindell *et al.*, 2012). Uma vez que o metano é a principal emissão da energia hidrelétrica e este gás é quase ausente das

emissões de combustíveis fósseis, estas revisões fazem uma diferença substancial no impacto atribuído à energia hidrelétrica em comparação aos combustíveis fósseis. Se um valor GWP de 34 for usado em vez do valor de 25 que será usado até 2017, o impacto é 36% maior. Se um valor de 86 é usado o impacto de metano a partir de barragens é 244% maior.

As decisões sobre que valores de GWP serão usados na contabilidade no âmbito da UNFCCC são feitas por representantes de governos nacionais nas conferências anuais das partes (COPs). Na 16ª Conferência das Partes da UNFCCC em Cancún (COP-16), em 2010, o Brasil teve um papel proeminente na argumentação de manter o uso de um valor mais baixo de GWP para metano ao invés do valor indicado pelo relatório mais recente do IPCC na época (ver: CAN, 2010). A matriz energética do Brasil se baseia em hidrelétricas para quase 80% da sua eletricidade, e o governo brasileiro tem grandes planos para construção de barragens na região amazônica (e.g., Brasil, MME, 2013).

O uso de GWPs mais antigos apesar da existência de estimativas mais recentes do IPCC estende-se à toda a contabilidade sob a UNFCCC, não apenas para barragens. Em 2011, na COP-17, foi tomada a decisão de usar o GWP do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, de 2007, a partir de 2015, e os atuais valores do Quarto Relatório (de 2013), portanto, ainda ficam sem efeito na UNFCCC.

7. Ignorando o valor do tempo

O valor do tempo é, talvez, o fator mais fundamental que leva à subavaliação da importância para o aquecimento global das emissões de hidrelétricas. Uma ampla gama de opiniões existe sobre a questão de quanto valor, se houver algum, deve ser dada ao tempo na apreciação do valor dos gases de efeito estufa que são emitidos ou impedidos de serem emitidos. Se uma tonelada de carbono emitida hoje tem o mesmo valor que uma tonelada emitida um século ou mais no futuro é fundamental para decidir o que fazer sobre o aquecimento global, especialmente para as decisões sobre barragens.

O valor é atribuído ao tempo de duas maneiras. Uma é definir um horizonte de tempo após o qual nenhuma consideração é dada (por exemplo, que o horizonte de tempo de 100 anos para o potencial de aquecimento global utilizado no âmbito do Protocolo de Quioto). Isto significa que adiar

uma emissão, parte do impacto é empurrada para além do final do horizonte de tempo e é anulada. Quanto mais longo o horizonte de tempo, menos o valor dado ao tempo. A outra maneira é dar um peso diminuindo aos custos e benefícios (nesses casos, as emissões e as emissões evitadas) a cada ano no futuro (Fearnside *et al.*, 2000). O meio mais comum de ponderação é através da aplicação de uma taxa de desconto a cada ano, onde o peso atribuído diminui por uma percentagem fixa a cada ano futuro sucessivo. Tanto um horizonte de tempo como uma taxa de desconto maior que zero podem ser usados juntos. Existem várias alternativas para horizontes temporais e ponderação de preferência temporal (Fearnside, 2002b,c). O valor atribuído ao tempo é uma decisão ética e política, não um resultado científico. No entanto, um valor presumido para o tempo está presente em todas as comparações de emissões, mesmo que esta hipótese não seja admitida explicitamente.

As opiniões sobre a taxa de desconto adequada para emissões variam enormemente. Por um lado, há os que advogam um valor de zero ao longo de um período de 100 anos (Kirschbaum, 2006; ver Dornburg & Marland, 2008; Fearnside, 2008b) e mesmo os que dariam um valor de zero ao longo de um período infinito, como implícita no apelo de Greenpeace para permanência do sequestro de carbono em escalas de tempo “geológicas”. Por outro lado, há economistas que advogam por um valor igual ao desconto utilizado para decisões financeiras, ou seja, em torno de 10% ao ano em termos reais (e.g., Van Kooten *et al.*, 1997). Este autor defende o equivalente a uma taxa de desconto da ordem de 1-2% ao ano (Fearnside, 2002b), ou seja, um valor pequeno, mas diferente de zero. Um valor diferente de zero para o tempo para o aquecimento global não depende de uma perspectiva egoísta para a geração atual ou em traduzir todos os impactos em termos monetários: o aquecimento global deverá resultar em muitas mortes humanas, que é uma forma inteiramente separada de impacto comparado às perdas monetárias, e adiar o aquecimento por um determinado número de anos salva vidas durante o período em que foi postergado (Fearnside, 1998).

O horizonte de tempo utilizado é pelo menos tão importante quanto a escolha de uma taxa de desconto, na derivação valores de GWP e na contabilização das emissões. O Quinto Relatório de Avaliação do IPCC deixa claro que “não há nenhum argumento científico para a seleção de 100 anos, em

comparação com outras opções (Fuglestedt et al., 2003; Shine, 2009). A escolha do horizonte de tempo é um juízo de valor porque depende do peso relativo atribuído aos efeitos em momentos diferentes” (Myhre et al., 2013, p. 711-712).

Quanto mais longo o horizonte de tempo usado, maior a distorção se uma taxa de desconto zero for aplicada (como no caso dos valores atuais de GWP de 100 anos, derivados pelo IPCC). Uma maneira que estudos de contabilidade muitas vezes justificam longos horizontes de tempo sem desconto é de basear os cálculos em um ciclo de vida completo, com a suposição comum de que uma barragem será útil durante 100 anos. Deve-se notar que estes cálculos, muitas vezes, não são verdadeiramente análises de ciclo de vida devido à omissão do desmantelamento (remoção) da barragem no final do ciclo. Para a comparação de opções de geração diferentes, tais como combustíveis fósseis e barragens, é essencial que o mesmo horizonte de tempo seja usado se um peso não-zero para o valor do tempo fosse incluído (por exemplo, através de uma taxa de desconto). A comparação de uma barragem com uma suposta vida útil de 100 anos com uma usina termelétrica com uma suposta vida de 50 anos produzirá um resultado distorcido.

Uma usina hidrelétrica emite grandes quantidades de gases de efeito estufa nos primeiros anos após a sua construção, que cria uma “dívida” de aquecimento global que é lentamente paga na medida em que a eletricidade gerada pela barragem desloca combustíveis fósseis nos anos subsequentes; em contraste com isto, a geração de eletricidade a partir dos combustíveis fósseis emite gases em uma taxa constante, com a emissão ocorrendo ao mesmo tempo em que a eletricidade é gerada. Esta diferença é fundamental em comparações entre barragens e combustíveis fósseis, com qualquer valor atribuído ao tempo pesando fortemente contra as represas (Fearnside, 1996, 1997). O perfil completo de emissões de uma barragem é um complexo conjunto de créditos de emissões e débitos de CO₂, CH₄ e outros gases ao longo do tempo. Em contraste, usinas de combustível fóssil liberam emissões principalmente quando o combustível é queimado para gerar eletricidade. O fato de que barragens emitem metano, com um impacto de curta duração mas intenso, enquanto que os combustíveis fósseis emitem principalmente CO₂, com um impacto suave mas longo, também é muito importante. Observe, no entanto, que em muitos países, inclusive no Brasil, a maioria

das novas usinas termelétricas queimam gás natural ao invés de carvão ou petróleo, e há vazamentos nos gasodutos que fornecem o metano às usinas.

A indústria hidrelétrica não gostaria que nenhuma forma de ponderação por preferência de tempo seja aplicada às emissões neste século: a Associação Internacional de Energia Hidrelétrica (IHA) defende que todo cálculo seja em um horizonte de tempo de 100 anos sem nenhum desconto (e.g., Goldenfum, 2012). Infelizmente, não temos 100 anos para tomar medidas eficazes na mitigação do aquecimento global, e serão as emissões dentro dos próximos poucos anos que determinarão se a mudança climática «perigosa» pode ser evitada. Planos de construção de barragens na Amazônia brasileira, por exemplo, implicam na liberação de grandes quantidades de gases de efeito estufa, precisamente na janela de tempo quando o aquecimento global precisa ser controlado.

8. “Cherry picking” de barragens

O “*cherry picking*” [“catação de cerejas”], ou seja, selecionar apenas os casos que confirmam a conclusão, é uma forma que as estimativas das emissões de hidrelétricas podem ser minimizadas. No Brasil, a hidrelétrica de Balbina, que tem emissões muito altas de metano, não foi incluída na tabulação de barragens no primeiro inventário nacional do país (Brasil, MCT, 2004, p. 154; Ver também Rosa *et al.*, 2004), embora os autores do estudo tivessem publicado anteriormente dados da emissão da superfície da barragem (Rosa *et al.*, 1997). Balbina representava aproximadamente 40% da área inundada pelos reservatórios em áreas de floresta tropical amazônica do Brasil na época do inventário. Balbina foi excluída de uma série de discussões sobre represas amazônicas alegando-se que é atípica e representa um erro que nunca seria cometido novamente. Infelizmente, Balbina tem muitos paralelos com barragens que são susceptíveis de serem construídas nas próximas décadas, especialmente Babaquara (renomeada para Altamira), rio acima de Belo Monte (Fearnside, 2006a, 2012).

9. A suposição de que barragens são construídas em zonas úmidas

O efeito líquido de uma barragem é a emissão dela, menos o que teria sido emitido pelo ecossistema sem a barragem, incluindo a floresta na área inundada pelo reservatório. A Associação Nacional

de Hidrelétricas dos EUA (US-NHA) reagiu à primeira publicação deste autor com resultados indicando emissões elevadas de barragens da Amazônia (Fearnside, 1995), declarando “é bobagem e é muito exagerado... O metano é produzido de forma substancial na floresta tropical e ninguém sugere derrubar a floresta tropical” (ver McCully, 2001). A Associação Internacional de Hidrelétricas (IHA) alegou ainda que as barragens são um “problema de soma zero, novas zonas úmidas substituindo antigas zonas úmidas” (Gagnon, 2002). No entanto, as barragens não são construídas em pântanos planos que emitem metano, já que locais com corredeiras ou cachoeiras resultam na geração de muito mais energia. Os solos sob florestas de terra firme na Amazônia são considerados sumidouros de metano (e.g., Keller *et al.*, 1991).

A suposição de emissões pré-barragem irrealisticamente altas não foi restrita às recusas iniciais do setor hidrelétrico de um impacto de barragens sobre o aquecimento global. No Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a controversa barragem de Belo Monte, a estimativa de emissão pré-barragem foi amplamente baseada em medições nos solos alagados que recentemente havia sido expostos pela queda dos níveis do rio, tal que os cálculos efetivamente assumiram que a área do reservatório como um todo estaria emitindo quantidades substanciais de metano (veja Fearnside, 2011).

10. A suposição que a sedimentação do reservatório cancela as emissões

A Associação Internacional de energia hidrelétrica tem argumentado que barragens podem ter um efeito positivo através da captura de carbono nos sedimentos depositados em reservatórios, impedindo assim que este carbono seja emitido para a atmosfera (e.g., Gagnon, 2002). Os sedimentos no reservatório contém carbono (Sikar *et al.*, 2009). No entanto, o carbono em sedimentos é uma espada de dois gumes, pois esta também é a fonte de carbono para metanogênese nas condições anóxicas no fundo de um reservatório. O balanço de carbono não deve ser confundido com o impacto sobre o aquecimento global. As barragens liberam carbono na forma de metano, com um impacto muito maior por cada tonelada de carbono do que o CO_2 que seria liberado se, em vez do carbono depositado em sedimentos, estes fossem permitidos serem carregados pelo rio e serem oxidado a jusante. Deve ser lembrado, também, que uma parte deste carbono não seria oxidada

no rio, mas em vez disso, seria depositada em sedimentos do oceano. No caso da Amazônia, uma parte deste carbono seria transferida para os depósitos de sedimentos que continuam a ter um acúmulo líquido na várzea amazônica. Um percentual maior do carbono depositado em sedimentos é liberado mais tarde na forma de gases em um reservatório do que no oceano, um fator que aumenta as emissões líquidas globais de gases de efeito de estufa (Mendonça *et al.*, 2011, p. 63). Embora a água no Rio Amazonas, também, seja conhecida por lançar grandes quantidades de CO_2 (Richey *et al.*, 2002), indicando a oxidação do carbono realizada no rio, há também altas emissões de CO_2 nos reservatórios amazônicos pelas turbinas e vertedouros de barragens na Amazônia (e.g., Kemenes *et al.*, 2011).

11. Pressuposto de que as emissões diminuem a zero

A ideia de que emissões hidrelétricas declinam inexoravelmente até zero é enganosa. Um forte declínio nas emissões de gases de efeito estufa nos primeiros anos de vida de um reservatório é um padrão bem conhecido, mas isso não significa que as emissões sempre continuam a declinar até que atinjam um nível praticamente zero. As emissões podem estabilizar em um nível bem acima de zero em casos onde existe uma fonte renovável de carbono, tal como a inundação anual de vegetação herbácea na zona de deplecionamento, quando o nível da água é elevado na estação chuvosa. Reservatórios diferentes podem ter regimes de gestão da água diferentes, diferindo na quantidade de variação vertical do nível de água e na área da zona de deplecionamento que é exposta quando o nível da água é baixo. No primeiro inventário nacional do Brasil, o reservatório de Três Marias, em uma área de Cerrado, no Estado de Minas Gerais, foi o “campeão” das emissões de metano, emitindo mais do que as represas amazônicas que foram incluídas no estudo (Brasil, MCT, 2004; Rosa *et al.*, 2004). Na época das medições, o reservatório de Três Marias tinha 36 anos de idade e, portanto, havia passado em muito o pico inicial em emissões de metano. A variação vertical de 9 m no nível de água em Três Marias é uma provável explicação de como as emissões de CH_4 podem ser mantidas ao longo do tempo. O cronograma das emissões de metano, com um grande pico inicial seguido de uma estabilização em um nível inferior, em longo prazo, acrescenta muito ao impacto de barragens em termos de interesses humanos.

A SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA E AS EMISSÕES DE BARRAGENS

Tanto a pesquisa científica quanto a sua interpretação para políticas públicas são feitas por seres humanos que agem dentro do contexto de seus ambientes sociais e institucionais. A revista *Climatic Change* organizou um debate sobre as emissões hidrelétricas entre este autor (Fearnside, 2004, 2006b) e o então presidente da ELETROBRÁS (Rosa *et al.*, 2004, 2006). O debate foi arbitrado por Cullenward e Victor (2006), que apontou que “uma grande proporção do trabalho publicado neste campo vem diretamente de pesquisadores ligados a empresas de hidroeletricidade, como a Eletrobrás ou Hydro-Québec”, e como resultado sugeriu que “um mecanismo é necessário para remover qualquer mancha de interesse para que projetos de MDL [mecanismo de desenvolvimento limpo] e inventários nacionais possam ganhar confiança. A comunidade internacional tem um mecanismo prontamente à mão para corrigir o problema: um relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).” Um relatório especial especificamente sobre emissões de hidrelétricas não foi realizado, mas em 2011, o IPCC lançou o Relatório Especial sobre Fontes Renováveis de Energia e Mitigação de Mudança Climática (SRREN), que incluía a energia hidrelétrica (Kumar *et al.*, 2012). As listas dos autores das seções sobre hidrelétricas incluem funcionários da Eletrobrás e de Hydro-Québec (Kumar *et al.*, 2012; Moomaw *et al.*, 2012). Nas diretrizes IPCC de 2006, ambos os dois apêndices lidando com reservatórios (Apêndices 2 e 3) têm autores da Hydro-Québec e da Eletrobrás (IPCC, 2006, Volume 4, Capítulo 7, p. 7.2). McCully (2006) documentou a predominância de longa data da indústria em pesquisas acerca das emissões das barragens hidrelétricas.

O relatório especial do IPCC tem sido criticado pela organização não governamental (ONG) Rios Internacionais por não discutir as altas emissões de metano dos reservatórios tropicais, que simplesmente está listado em uma tabela, em contraste com a maior atenção dada às baixas emissões em regiões temperadas e boreais (Pereira, 2011). A crítica também aponta que, ao contrário da prática normal do IPCC, um quarto da seção sobre as emissões de hidrelétricas é dedicado a apresentar os resultados preliminares de um trabalho exploratório (“*scoping paper*”) sem revisão científica que foi liderado pela Associação

Internacional de Energia Hidrelétrica (IHA), um grupo da indústria (IHA, 2008). O relatório especial também destaca o trabalho mais recente do grupo IHA sobre procedimentos para quantificar as emissões, que estava em andamento na época, mas que tem sido, desde então, concluído. O acesso ao relatório IHA requer um compromisso de sigilo, tornando o relatório impróprio para uso pelo IPCC ou para citação em literatura científica.

A contabilidade adequada das emissões das hidrelétricas tropicais é essencial para conter a mudança climática. Negociações internacionais no âmbito da UNFCCC são destinadas a estabelecer quotas (montantes atribuídos) para emissões nacionais, tal que a emissão líquida global de todas as fontes (incluindo fontes “naturais”) é consistente com o objetivo de impedir que as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa atinjam níveis que causem “interferência perigosa no sistema climático” (UNFCCC, 1992, Artigo 2), agora definido como um aumento da temperatura média em 2° C acima da média pré-industrial. Se inventários nacionais apresentados por cada país não refletem a verdadeira quantidade de emissão porque emissões tropicais de hidrelétricas foram omitidas ou subestimadas, conseqüentemente, as quantidades atribuídas negociadas no âmbito da UNFCCC serão insuficientes para conter a mudança climática e os impactos de ultrapassar o limite de 2° C se seguirá (e.g., Meinshausen *et al.*, 2009).

CONCLUSÕES

As orientações (“*guidelines*”) para inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa, do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), devem ser revistas, tal que o nível exigido de relatórios sobre barragens reflita toda a extensão das suas emissões de todos os gases de efeito estufa. O IPCC também precisa proceder um exame minucioso do assunto independente da indústria de energia hidrelétrica.

AGRADECIMENTOS

As pesquisas do autor são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: proc. 305880/2007-1; 575853/2008-5 304020/2010-9; 573810/2008-7) Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – CRINALE (proc. 708565) e o Instituto Nacional

de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ15.125). Marcelo A. dos Santos Júnior elaborou as figuras. Simone Athayde forneceu material bibliográfico. Agradeço a P.M.L.A. Graça pelos comentários. Esta é uma tradução de Fearnside (2015).

LITERATURA CITADA

- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A., Matvienko, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochemical Cycles* 19, GB 4007. doi: 10.1029/2005GB002457.
- Abril, G., Parize, M., Pérez, M.A.P., Filizola, N. 2013. Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: An additional source of greenhouse gases. *Journal of South American Earth Sciences* 44: 104–107. doi: 10.1016/j.jsames.2012.11.007.
- ADEME Guyane (Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie). s/d. L'Effet de Serre et ses conséquences pour la Guyane. ADEME Guyane, Cayenne, Guiana Francesa, França. [Disponível em: <http://www.ademe-guyane.fr/index.php?action=269>].
- Albritton, D.L., Derwent, R.G., Isaksen, I.S.A., Lal, M., Wuebbles, D.J., Bruhl, C., Daniel, J.S., Fisher, D., Granier, C., Liu, S.C., Patten, K., Ramaswamy, V., Wigley, T.M.L. 1995. Trace gas radiative forcing indices, In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (Eds.), *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 205-231. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate_change_1994.pdf].
- Arvizu, D. & 40 outros. 2012. Technical summary, In: Edenhofer, O., Madrugá, R.P., Sokona, Y., Seyboth, K., Eickemeier, P., Matschoss, P., Hansen, G., Kadner, S., Schlömer, S., Zwickel, T., von Stechow, C. (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 27-158. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf].
- Australian Gas Networks. 2007. About Natural Gas. [Disponível em: <http://www.natural-gas.com.au/about/references.html>].
- Barnhouse, L.W., Cada, G.F., Cheng, M.D., Easterly, C.E., Kroodsmá, R.L., Lee, R., Shriner, D.S., Tolbert, V.R., Turner, R.S. 1994. *Estimating Externalities of the Hydro Fuel Cycles*. Report 6. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, E.U.A. 205 p. [Disponível em: <http://www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/757384-22LKCY/webviewable/757384.pdf>].
- Barreto, P. Brandão Jr., A., Martins, H., Silva, D., Souza Jr., C., Sales, M., Feitosa, T. 2011. *Risco de Desmatamento Associado à Hidrelétrica de Belo Monte*. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Belém, Pará. 98 p. [Disponível em: http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file].
- Barros, N., Cole, J.J., Tranvik, L.J., Prairie, Y.T., Bastviken, D., Huszar, V.L.M., del Giorgio, P., Roland, F. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude. *Nature Geoscience* 4: 593-596. doi: 10.1038/NGEO1211.
- Brasil, Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras). 2009. *Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental. Fevereiro de 2009*. Eletrobrás, Rio de Janeiro, RJ. 36 vols. [Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BM/BELO%20MONTE.htm].
- Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2004. *Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. MCT, Brasília, DF. 276 p. [Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0005/5586.pdf].
- Brasil, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). 2010. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. MCT, Brasília, DF, 2 Vols., 520 p. [Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/326751.html>].
- Brasil, MCTI (Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação). 2013. *Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil*. MCTI, Brasília, DF, 76 p. [Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf].
- Brasil, MME (Ministério de Minas e Energia). 2013. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*. MME, Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, DF, Brazil. 409 p. [Disponível em: http://www.epe.gov.br/PDEE/24102013_2.pdf].
- Burrall, K., Leandro, G., Mar, L., Natale, E., Tauro, F. 2009. *Analysis of Proposed Hydroelectric Dams on the Río Baker in Chilean Patagonia*. Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Boston, Massachusetts, E.U.A. 36 p. [Disponível em: http://www.waterdeva.com/pdfs/Burrall_et_al_2009.pdf].
- CAN (Climate Action Network). 2010. Keys to the 2nd KP Commitment Period. [Disponível em: <http://www.climatenetwork.org/blog/keys-2nd-kp-commitment-period>].
- CO2list. 2011. Hydroelectricity Releases CO₂. 01 de outubro de 2011. [Disponível em: <http://co2list.weebly.com/1/post/2011/10/hydroelectricity-produces-co2.html>].
- Correia Neto, V., Tolmasquim, M.T. 2001. A avaliação econômica da co-geração em ciclo combinado com gaseificação de biomassa e gás natural no setor sucroalcooleiro. *Revista Brasileira de Energia* 8(2): 35-60. [Disponível em: <http://www.sbppe.org.br/socios/download.php?id=151>].
- Cullenward, D., Victor, D.G. 2006. The dam debate and its discontents. *Climatic Change* 75: 81-86. doi: 10.1007/s10584-006-9085-7.

- da Silva, M., Matvienko, B., dos Santos, M.A., Sikar, E., Rosa, L.P., dos Santos, E., Rocha, C. 2007. Does methane from hydro-reservoirs fit out from the water upon turbine discharge? *SIL – 2007-XXX Congress of the International Association of Theoretical and Applied Limnology*, Montreal, Québec, Canada. [Disponível em: <http://www.egmmmedia.net/sil2007/abstract.php?id=1839>].
- de Lima, I.B.T. 2002. *Emissão de Metano em Reservatórios Hidrelétricos Amazônicos através de Leis de Potência*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 108 p. [Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-21112002-095409/publico/teseivan.pdf>].
- de Lima, I.B.T. 2005. Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs. *Chemosphere* 59: 1697-1702. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.12.011.
- Delmas, R. Galy-Lacaux, C., Richard, S. 2001. Emissions of greenhouse gases from the tropical hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) compared with emissions from thermal alternatives. *Global Biogeochemical Cycles* 15: 993-1003. doi: 10.1029/2000GB001330.
- Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C., Grégoire, A. 2005. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts, In: Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C., Garneau, M. (Eds.), *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*, Springer-Verlag, New York, NY, E.U.A., p. 293-312.
- Demarty, M., Bastien, J. 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements. *Energy Policy* 39: 4197-4206. doi: 10.1016/enpol.2011.04.033.
- Denholm, P., Kulcinski, G.L. 2004. Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. *Energy Conversion and Management* 45(13-14): 2153-2172. doi:10.1016/j.enconman.2003.10.014.
- Dones, R., Bauer, C., Bolliger, R., Burger, B., Heck, T., Roder, A., Emenegger, M.F., Frischknecht, R., Jungbluth, N., Tuchschnid, M. 2007. *Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and Other UCTE Countries*. Ecoinvent Report No. 5, Paul Scherrer Institute (PSI), Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Villigen, Suíça. 185 p. [Disponível em: http://www.ecolo.org/documents/documents_in_english/Life-cycle-analysis-PSI-05.pdf].
- Dones, R., Heck, T., Bauer, C., Hirschberg, S., Bickel, P., Preiss, P., Panis, L.I., De Vlieger, I. 2005. *Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications: New Energy Technologies*. ENG1-CT-2002-00609, Paul Scherrer Institute (PSI), Villigen, Suíça. 76 p. [Disponível em: http://gabe.web.psi.ch/pdfs/externe_pol/WP6_Technical_Report_Release_2.pdf].
- Dornburg, V., Marland, G. 2008. Temporary storage of carbon in the biosphere does have value for climate change mitigation: a response to the paper by Miko Kirschbaum. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13: 211-217. doi: 10.1007/s11027-007-9113-6.
- dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Matvienko, B., dos Santos, E.O., D'Almeida Rocha, C.H.E., Sikar, E., Silva, M.B., Bentes Júnior, A.M.P. 2009. Estimate of degassing greenhouse gas emissions of the turbinated water at tropical hydroelectric reservoirs. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 30(6): 834-837.
- dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Sikar, B., Sikar, E., dos Santos, E.O. 2006. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. *Energy Policy* 34: 481-488. doi:10.1016/j.enpol.2004.06.015
- Duchemin É. 2000. *Hydroelectricity and Greenhouse Gases: Emission Evaluation and Identification of Biogeochemical Processes Responsible for their Production*. Tese de doutorado, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canadá. 321 p.
- Duchemin É. 2006. Dear Patrick. Email to International Rivers 3 March 2006. [Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publivres/Dossie/Hydro-GHG/Duchemin-email-2006.pdf>].
- Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P., Lucotte, M. 1999. Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, Hydro-Québec, Montréal, Québec, Canadá. 48 p.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J., Queiroz, A.G. 2000. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 27(3): 1391-1395.
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Chamberland, A. 1995. Production of the greenhouse gases CH₄ and CO₂ by hydroelectric reservoirs of the boreal region. *Global Biogeochemical Cycles* 9(4): 529-540. doi: 10.1029/95GB02202.
- Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R., Soumis, N. 2006. First assessment of CH₄ and CO₂ emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up. *Lakes and Reservoirs, Research and Management* 11: 9-19. doi: 10.1111/j.1440-1770.2005.00285.x
- Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22: 7-19. doi: 10.1017/S0376892900034020.
- Fearnside, P.M. 1996. Montreal meeting on 'greenhouse' gas impact of hydroelectric dams. *Environmental Conservation* 23: 272-273. doi: 10.1017/S0376892900038935.
- Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24: 64-75. doi: 10.1017/S0376892997000118.

- Fearnside, P.M. 1998. The value of human life in global warming impacts. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 3: 83-85. doi: 10.1023/A:1009640412108.
- Fearnside, P.M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133: 69-96. doi: 10.1023/A:1012971715668.
- Fearnside, P.M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41: 21-31. doi: 10.1016/S0921-8009(02)00004-6.
- Fearnside, P.M. 2002c. Why a 100-year time horizon should be used for global warming mitigation calculations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 7: 19-30. doi: 10.1023/A:1015885027530.
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly “clean” energy source. *Climatic Change* 66: 1-8. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23.
- Fearnside, P.M. 2005a. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: 675-691. doi: 10.1007/s11027-005-7303-7.
- Fearnside, P.M. 2005b. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35: 1-19. doi: 10.1007/s00267-004-0100-3.
- Fearnside, P.M. 2006a. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental Management* 38: 16-27. doi: 10.1007/s00267-005-00113-6.
- Fearnside, P.M. 2006b. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Reply to Rosa *et al.* *Climatic Change* 75: 103-109. doi: 10.1007/s10584-005-9016-z.
- Fearnside, P.M. 2008a. Hidrelétricas como “fábricas de metano”: O papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa. *Oecologia Brasiliensis* 12: 100-115.
- Fearnside, P.M. 2008b. On the value of temporary carbon: A comment on Kirschbaum. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13: 207-210. doi: 10.1007/s11027-007-9112-7.
- Fearnside, P.M. 2009. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA* 12(2): 5-56.
- Fearnside, P.M. 2011. Gases de efeito estufa no EIA-RIMA da hidrelétrica de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 5-19.
- Fearnside, P.M. 2012. Belo Monte Dam: A spearhead for Brazil's dam building attack on Amazonia. GWF Discussion Paper 1210, Global Water Forum, Canberra, Austrália. [Disponível em: http://www.globalwaterforum.org/wp-content/uploads/2012/04/Belo-Monte-Dam-A-spearhead-for-Brazils-dam-building-attack-on-Amazonia_-GWF-1210.pdf].
- Fearnside, P.M. 2013. Climate change and the Amazon: Tropical dams emit greenhouse gases. *ReVista, Harvard Review of Latin America* 12(2): 30-31.
- Fearnside, P.M. 2015. Emissions from tropical hydropower and the IPCC. *Environmental Science & Policy* 50: 225-239. doi: 10.1016/j.envsci.2015.03.002
- Fearnside, P.M., Lashof, D.A., Moura-Costa, P. 2000. Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 5: 239-270. doi: 10.1023/A:1009625122628.
- Fearnside, P.M., Pueyo, S. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2: 382-384. doi: 10.1038/nclimate1540.
- Forster, P. & 50 outros. 2007. Changes in atmospheric constituents and radiative forcing, In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 129-234. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html].
- Fuglestad, J., Berntsen, T., Godal, O., Sausen, R., Shine, K., Skodvin, T. 2003. Metrics of climate change: Assessing radiative forcing and emission indices. *Climatic Change* 58: 267-331. doi: 10.1023/A:1023905326842.
- Gagnon, L. 2002. The International Rivers Network statement on GHG emissions from reservoirs, a case of misleading science. International Hydropower Association (IHA), Sutton, Surrey, Reino Unido, 9 p. [Disponível em: <http://www.hydropower.org/Downloads/GHG-Reply-IRN-2002-v10.pdf>].
- Galy-Lacaux, C. 1996. *Modifications des Echanges de Constituants Mineurs Atmosphériques Liées à la Création d'une Retenue Hydroélectrique. Impact des Barrages sur le Bilan du Méthane dans l'Atmosphère*. PhD dissertation, Université de Toulouse 3, Toulouse, França. 210 p.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labrousse, L., Richard, S., Gosse, P. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 471-483. doi: 10.1029/97GB01625.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, J., Richard, S., Gosse, P. 1999. Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 503-517. doi: 10.1029/1998GB900015.
- Garcia, R. 2007. Estudo apóia tese de hidrelétrica “limpa”: Análise em usinas no cerrado indica que termelétricas emitem até cem vezes mais gases causadores do efeito estufa. *Folha de São Paulo*, 01 de maio de 2007, p. A-16.
- Goldenfum, J.A. 2012. Challenges and solutions for assessing the impact of freshwater reservoirs on natural GHG emissions. *Ecology & Hydrobiology* 12: 115-122. doi: 10.2478/v10104-012-0011-5.

- Gosse, P., Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R. 2005. Evolution and relationships of greenhouse gases and dissolved oxygen during 1994-2003 in a river downstream of a tropical reservoir. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 29: 594-600.
- Guérin, F., Abril, G., Richard, S., Burban, B., Reynouard, C., Seyler, P., Delmas, R. 2006. Methane and carbon dioxide emissions from tropical reservoirs: Significance of downstream rivers. *Geophysical Research Letters* 33, L21407. doi: 10.1029/2006GL027929.
- Guérin, F., Abril, G., Tremblay, A., Delmas, R. 2008. Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs. *Geophysical Research Letters* 35, L06404, doi: 10.1029/2007GL033057.
- Gunkel, G. 2009. Hydropower - A green energy? Tropical reservoirs and greenhouse gas emissions. *CLEAN - Soil, Air, Water* 37: 726-734. doi: 10.1002/clen.200900062.
- Hartmann, D.L. & 13 outros. 2013. Observations: Atmosphere and Surface, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 159-254. [Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>].
- Horvath, A. 2005. Decision-making in electricity generation based on global warming potential and life-cycle assessment for climate change. University of California Energy Institute, Berkeley, California, E.U.A. 16 p. [Disponível em: <http://repositories.cdlib.org/ucei/devtech/EDT-006>].
- Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S., Martikainen, P.J. 2002. Fluxes of CH₄, CO₂, and N₂O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 1, doi:10.1029/2000GB001316.
- IEA (International Energy Agency). 1998. *Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables*. IEA, Paris, França. 128 p.
- IHA (International Hydropower Association). 2008. *Assessment of the GHG Status of Freshwater Reservoirs - Scoping Paper*. IHA/GHG-WG/3, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) Working Group on Greenhouse Gas Status of Freshwater Reservoirs and International Hydropower Association, IHA, London, Reino Unido, 28 p. [Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001817/181713e.pdf>].
- IHA (International Hydropower Association). 2010. *GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs*. IHA, London, Reino Unido. 138 p. [Available at <http://www.hydropower.org/sites/default/files/publications-docs/GHG%20Measurement%20Guidelines%20for%20Freshwater%20Reservoirs.pdf>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual (Volume 3) Land Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. [Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Wagner, F. (Eds.), Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. [Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. [Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2011. IPCC Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI). TFI Interim Guidance Notes to Experts and Authors (May 2011). TFI Technical Support Unit, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japão. 13 p. [Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Hydro-GHG/1106_Guidance_to_Authors.pdf].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 1075 p. [Disponível em: <http://srren.ipcc-wg3.de/report/>].
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T.G. (Eds.), IPCC, Geneva, Suíça. 354 p. [Disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/pdf/Wetlands_Supplement_Entire_Report.pdf].
- Keller, M., Jacob, D.J., Wofsy, S.C., Harriss, R.C. 1991. Effects of tropical deforestation on global and regional atmospheric chemistry. *Climatic Change* 19, 139-158.
- Keller, M., Stallard, R.F. 1994. Methane emission by bubbling from Gatun Lake, Panama. *Journal of Geophysical Research* 99(D4): 8307-8319. doi: 10.1029/92JD02170.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34, L12809. doi: 10.1029/2007GL029479.55.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2008. As hidrelétricas e o aquecimento global. *Ciência Hoje* 41(145): 20-25.
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2011. CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research* 116, G03004. doi: 10.1029/2010JG001465.
- Kirschbaum, M.U.F. 2006. Temporary carbon sequestration cannot prevent climate change. *Mitigation and Adaptation*

- Strategies for Global Change* 11: 1151-1164. doi: 10.1007/s11027-006-9027-8.
- Kumar, A., Schei, T., Ahenkorah, A., Caceres Rodriguez, R., Devernay, J.-M., Freitas, M., Hall, D., Killingtveit, A., Liu, Z. 2012. Hydropower, In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlomer, S., von Stechow, C. (Eds.), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 437-496. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf].
- Mäkinen, K., Khan, S. 2010. Policy considerations for greenhouse gas emissions from freshwater reservoirs. *Water Alternatives* 3: 91-105.
- McCully, P. 2001. *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams: Enlarged and Updated Edition*. Zed Books, New York, NY, E.U.A. 359 p.
- McCully, P. 2006. Fizzy Science: Loosening the Hydro Industry's Grip on Greenhouse Gas Emissions Research. International Rivers Network, Berkeley, California, E.U.A. 24 p. [Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/resources/fizzy-science-loosening-the-hydro-industry-s-grip-on-reservoir-greenhouse-gas-emissions>].
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R. 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458: 1158-1162. doi:10.1038/nature08017.
- Mendonça, R., Barros, N., Vidal, L.O., Pacheco, F., Kosten, S., Roland, F. 2011. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs: What knowledge do we have and what is lacking? In: E.H. de Alcantara (Ed.). *Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation*. Nova Science Publishers. Hauppauge, New York, E.U.A., p. 55-78.
- Moomaw, W., Burgherr, P., Heath, G., Lenzen, M., Nyboer, J., Verbruggen, A. 2012. Annex II: Methodology, In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlomer, S., von Stechow, C. (Eds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 973-1000. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_full_report.pdf].
- Mori, S.A., Becker, P. 1991. Flooding affects survival of Lecythidaceae in *terra firme* forest near Manaus, Brazil. *Biotropica* 23: 87-90.
- Myhre, G. & 37 outros. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing, In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 661-740. [Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>].
- Ometto, J.P., Cimblaris, A.C.P., dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Abe, D., Tundisi, J.G., Stech, J.L., Barros, N., Roland, F. 2013. Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. *Energy Policy* 58: 109-116. doi: 10.1016/j.enpol.2013.02.041.
- Ometto, J.P., Pacheco, F.S., Cimblaris, A.C.P., Stech, J.L., Lorenzetti, J.A., Assireu, A., Santos, M.A., Matvienko, B., Rosa, L.P., Galli, C.S., Abe, D.S., Tundisi, J.G., Barros, N.O., Mendonça, R.F., Roland, F. 2011. Carbon dynamic and emissions in Brazilian hydropower reservoirs, In: de Alcantara, E.H. (Ed.), *Energy Resources: Development, Distribution, and Exploitation*. Nova Science Publishers, Hauppauge, New York, E.U.A., p. 155-188.
- Pacca, S., 2007. Impacts from decommissioning of hydroelectric dams: A life cycle perspective. *Climatic Change* 84: 281-294. doi 10.1007/s10584-007-9261-4.
- Parekh, P. 2011. Advancements in the field of reservoir emissions: A briefing on recent research and guidelines. International Rivers, Berkeley, California, E.U.A. 13 p. [Disponível em: <http://www.internationalrivers.org/resources/advancements-in-the-field-of-reservoir-emissions-3764>].
- Potter, C.S., Davidson, E.A., Verchot, L.V. 1996. Estimation of global biogeochemical controls and seasonality on soil methane consumption. *Chemosphere* 32: 2219-2246.
- Pueyo, S., Fearnside, P.M. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15: 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02
- Ramaswamy, V. & 40 outros. 2001. Radiative forcing of climate change, In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.G., Noguer, M., Van der Linden, R.J., Xiaosu, D. (Eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 349-416. [Disponível em: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm].
- Rhodes, S., Wazlaw, J., Chaffee, C., Kommonen, F., Apfelbaum, S., Brown, L. 2000. *A Study of the Lake Chelan Hydroelectric Project Based on Life-cycle Stressor-effects Assessment*. Final Report. Scientific Certification Systems, Oakland, California, E.U.A. 193 p. [Disponível em: http://www.chelanpud.org/relicense/study/refer/4841_1.pdf].
- Ribeiro, F.M., da Silva, G.A. 2010. Life-cycle inventory for hydroelectric generation: a Brazilian case study. *Journal of Cleaner Production* 18: 44-54. doi: 10.1016/j.jclepro.2009.09.006.
- Richey, J.E., Melack, J.M., Aufdenkampe, K., Ballester, V.M., Hess, L.L. 2002. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source at atmospheric CO₂. *Nature* 416: 617-620.
- Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Matvienko, B., dos Santos, E.O., Sikar, E. 2004. Greenhouse gases emissions by hydroelectric reservoirs in tropical regions. *Climatic Change* 66: 9-21. doi: 10.1023/B:CLIM.0000043158.52222.ee.
- Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Matvienko, B., Sikar, E., dos Santos, E.O. 2006b. Scientific errors in the Fearnside comments on greenhouse gas emissions (GHG) from hydroelectric dams

- and response to his political claiming. *Climatic Change* 75: 91-102. doi: 10.1007/s10584-005-9046-6.
- Rosa, L.P., dos Santos, M.A., Tundisi, J.G., Sikar, B.M. 1997. Measurements of greenhouse gas emissions in Samuel, Tucuruí and Balbina Dams – Brazil. In: L.P. Rosa, M.A. dos Santos (eds), *Hydropower Plants and Greenhouse Gas Emissions*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, p. 41-55.
- Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., Matvienko Sikar, E. 2006a. *Emissões de Dióxido de Carbono e de Metano pelos Reservatórios Hidrelétricos Brasileiros. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Relatórios de Referência*. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF, 118 p. [Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8855.pdf].
- Rosa, L.P., Schaeffer, R., Santos, M.A. 1996. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of greenhouse gases? *Environmental Conservation* 66: 2-6. doi: 10.1017/S0376892900038194.
- Schimmel, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (Eds.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 65-131. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf].
- Shindell D.T. & 24 outros. 2012. Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science* 335: 183-189. doi: 10.1126/science.1210026.
- Shine, K.P. 2009. The global warming potential—the need for an interdisciplinary retrieval. *Climatic Change* 96, 467-472. doi: 10.1007/s10584-009.9647-6.
- Shine, K.P. & 44 outros. 1995. Radiative Forcing, In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Lee, H., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (Eds.), *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 163-203. [Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/cc1994/climate_change_1994.pdf].
- Sikar, E., Matvienko, B., Santos, M.A., Rosa, L.P., Silva, M.B., Santos, E.O., Rocha, C.H.E.D., Bentes Jr., A.P. 2009. Tropical reservoirs are bigger carbon sinks than soils. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 30: 838-840.
- Steinhurst, W., Knight, P., Schultz, M. 2012. *Hydropower Greenhouse Gas Emissions: State of the Research*. Synapse Energy Economics, Inc., Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 24 p. [Disponível em: <http://www.cusli.org/Portals/0/files/conference/2014/Hydropower-GHG-Emissions-Feb.-14-2012.pdf>].
- Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R., Lucotte, M. 2004. Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States. *Global Biogeochemical Cycles* 18, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.
- Therrien, J. 2004. *Flux de Gaz à Effet de Serre en Milieux Aquatiques - Suivi 2003*. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec, GENIVAR Groupe Conseil Inc. Québec City, Québec, Canadá. 52 p. + annexes.
- Therrien, J. 2005. *Aménagement Hydroélectrique de l'Estmain-1 - Étude des Gaz à Effet de Serre en Milieux Aquatiques 2003-2004*. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. à la Société d'énergie de la Baie James. GENIVAR Groupe Conseil Inc. Québec City, Québec, Canadá, 48 p. + annexes.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. *U.N. Framework Convention on Climate Change*. UNFCCC, Bonn, Alemanha. [Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>].
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2012. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 de dezembro de 2011 [Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a02.pdf>].
- van Kooten, G.C., Grainger, A., Ley, E., Marland, G., Solberg, B. 1997. Conceptual issues related to carbon sequestration: Uncertainty and time. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 27(special): S65-S82. doi: 10.1080/10643389709388510.
- Vattenfall. 2008. *Vattenfall AB Generation Nordic Certified Environmental Product Declaration EPD® of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower*. Report No. S-P-00088, Vattenfall, Stockholm, Suécia. 50 p. [versão de 2011 disponível em: <http://www.environdec.com/en/Detail/?Epd=7468#.VK1Bh5UtF1s>].
- Zhang, Q., Karney, B., MacLean, H.L., Feng, J. 2007. Life-cycle inventory of energy use and greenhouse gas emissions for two hydropower projects in China. *Journal of Infrastructure Systems* 13(4): 271-279. doi: 10.1061/_ASCE_1076-0342_2007_13:4_271_.