

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

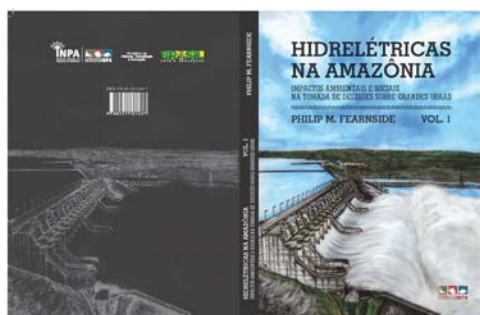
Fearnside, P.M. 2015. Belo Monte e Altamira (Babaquara): As hidrelétricas planejadas no Rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa. pp. 249-278. In: *Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras. Vol. 1*. Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil. 296 pp.

ISBN: print: 978-85-211-0143-7 online: 978-85-211-0151-2

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-V1/Livro%20Hidrelétricas%20V.1.pdf

Republicação de:

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.

Capítulo 14

As Hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como Fontes de Gases de Efeito Estufa

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

Publicação original:

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.

RESUMO

Calcular as emissões de gases de efeito estufa de barragens hidrelétricas é importante no processo de tomada de decisão em investimentos públicos nas várias opções para geração e conservação de energia elétrica. A proposta da hidrelétrica de Belo Monte (antigamente Kararaô) e sua contrapartida rio acima, a hidrelétrica de Altamira (mais conhecida por seu nome anterior: Babaquara) está no centro das controvérsias sobre como deveriam ser calculadas as emissões de gases de efeito estufa de represas. A hidrelétrica de Belo Monte por si só teria uma área de reservatório pequena (440 km²) e capacidade instalada grande (11.181,3 MW) [Obs.: alterado para 11.233 MW e 516 km² no EIA de 2009], mas a represa de Babaquara que regularizaria a vazão do rio Xingu (aumentando assim a geração de energia de Belo Monte) inundaria uma vasta área (6.140 km²). Está previsto que, em cada ano, o nível d'água em Babaquara vai variar em 23 m, expondo assim repetidamente uma área de 3.580 km² (a zona de deplecionamento), onde cresceria rapidamente uma vegetação herbácea, de fácil decomposição. Belo Monte e Babaquara representam um desafio ao ainda principiante sistema brasileiro de avaliação de impacto ambiental e licenciamento de obras. O procedimento atual considera cada projeto de infra-estrutura isoladamente, em lugar de avaliar a gama completa de impactos que o conjunto como um todo provocaria. Neste caso, as características excepcionalmente favoráveis (em certos aspectos) da primeira barragem (Belo Monte) são altamente enganadoras como indicações das consequências ambientais de uma decisão para construir aquela obra. Os impactos principais serão provocados pelos reservatórios muito maiores rio acima, começando pelo de Babaquara e, possivelmente, outras quatro represas planejadas na bacia do Xingu, que inundariam grandes áreas de floresta tropical e terra indígena, além de emitir gases de efeito estufa. A presente análise indica que o complexo Belo Monte/Babaquara não teria um saldo positivo, em termos de emissões de gases de efeito estufa, comparado ao gás natural, até 41 anos após o enchimento da primeira represa. Isto, na forma de cálculo mais favorável para hidrelétricas, com zero de desconto para os impactos no aquecimento global, essencialmente como se o impacto pesado nos primeiros anos fosse um empréstimo sem juros. A aplicação de qualquer taxa de desconto acima de 1,5% ao ano resulta no complexo não ter um saldo positivo, comparado ao gás natural, até o final

do horizonte de tempo de 50 anos usado no Brasil em avaliações de projetos propostos de energia. O impacto sobre o aquecimento global de represas é uma indicação da necessidade de o País reavaliar as suas políticas atuais, que alocam grandes quantias de energia da rede nacional para uma indústria subsidiada de exportação de alumínio.

Palavras-Chave: Aquecimento global, Barragens, Efeito estufa, Hidrelétricas, Metano, Represas, Reservatórios

INTRODUÇÃO

A proposta da hidrelétrica de Belo Monte, no rio Xingu (um afluente do rio Amazonas no Estado de Pará), é o foco de intensa controvérsia devido à magnitude e à natureza dos seus impactos. A hidrelétrica de Belo Monte ficou conhecida pela ameaça que representa aos povos indígenas por facilitar uma série de represas planejadas rio acima em áreas indígenas. O impacto de Belo Monte sobre o efeito estufa provém das represas rio acima, projetadas para aumentar substancialmente a produção elétrica de Belo Monte e para regularizar a vazão do rio Xingu, altamente sazonal. O reservatório de Belo Monte é pequeno relativamente à capacidade de suas duas casas de força, mas os cinco reservatórios rio acima seriam grandes, até mesmo pelos padrões amazônicos. O maior desses reservatórios é a represa de Babaquara, recentemente renomeada de "Altamira", num esforço aparentemente com o propósito de escapar do ônus da crítica que os planos para Babaquara atraíram ao longo das últimas décadas (o inventário inicial para a obra começou em outubro de 1975).

A ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil) primeiro propôs a hidrelétrica de Kararaô (agora chamada de "Belo Monte") com cálculos de geração de energia que presumiram a regularização da vazão a montante por, pelo menos, uma represa (Babaquara) (CNEC 1980). A série de represas no rio Xingu teria consequências sérias para os povos indígenas e para as grandes áreas de floresta tropical que os reservatórios inundariam (Santos & de Andrade 1990, Sevá 2005). Dificuldades na obtenção de aprovação ambiental levaram à formulação de um segundo plano para Belo Monte, com cálculos que não presumiram nenhuma regularização da vazão rio acima (Brasil, ELETRONORTE 2002). O estudo de viabilidade para o segundo plano deixou claro que a necessidade para uma análise sob da suposição de vazão não regularizada originou "da necessidade de reavaliação deste inventário

sob uma nova ótica econômica e sócio-ambiental” (i.e., devido a considerações políticas), e que “a implantação de qualquer empreendimento hidrelétrico com reservatório de regularização a montante de Belo Monte aumentará o conteúdo energético dessa usina” (Brasil, ELETRONORTE 2002, pág. 6-82).

Mais tarde, dificuldades na obtenção de aprovação ambiental levaram a ELETRONORTE a iniciar uma terceira análise com várias possíveis capacidades instaladas menores: 5500, 5900 e 7500 MW (Pinto, 2003). A potência menor seria mais compatível com a hipótese de ter uma única barragem (Belo Monte) no rio Xingu, que tem um vazão altamente sazonal que deixaria muitas das turbinas ociosas durante a maior parte do ano no caso de ter mais de 11 mil MW instalados. No entanto, a elaboração de planos mais modestos não implicavam de nenhuma maneira que uma decisão foi tomada para não construir a barragem de Babaquara (Altamira) a montante de Belo Monte. Pelo contrário, preparações para a construção de Babaquara (Altamira) foram incluídas no Plano Decenal 2003-2012 do setor elétrico (Brasil, MME-CCPESE, 2002) e planos para a represa foram apresentados por ELETRONORTE como progredindo normalmente rumo à construção (Santos, 2004).

Após a aprovação pelo Congresso Nacional da construção de Belo Monte, em 2005, os desenhos revisados com potências mais modestas para Belo Monte foram abandonados, com o plano atual até ultrapassando um pouco a potência prevista no plano de 2002, ficando em 11.233,1 MW (Brasil, ELETROBRÁS, 2009). A pequena diferença da potência no plano de 2002 é devido ao aumento da capacidade instalada da usina suplementar (que turbina água destinada para a vazão sanitário na Volta Grande do Rio Xingu) de 181,3 para 233,1 MW.

O cenário de uma só barragem retratado no estudo de viabilidade de Belo Monte (Brasil, ELETRONORTE, 2002) e nos dois estudos de impacto ambiental (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 2002]a, Brasil, ELETROBRÁS, 2009) parece representar uma ficção burocrática que foi traçada com a finalidade de ganhar a aprovação ambiental para Belo Monte (Fearnside, 2006). O cenário usado, então, no atual trabalho se aparece bem mais provável como uma representação do impacto real do projeto, com Belo Monte sendo construída de acordo com o estudo de viabilidade (Brasil, ELETRONORTE, 2002), seguido por Babaquara (Altamira), conforme

os planos anteriores (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1988]). Belo Monte não pode ser considerado sozinho sem levar em conta os impactos das represas a montante, especialmente a Babaquara (Altamira). Entre os muitos impactos das represas a montante que devem ser avaliados, um é o papel delas na emissão de gases de efeito estufa. Na presente análise, serão apresentadas estimativas preliminares para as emissões de Belo Monte e de Babaquara. Se as outras quatro barragens planejadas forem construídas, elas teriam impactos adicionais a serem considerados.

HIDRELÉTRICAS E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A Belo Monte está no centro das controvérsias em curso sobre a magnitude do impacto no aquecimento global das represas hidrelétricas e sobre a maneira apropriada deste impacto ser quantificado e considerado no processo de tomada de decisão. Quando os primeiros cálculos de emissão de gases de efeito estufa das represas existentes na Amazônia brasileira indicaram impacto significativo (Fearnside, 1995a), esta conclusão foi atacada, apresentando um caso hipotético que correspondeu à Belo Monte, com uma densidade energética de mais de 10 Watts de capacidade instalada por m² de área de superfície de reservatório (Rosa *et al.*, 1996). Além de a metodologia adotada provocar cálculos hipotéticos que subestimem o impacto sobre emissão de gases de efeito estufa, o problema principal é omitir as emissões da hidrelétrica de Babaquara, com 6.140 km² rio acima de Belo Monte (Fearnside, 1996a). Este problema básico permanece hoje, mesmo depois de muitos avanços em estimativas de emissões de gases de efeito estufa.

A área relativamente pequena da hidrelétrica de Belo Monte, sozinha, indica que as emissões de gases de efeito estufa da superfície do reservatório serão modestas, e quando estas emissões são divididas pelos 11,181 MW de capacidade instalada da barragem, o impacto parece ser baixo em comparação aos benefícios. Esta é a razão de se usar a “densidade energética” (Watts de capacidade instalada por metro quadrado de área d’água) como a medida do impacto de uma represa sobre o aquecimento global. Apresentando a Belo Monte como uma represa ideal sob uma perspectiva de aquecimento global, Luis Pinguelli Rosa e colaboradores (1996) calcularam esta relação como excedendo ligeiramente 10 W/m², baseado na área do reservatório originalmente

planejada de 1.225 km² (o índice seria de 25 W/m² sob as mesmas hipóteses, quando considerada a área atualmente planejada de 440 km²).

Os regulamentos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto atualmente permitem crédito de carbono para grandes represas sem restrições, mas foi proposto pelo conselho executivo do MDL, reunindo em Buenos Aires em dezembro de 2004, que estes créditos sejam restritos a barragens com densidades energéticas de pelo menos 10 W/m² de área de reservatório (UNFCCC, 2004, p. 4), coincidentemente a marca alcançada para Belo Monte segundo o cálculo de Rosa *et al.* (1996). A possibilidade de reivindicar crédito de carbono para Belo Monte foi levantada em várias ocasiões tanto por funcionários do governo brasileiro como do Banco Mundial. Uma densidade energética tão alta quanto 10 W/m² para Belo Monte requer que esta barragem seja considerada independente da represa de Babaquara que regularizaria a vazão em Belo Monte, armazenando água rio acima. A configuração de 2002 para as duas barragens juntas, com 11.000 + 181,3 + 6.274 = 17.455 MW de capacidade instalada, e 440 + 6.140 = 6.580 milhões de m² de área de reservatório é de 2,65 W/m² de reservatório. Isto não é muito melhor que a densidade energética de Tucuruí-I (1,86 W/m²), e muito inferior a 10 W/m². Posteriormente, o limite para crédito para hidrelétricas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi fixado em 4 W/m², também um valor bem acima da densidade energética para as duas barragens juntas.

No caso de Belo Monte, duas razões fazem com que este índice seja altamente enganador como medida do impacto do projeto sobre o efeito estufa. Primeiro, as emissões de superfície (que são proporcionais à área do reservatório) representam apenas uma parte do impacto de aquecimento global de projetos hidrelétricos: as quantidades de metano liberadas pela passagem da água pelas turbinas (e vertedouros) dependem muito dos volumes de água que atravessam estas estruturas. O volume deste fluxo pode ser grande, até mesmo quando a área do reservatório é pequena, como em Belo Monte. A segunda razão é que o maior impacto do projeto global é das represas rio acima. Para cumprir o papel de armazenamento e liberação da água para abastecer Belo Monte durante a estação seca, as represas a montante devem ser manejadas com a maior oscilação

possível nos seus níveis d'água. Afinal de contas, se estas barragens fossem usadas "a fio d'água" (*i.e.*, sem oscilações do nível d'água no reservatório) o resultado não seria nada melhor que o rio sem a vazão regulada, do ponto de vista de aumentar a produção de Belo Monte. É esta flutuação no nível d'água que faz das represas rio acima fontes potencialmente grandes de gases de efeito estufa, especialmente a de Babaquara. É esperada uma variação no nível d'água do reservatório de Babaquara de 23 m ao longo do curso de cada ano (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1989]). Para fins de comparação, o nível d'água no reservatório de Itaipu varia em apenas 30-40 cm. Cada vez que o nível d'água em Babaquara atingisse seu nível mínimo operacional normal, seria exposto um vasto lamaçal de 3.580 km² (aproximadamente o tamanho do reservatório de Balbina inteiro!). Vegetação herbácea, de fácil decomposição, crescerá rapidamente nesta zona, conhecida como a zona de "deplecionamento", ou de "drawdown". Quando o nível d'água subisse subsequente, conseqüentemente a biomassa se decomporia no fundo do reservatório, produzindo metano.

CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS DE BELO MONTE E BABAQUARA

Belo Monte

A configuração do reservatório de Belo Monte é altamente incomum, e os cálculos de gases de efeito estufa deveriam ser desenvolvidos especificamente para estas características. O reservatório é dividido em duas partes independentes. O "Reservatório da Calha do Rio Xingu" ocupa o curso do rio Xingu acima da barragem principal, localizada em Sitio Pimentel (Figura 1). O vertedouro principal tira água deste reservatório, assim como uma pequena "casa de força complementar" (181,3 MW de capacidade instalada no plano de 2002, aumentado para 233,1 MW no plano de 2009) que, em períodos de alta vazão, fará uso de parte da água que não pode ser usada pela casa de força principal. Quantidade maior da água será desviada a partir da lateral do Reservatório da Calha, por meio de canais de adução, até o Reservatório dos Canais, ao término do qual se encontram as tomadas d'água para as turbinas na casa de força principal (11.000 MW). O Reservatório dos Canais também dispõe de pequeno vertedouro para casos de emergência. São apresentadas as características dos reservatórios na Tabela 1.

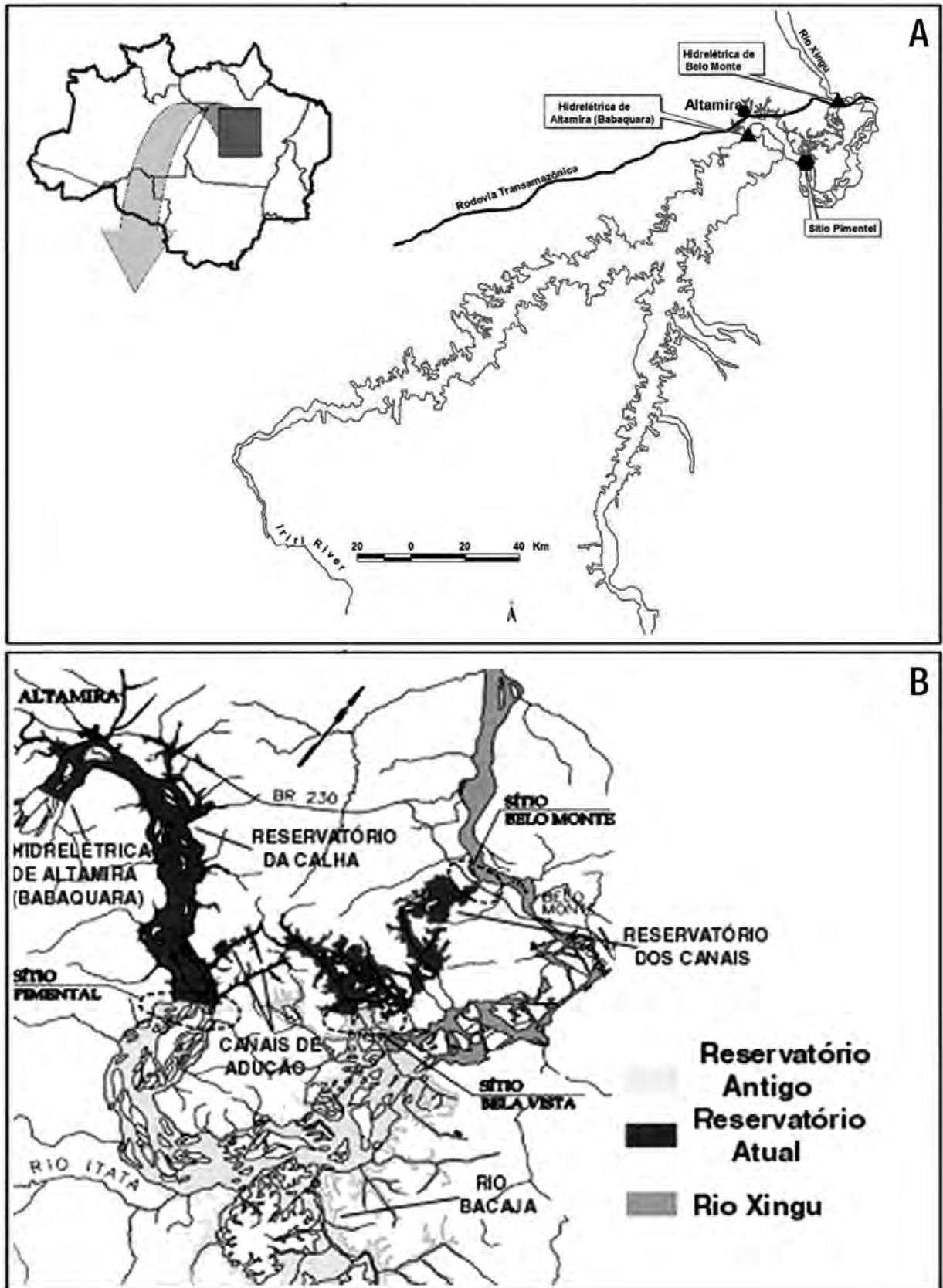


Figura 1. A.) Babaquara (Altamira) Reservatório; B.) Reservatórios de Belo Monte da Calha e dos Canais. Fontes: Babaquara: Brasil, ELETRONORTE s/d[C. 1988]; Belo Monte: Brasil, ELETRONORTE s/d[C. 2002]a.

Tabela 1. Características Técnicas das Represas de Belo Monte (Kararaô) e Babaquara (Altamira)

Item	Unidades	Belo Monte (Kararaô)		Total Belo Monte	Babaquara (Altamira)	Nota
		Reservatório da Calha	Reservatório dos canais			
Área do reservatório no nível máximo operacional normal	km ²	333	107	440	6.140	
Área do reservatório no nível mínimo operacional normal	km ²	333	102	438	2.560	
Área de deplecionamento	km ²	0	5	5	3.580	
Varição do nível d'água	m	0	1		23	
Volume no nível máximo operacional normal	Bilhão de m ³	2,07	1,89	3,96	143,5	
Volume no nível mínimo operacional normal	Bilhão de m ³	2,07	1,79	3,86	47,16	
Volume de armazenamento vivo	Bilhão de m ³	0	0,11	0,11	96,34	
Profundidade média	m	6,2	17,7	9,0	23,4	
Tempo de residência média	dias	3,1	2,8	5,8	211,6	(a)
Comprimento do reservatório	km	60	87	147	564	
Comprimento do perímetro da margem	km	361	268	629	2.413	(b)
Número de turbinas	Número	7	20	27	18	
Produção de máximo por turbina	MW	25,9	550	--	348,6	
Capacidade instalada	MW	181,3	11.000	11.181,3	6.274	
Consumo de água por turbina	m ³ /s	253	695	--	672	
Consumo de água total	m ³ /s	1.771	13.900	15.671	12.096	
Vazão médio	m ³ /s			7.851	7.851	(c)
Elevações						
Nível máximo operacional normal	m sobre o mar	97	97	--	165	
Nível mínimo operacional normal	m sobre o mar	97	96	--	142	(d)
Nível do vertedouro	m sobre o mar	76	79,52	--	145	(e)
Nível do canal de adução	m sobre o mar	--	84	--	--	
Eixo da entrada das turbinas	m sobre o mar	80	65	--	116,5	
Outros parâmetros						
Área de drenagem	km ²			447.719		
Evaporação anual	mm			1.575		
Precipitação anual	mm			1.891		
Localização	Latitude	03° 26 ' S	3° 7 ' 35 " S		3° 18 ' 0 " S	
	Longitude	51° 56 ' O	51° 46 ' 30 " O		52° 12'30"O	

(a) Presume que toda a água é usada pela casa de força principal em Belo Monte.

(b) Presume-se que Babaquara tem a mesma relação entre o perímetro da margem e o comprimento que em Belo Monte.

(c) Vazão é a média para 1931-2000 calculada no EIA para Belo Monte. Um vazão "sintético" mais alto " de 8.041 m³/s foi calculado por Maceira & Damázio (s/d) para Babaquara.

(d) O Reservatório dos Canais terá um manejo de água incomum, com o nível mantido em 96 m durante a estação de alto fluxo e 97 m durante a estação de baixo fluxo (Brasil, ELETRONORTE 2002).

(e) Solteira do vertedouro de Babaquara presumida a ser 20 m abaixo do nível operacional normal.

Para abastecer as turbinas da principal casa de força, com capacidade de turbinar 13.900 m³/segundo, água entrando nos canais fluiria numa velocidade média de 7,5 km/hora num canal de 13 m de profundidade, levando aproximadamente 2,3 horas para percorrer os 17 km do Reservatório da Calha até o Reservatório dos Canais. Isto será semelhante a um rio, ao invés de um reservatório. O Reservatório dos Canais, pelo qual a água levará, em média, 1,6 dia para passar, é de uma forma talvez sem igual na história de construção de barragens. Em vez do habitual vale inundado, onde a água flui pelo reservatório que segue a topografia descendente natural de

um rio e seus afluentes, a água no Reservatório dos Canais estará fluindo por uma série de vales perpendiculares à direção normal de fluxo d'água. A água passará entre cinco bacias diferentes, na medida em que atravessa os cursos dos igarapés que terão sido inundados, passando por gargalos rasos quando a água cruza cada um dos antigos interflúvios. Cada uma destas passagens, algumas das quais serão em canais escavados como parte do projeto de construção, oferecerá a oportunidade para quebrar qualquer termoclina que possa ter-se formado nos fundos de vale. É possível que só água da superfície, relativamente bem oxigenada e de baixo teor de metano,

fará a passagem por estes gargalos, deixando camadas relativamente permanentes de água rica em metano no fundo de cada vale. Portanto, o Reservatório dos Canais, de 60 km de comprimento, é uma cadeia de cinco reservatórios, cada um com um diferente tempo de reposição, sistema associado de “braços mortos” e potencial para estratificação. Quando a água alcançar o trecho final antes das tomadas d’água das turbinas, permanecerá lá apenas durante um tempo curto.

Babaquara (Altamira)

Em contraste com o volume pequeno do reservatório e tempo curto de reposição dos dois reservatórios de Belo Monte, o reservatório de Babaquara tem várias características que o fazem excepcionalmente nocivo como fonte de metano. Uma é a sua área enorme, do tamanho de Tucuruí e Balbina juntos. Outra é a área de deplecionamento extraordinariamente grande que será alternadamente inundada e exposta: 3.580 km² (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1989]).

O reservatório de Babaquara é dividido em dois braços, um dos quais terá um tempo de reposição muito lento. O reservatório inundará os vales dos rios Xingu e Iriri. Medidas grosseiras das áreas do reservatório (a partir de um mapa no Brasil, ELETRONORTE s/d. [C. 1988]) indicam que 27% da área de reservatório, aproximadamente, se encontra na bacia do rio Xingu abaixo da confluência dos dois rios, outros 27% na bacia do Xingu acima do ponto de confluência e 26% na bacia do rio Iriri. A vazão média (1976-1995) do rio Iriri é de 2.667 m³/segundo (Brasil, ANEEL 2001), enquanto a vazão no local da barragem de Babaquara (*i.e.*, abaixo da confluência) é de 8.041 m³/segundo (Maceira & Damázio, s/d). Presumindo que a porção do reservatório abaixo da confluência (a porção mais próxima à represa) é três vezes mais funda, então, em média, com os outros dois segmentos, o tempo de residência no reservatório de Babaquara da água que desce o rio Xingu é de 164 dias e de 293 dias para a água que desce do rio Iriri. Embora o tempo de residência seja muito longo em ambos os casos, tempo bastante para acumular uma grande carga de metano, o tempo para a parte no Iriri quase alcança o do tempo de residência de 355 dias da notória represa de Balbina! A tremenda diferença entre Babaquara e Belo Monte, com oscilações verticais em níveis d’água que variam desde zero

no Reservatório dos Canais de Belo Monte até 23 m em Babaquara, indica que um modelo explícito dos estoques de carbono e da sua decomposição é necessário, em lugar de uma extrapolação simples de medidas de concentrações de CH₄ e emissões em outras represas. O modelo desenvolvido para este propósito é descrito nas seções seguintes.

As relações entre a concentração de metano a profundidades diferentes e a concentração a 30 metros dependem da idade do reservatório. Estas relações são derivadas separadamente (Fearnside, 2008). Podem ser usadas as concentrações calculadas à profundidade unificada de 30 m para calcular às emissões de ebulição e de difusão, que apresentam relações regulares com a concentração a 30 m. Também podem ser calculadas as concentrações aos níveis do vertedouro e da tomada d’água das turbinas. Após a construção de Babaquara, a água que entra no reservatório de Belo Monte vai ter saída diretamente das turbinas de Babaquara, e, portanto, conterà quantidades apreciáveis de CH₄.

É presumida que o manejo de água em Babaquara segue uma lógica baseada em fornecer, anualmente, para Belo Monte a quantidade máxima possível de água, dentro das limitações posadas por: 1) o ciclo sazonal de vazões do rio, 2) o máximo que pode ser usado pelas turbinas em Babaquara, e 3) o volume de armazenamento vivo do reservatório de Babaquara. Isto resulta na esperada subida e descida anual do nível d’água. Durante cada mês ao longo de um período de 50 anos um cálculo é feito da área da zona de deplecionamento que permaneceu exposta durante um mês, dois meses, e assim sucessivamente até um ano, e uma categoria separada é mantida para área de deplecionamento exposta durante mais de um ano. A área que é submersa em cada classe de idade é calculada para cada mês. Isto permite um cálculo da quantidade de biomassa macia que é inundada, baseado em suposições relativo à taxa de crescimento da vegetação na zona de deplecionamento. A categoria para vegetação com mais de um ano de idade contém biomassa menos macia, já que o crescimento depois do primeiro ano é, em grande parte, alocado para a produção de madeira em lugar de para material mais macio (a biomassa foliar da floresta é usada para esta categoria).

A fração do CH₄ dissolvido que é liberado, entretanto, em transcurso de água pelo vertedouro e pelas turbinas dependerá da configuração dessas

estruturas. No caso do vertedouro em Babaquara, a queda de 48 m depois de emergir das comportas (Tabela 1) deveria garantir uma liberação praticamente completa. No caso das turbinas, no entanto, alguma parte do conteúdo de CH₄ provavelmente será repassada para o reservatório de Belo Monte, localizado imediatamente a jusante de Babaquara. O reservatório da calha de Belo Monte é planejado a se encostar contra a barragem de Babaquara, fazendo com que a água que emerge das turbinas de Babaquara será injetada diretamente no reservatório de Belo Monte, em lugar de fluir em um trecho de rio normal antes de entrar no reservatório. Porque a água puxada de fundo da coluna d'água do reservatório de Babaquara estará de baixa temperatura,

provavelmente afundará imediatamente para o hipolimnion quando entra no reservatório de Belo Monte. Seu conteúdo de CH₄ seria, então, parcialmente preservado, e este metano estaria sujeito à liberação quando a água emergir posteriormente das turbinas de Belo Monte.

FONTES DE CARBONO E CAMINHOS DE LIBERAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Gás carbônico

Parâmetros para a dinâmica e decomposição aeróbica da biomassa acima d'água são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros para a emissão gases da biomassa acima da água no reservatório de Babaquara

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Fração acima do solo	0,759		Fearnside, 1997b, pág. 337
Profundidade médio de zona de água de superfície	1	metro	Suposição, baseado em deterioração de madeira comercial,
Taxa de decomposição de folhas na zona sazonalmente inundada	-0,5	Fração/ano	Suposição.
Taxa de decomposição acima d'água (0-4 anos)	-0,1680	Fração/ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996b, pág.611) ^(*)
Taxa de decomposição acima d'água (5-7 anos)	-0,1841	Fração/ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996b, pág. 11)
Taxa de decomposição acima d'água (8-10 anos)	-0,0848	Fração/ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996b, pág. 611)
Taxa de decomposição acima d'água (> 10 anos)	-0,0987	Fração/ano	Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996b, pág. 611)
Conteúdo de carbono na madeira	0,50		Fearnside <i>et al.</i> , 1993
Biomassa total médio de floresta a Babaquara	244	Mg/ha	Revilla Cardenas (1988) para biomassa acima do solo; Fração acima do solo como acima.
Profundidade média da água ao nível mínimo operacional normal	18,4	metros	A 142 m sobre o mar
Profundidade média da água ao nível operacional normal	23,4	metros	A 165 m sobre o mar
Biomassa inicial presente: folhas	4,1	Mg/ha	Calculado de biomassa total e de Fearnside (1995a, pág. 12),
Biomassa inicial presente: madeira acima d'água	138,8	Mg/ha	Calculado de biomassa total e de Fearnside (1995a, pág. 12),
Biomassa inicial presente: abaixo do solo	58,8	Mg/ha	Calculado de biomassa total e de Fearnside (1995a, pág. 12),
Liberação de metano por térmitas em floresta	0,687	kg CH ₄ /ha/ano	Martius <i>et al.</i> , 1996, pág. 527
Liberação de metano por térmitas em biomassa acima d'água por Mg C se deteriorado por térmitas	0,0023	Mg CH ₄	Martius <i>et al.</i> , 1993
Por cento de decomposição mediado por térmitas acima do nível d'água máximo operacional normal	4,23	%	Martius <i>et al.</i> , 1996, pág. 527 para biomassa derrubada
Por cento de decomposição mediado por térmitas abaixo da linha d'água do nível máximo operacional normal	0	%	Baseado em Walker <i>et al.</i> , 1999.
Área total do reservatório ao nível operacional normal	6.140	km ²	
Área do leito fluvial	136	km ²	Revilla-Cardenas, 1988, pág. 87

Tabela 2. Continuação

Parâmetro	Valor	Unidades	Fonte
Área desmatada antes de inundar (zona de inundação permanente)	0	km ²	
Área total de floresta inundada	6.004	km ²	Calculado por diferença
Área de floresta original na zona de inundação permanente	2.424	km ²	Área da zona, menos o leito fluvial e a área previamente desmatada
Área de floresta original de zona de deplecionamento	3.580	km ²	Calculado por diferença entre a área de floresta e a área total
Taxa de quebra de troncos na altura da linha d'água para árvores > 25 cm DAP	0,063	Fração do estoque original/ano	Baseado em Walker <i>et al.</i> , 1999, pág. 245
Taxa de troncos que quebram na linha de água para árvores < 25 cm DAP	0,113	Fração do estoque original/ano	Baseado em Walker <i>et al.</i> , 1999, pág. 245
Taxa de queda de galhos (e presumida queda de troncos acima do primeiro galho)	0,094	Fração do estoque original/ano	Baseado em Walker <i>et al.</i> , 1999, pág. 245
Por cento da biomassa acima do solo de madeira viva em galhos e troncos acima do primeiro galho	30,2	%	Fearnside, 1995a, pág. 12 baseado em Klinge & Rodrigues, 1973
Por cento da biomassa de madeira acima do solo em troncos	69,8	%	Fearnside, 1995a, pág. 12 baseado em Klinge & Rodrigues, 1973
Por cento de biomassa de troncos > 25 cm DAP	66,0	%	Calculado abaixo
10-25 cm DAP como por cento de biomassa de fuste total em árvores vivas > 10 cm DAP	22	%	Brown & Lugo, 1992,
0-10 cm DAP como por cento de biomassa viva total acima do solo	12	%	Jordan & Uhl, 1978,
Fuste como por cento de biomassa viva total acima do solo em árvores vivas > 10 cm DAP	57,47	%	Baseado no fator de expansão de biomassa de 1,74 para biomassa de fuste > 190 Mg/ha em árvores vivas > 10 cm DAP (Brown & Lugo, 1992).
Biomassa viva acima do solo < 10 cm DAP	22,2	Mg/ha	Calculado a partir de informações acima .
Galhos como porcentagem de biomassa viva de fuste	51,4	%	Baseado em Brown & Lugo, 1992
Biomassa de galhos	55,9	Mg/ha	Calculado a partir de informações acima
Biomassa acima do solo de floresta	185,3	Mg/ha	Calculado de total e fração acima do solo
Biomassa de madeira viva acima do solo	155,5	Mg/ha	Biomassa total, menos o peso das folhas e da biomassa morta
Biomassa de madeira morta acima do solo	25,6	Mg/ha	Klinge, 1973, pág. 179
Biomassa viva de fuste	108,6	Mg/ha	Partilha baseada em Brown & Lugo, 1992
Biomassa viva de fuste 10-25 cm DAP	23,9	Mg/ha	Partilha baseada em Brown & Lugo, 1992
Biomassa viva de fuste < 10 cm DAP	13,0	Mg/ha	Jordan & Uhl, 1978
Biomassa viva de fuste 0-25 cm DAP	36,9	Mg/ha	Somado de acima
Biomassa viva de fuste > 25 cm DAP	71,7	Mg/ha	Partilha baseada em Brown & Lugo, 1992
Biomassa viva de fuste: acima da linha d'água	96,4	Mg/ha	Distribuição vertical interpolada de Klinge & Rodrigues, 1973
Biomassa viva de fuste: 0-25 cm DAP: acima da linha d'água	32,8	Mg/ha	Distribuição vertical interpolada de Klinge & Rodrigues, 1973
Biomassa viva de fuste: > 25 cm DAP: acima da linha d'água	63,6	Mg/ha	Distribuição vertical interpolada de Klinge & Rodrigues, 1973
Fração das árvores que flutuam	0,4	Fração	Richard Bruce, comunicação pessoal 1993; veja Fearnside, 1997a, pág. 61
Fração de galhos originais em árvores restantes que caem por ano	0,094	Fração	Calculado de Walker <i>et al.</i> , 1999.
Fração média da área de deplecionamento exposta anualmente	0,5	Fração	Estimativa aproximada baseado no nível do reservatório em 2000 em Balbina.

As emissões de biomassa acima d'água consideradas aqui são conservadoras por duas razões. Uma é que elas estão baseadas na vazão média do rio em cada mês e na suposição de que o manejo da água respeite o limite do nível mínimo normal previsto para o reservatório. Nenhuma consideração foi feita quanto à possibilidade de que o nível da água poderia ser abaixado além deste nível mínimo em anos extremamente secos, como em eventos de El Niño. A outra suposição conservadora é que a biomassa na zona de deplecionamento nunca se queima. Queimar é um evento ocasional, mas afeta quantidades significativas de biomassa quando isso acontecer. Durante a seca do El Niño de 1997-1998, os reservatórios de Balbina e de Samuel atingiram cotas muito inferiores aos níveis de operação oficialmente tidos como "mínimos", e áreas grandes das zonas de deplecionamento expandidas se queimaram. Embora seja provável que tais emissões às vezes acontecerão em Babaquara, elas não foram considerados nesta análise.

Emissões de Ecossistema de Pre-represa

As áreas dos ecossistemas naturalmente inundados e não inundados são apresentadas na Tabela 3. Os tipos de floresta sazonalmente inundados são considerados como pertencendo à "área inundada". No entanto, isto pode representar uma superestimativa da extensão verdadeira "área inundada", sendo que imagens de radar do Satélite de Recursos da Terra Japonês (JERS) indicam que praticamente nada da área do reservatório planejado tem inundação abaixo da cobertura da floresta (veja Melack *et al.*, 2004). No entanto, deveria ser lembrado que lagos temporários ao longo dos rios Xingu e Iriri existem: mapas analisados por de Miranda *et al.* (1988, p. 88) indicam de 28 a 52 lagos na área a ser inundada por Babaquara, dependendo do mapa usado na análise.

Os parâmetros para emissões de metano pela floresta não inundada (floresta de terra firme) são apresentados na Tabela 4. Estes indicam um efeito mínimo sobre o metano, com a perda de um sumidouro pequeno no solo quando inundado. Emissões de

Tabela 3. Área e Biomassa de vegetação ao Belo Monte e Babaquara^(a)

Tipo de vegetação	BABAQUARA			BELO MONTE		
	Área (km ²)	Por cento	Biomassa acima do solo ^(b) (Mg/ha peso seco)	Área (km ²)	Por cento	Biomassa acima do solo ^(b) (Mg/ha peso seco)
Vegetação não inundada						
Floresta aberta de terra firme [floresta aberta mista (FA) + floresta aberta submontana (FS)]	3.565,3	58,0	175,2			
Floresta aberta de terra firme sobre revelo acidentado				205,7	46,7	125,27
Floresta aberta de terra firme sobre revelo ondulado				11,9	2,7	201,9
Floresta secundária latifoliada	10,9	0,2	20,0 ^(c)	11,0	2,5	20,0
Vegetação inundada						
Floresta densa ciliar estacionalmente inundável ou Floresta Densa Ciliar (FC)	2.421,9	39,3	201,2	191,5	43,6	121,2
Floresta Aberta ciliar estacionalmente submersa (Formações pioneiras aluviais campestres)	5,6	0,1	60,0			
Nenhuma vegetação (canal de rio)						
Áreas sem cobertura vegetal	136,3	2,4	0,0	20,0	4,5	0,0
Totais						
Total de vegetação não inundada	3.576,3	58,2		228,5	51,9	
Total de vegetação inundada	2.427,5	39,4		191,5	43,6	
Vegetação total	6.003,7	97,6	185,3	420,0	95,5	122,8
Reservatório total	6.140,0	100,0		440,0	100,0	

(a) Dados de Revilla Cardenas (1987, p.55; 1988, p.87), com áreas ajustadas em proporção à estimativa de área de reservatório atual (6.140 km² para Babaquara; 440 km² para Belo Monte).

(b) Valores incluem Biomassa morto (littera e madeira morta), cipós, e o tapete de raízes.

(c) Valor para biomassa de floresta secundária acima do solo é aquele usado por Revilla Cardenas (1988) para Babaquara, baseado em dados de Tucuruí.

óxido nitroso (N_2O) em solo florestado não inundado são pequenas: 0,0087 Mg de gás/ha/ano (Verchot *et al.*, 1999, p. 37), ou 0,74 Mg/ha/ano de carbono CO_2 -equivalente, considerando o potencial de aquecimento global de 310 (Schimel *et al.*, 1996, p. 121).

Cálculos de óxido nitroso para floresta não inundada e para áreas inundadas são apresentados na Tabela 5. Os cálculos incluem o efeito da formação de poças temporárias em áreas de terra firme durante eventos periódicos de chuva pesada (Tabela 5).

Tabela 4. Fluxo evitado de metano da perda de floresta em Babaquara

Item	Valor	Unidades	Fonte
ABSORÇÃO PELO SOLO EM FLORESTA NÃO INUNDADA			
Absorção anual média de CH_4 em florestas não inundadas	-3,8	kg CH_4 /ha/ano	Potter <i>et al.</i> (1996) de 22 estudos
Área total de floresta inundada por reservatório	6.004	km ²	Baseado na área de reservatório de 6.140 km ² e leito do rio de Revilla Cardenas, 1988, pág. 87,
Área de floresta ribeirinha inundada por reservatório	2.427	km ²	Revilla Cardenas, 1988, pág. 87
Área de floresta de terra firme inundada por reservatório	3.576	km ²	Calculado por diferença
Fração de ano que floresta ribeirinha inunda naturalmente	0,17	Fração	presumido ser 2 meses, em média
Absorção por ha por ano em floresta ribeirinha	-3,17	kg CH_4 /ha/ano	Proporcional ao tempo não inundado
Absorção por ano em floresta ribeirinha	-768,70	Mg CH_4 /ano	Absorção por ha X área de floresta ribeirinha
Absorção por ano em floresta de terra firme	-1.358,98	Mg CH_4 /ano	Absorção por ha X área de floresta de terra firme
Absorção total por ano	-2.127,68	Mg CH_4 /ano	Somado por tipo de floresta
Potencial de efeito estufa (GWP) de CH_4	21	Mg gás de CO_2 equivalente / Mg gás de CH_4	Schimel <i>et al.</i> , 1996
CO_2 carbono equivalente/ano	-0,012	Milhões de Mg CO_2 - C equivalente /ano	Calculado de emissão de CH_4 , GWP, peso atômico de C (12) e peso molecular de CO_2 (44)
EMISSÃO ATRAVÉS DE TÉRMITAS DE FLORESTA			
Emissão/ha/ano	0,5	kg CH_4 /ha/ano	Fearnside, 1996b,
Equivalentes de Ha-ano de floresta	0,6	Milhões de equivalentes de ha-ano	Calculado a partir de informações acima
Emissão/ano	317,0	Mg CH_4 /ano	Calculado a partir de informações acima
CO_2 carbono equivalente/ano	0,0018	Milhões de Mg CO_2 equivalente/ano	Calculado como acima
EMISSÕES DE INUNDAÇÃO NATURAL DE FLORESTA INUNDADA PRE-REPRESA			
Emissão de metano de floresta inundada durante inundação natural	103,8	mg CH_4 /m ² /dia. Media de cinco estudos em floresta em várzea de água branca	(Wassmann & Martius, 1997, pág. 140)
Dias inundados por ano	59,4	dias,	Suposição como acima.
Emissão anual por km ²	6,2	Mg CH_4 /ano/km ²	Calculado a partir de informações acima
Emissão natural anual através de floresta inundada	14.961	Mg CH_4 /ano.	Calculado a partir de informações acima
CO_2 carbono equivalente/ano	0,086	Milhões de Mg CO_2 - C equivalente /ano	Calculado a partir de informações acima
Emissão anual ajustada para comprimento de ciclo		Mg CH_4 /ano	Considerando a emissão por ciclo (2 meses vs 6 meses)
CO_2 carbono equivalente/ano		Milhões de Mg CO_2 - C equivalente /ano	Calculado acima
EMISSÕES DE EVENTOS PERIÓDICOS DE FORMAÇÃO DE POÇAS EM FLORESTA DE TERRA FIRME			
Formação de poças em florestas de terra firme	1.801	km ² -dias/ano.	Calculado de área, 5% que inundam por evento (baseado em Mori & Becker, 1991) e presumiu frequência de 5-ano e duração de 30 dias
Emissão quando inundado ou com formação de poças	103,8	mg CH_4 /m ² /dia.	Presumido ser o mesmo que a floresta de várzea (como acima).
Emissão natural anual através de formação de poças	187,0	Mg CH_4 /ano	Calculado a partir de informações acima
CO_2 carbono equivalente/ano	0,001	Milhões de Mg CO_2 - C equivalente /ano	Calculado a partir de informações acima.
TOTAIS			
Emissão total de metano	43.259	Mg CH_4 /ano.	Calculado partir de informações acima, incluindo a ajuste para comprimento do ciclo.
CO_2 carbono equivalente/ano	0,248	Milhões de Mg CO_2 - C equivalente /ano	Calculado a partir de informações acima.

Tabela 5. Emissão evitada de óxido nitroso de perda de floresta em Babaquara

Item	Valor	Unidades	Fonte
EMISSIONES DE FLORESTA NÃO INUNDADA			
Emissão anual média de N ₂ O do solo em florestas não inundadas	8,7	kg N ₂ O/ha/ano	Verchot <i>et al.</i> , 1999, pág. 37
Área total de floresta inundada por reservatório	6.004	km ²	Baseado em 6.140 área de reservatório de km ² e leito fluvial de Revilla Cardenas, 1988, pág. 87,
Área de floresta inundada submersa pelo reservatório	2.427	km ²	Revilla Cardenas 1988, pág. 87
Área de floresta de terra firme inundada por reservatório	3.576	km ²	Calculado por diferença
Fração do ano que floresta inundada é submersa naturalmente	0,17	Fração	Assumido 2 meses em média
Emissão por ha por ano em floresta inundada	7,23	kg N ₂ O/ha/ano	Proporcional ao tempo não inundado
Emissão por ano em floresta ribeirinha	1.755,6	Mg N ₂ O/ano	Emissão por ha X área de floresta inundada
Emissão por ano em floresta de terra firme	3.103,7	Mg N ₂ O/ano	Emissão por ha X área de floresta de terra firme
Emissão total por ano	4.859,3	Mg N ₂ O/ano	Somado por tipo de floresta
Potencial de efeito estufa (GWP) de N ₂ O	310	Mg CO ₂ gás equivalente / Mg gás de N ₂ O	Schimel <i>et al.</i> , 1996
Carbono CO ₂ equivalente/ano	0,411	Milhões de Mg CO ₂ - C equivalente /ano	Calculado de área e da emissão por hectare, peso atômico de C (12) e peso molecular de CO ₂ (44)
EMISSIONES DE INUNDAÇÃO			
Inundação de floresta inundada	404,6	km ² -dias/ano	Calculado de área e a presunção de 6 meses de inundação em médio
Emissão de formação de poças em florestas de terra firme	1.801,1	km ² -dias/ano	Calculado da área, 5% inundados por evento (baseado em Mori & Becker, 1991) e presumindo frequência de 5 anos e uma duração de 30 dias
Emissão quando inundada	7,6	kg de N ₂ O/km ² -dia	7,6 mg N ₂ O/m ² /dia (médias dos reservatórios de Tucuruí e Samuel: de Lima <i>et al.</i> , 2002)
Emissão de inundação de floresta inundada	3,1	Mg N ₂ O/ano	Inundando (km ² /dia) X emissão/km ² /dia
Emissão de formação de poças em florestas de terra firme	13,7	Mg N ₂ O/ano	Formação de poças (km ² -dias) X Emissão/km ² /dia
Emissão total de inundação	16,8	Mg N ₂ O/ano	Soma de emissões de inundação.
Carbono CO ₂ equivalente/ano	0,001	Milhões de Mg CO ₂ C equivalente /ano	Calculado do GWP como acima.
EMISSION TOTAL			
Emissão total de perda de floresta	4.876,0	Mg N ₂ O/ano	Soma de floresta de não inundada, formação de poças e emissões inundando
CO ₂ carbono equivalente/ano	0,412	Milhões de Mg CO ₂ C/ ano equivalente	Calculado de GWP como acima.

Presumindo as mesmas taxas de emissão como as medidas nos estudos de várzea de água branca (o Xingu é considerado um rio de água clara, mais semelhante à água branca do que água preta), a emissão anual seria equivalente a apenas 0,043 milhões de toneladas de carbono equivalente a carbono de CO₂ em Babaquara em uma base diária, ou 0,248 milhões de

toneladas de carbono CO₂-equivalente se este resultado for multiplicado por três para aproximar o efeito da estação de enchente mais curta (2 meses contra 6 meses). Os ajustes resultantes para o efeito dos ecossistemas pré-represa são muito pequenos, como será mostrado mais adiante quando serão calculadas as emissões líquidas para as duas represas.

EMISSÕES DE CONSTRUÇÃO

Represas, obviamente, requerem muito mais materiais, como aço e cimento, do que instalações equivalentes movidas a combustível fóssil, como as usinas termoelétricas a gás que estão sendo construídas atualmente em São Paulo e em outras cidades no Centro-Sul brasileiro. São calculadas as quantidades de aço usadas na construção de Belo Monte baseado nos pesos dos itens listados no estudo de viabilidade (Brasil, ELETRONORTE, 2002). Para Babaquara, supõe-se que a quantidade de aço usada em equipamento eletromecânico é proporcional à capacidade instalada, enquanto presume-se que a quantidade de aço em concreto armado é proporcional ao volume de concreto (dados de: da Cruz, 1996, p. 18). São calculadas as quantidades em Babaquara proporcionalmente às quantidades usadas em Belo Monte. Uso de aço calculado em Belo Monte totaliza 323.333 Mg, enquanto o uso em Babaquara totaliza 303.146 Mg.

A quantidade de cimento usada em cada barragem é estimada em 848.666 Mg, baseado no total dos itens listados no estudo de viabilidade (Brasil, ELETRONORTE, 2002). Para Babaquara, uso de cimento é calculado em 1.217.250 Mg baseado no volume de concreto (dados de: da Cruz, 1996, p., 18) e a média de conteúdo de cimento presumido de 225 kg/m³ de concreto (Dones & Gantner, 1996). A Belo Monte é excepcionalmente modesta no uso de cimento porque o local permite que a barragem principal (Sitio Pimentel) seja construída em um local que é mais alto em elevação que a casa de força principal (o Sitio Belo Monte). A barragem principal tem uma altura máxima de apenas 35 m (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo I, pág. 6-33), enquanto a casa de força principal aproveita uma queda de referência de 87,5 m (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo I, pág. 3-52). A maioria dos projetos hidrelétricos, como Babaquara ou Tucuruí, tem a casa de força localizada ao pé da própria barragem, e portanto só gera energia de uma queda que corresponde à altura da barragem menos uma margem pequena para borda livre ao topo. Tucuruí, que é até agora a “campeã” de todas obras públicas brasileiras em termos de uso de cimento, usou três vezes mais cimento do que a quantidade prevista para Belo Monte (Pinto, 2002, pág. 39). A Babaquara usaria

2,6 vezes mais cimento por MW de capacidade instalada do que a Belo Monte.

É esperado que a quantidade de diesel usada para Belo Monte seja 400×10^3 Mg (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo II, p. 8-145). Isto inclui um ajuste das unidades (como informado no estudo de viabilidade) para trazer os valores dentro da faixa geral de uso de combustível em outras barragens (por exemplo, Dones & Gantner, 1996 calcularam um uso médio de 12 kg diesel/TJ para barragens na Suíça). O estudo de viabilidade contém várias inconsistências internas nas unidades, que presumivelmente resultaram de erros tipográficos. A Belo Monte exige uma quantidade bastante grande de escavação por causa da necessidade para cavar o canal de adução que conecta o Reservatório da Calha ao Reservatório dos Canais, e várias escavações menores são projetadas nos gargalos dentro do Reservatório dos Canais. A quantidade esperada de escavação para estes canais aumentou substancialmente entre a versão do estudo da viabilidade de 1989 e a de 2002 porque foram descobertos erros na cartografia topográfica da área (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo I, p. 8-22). Para Babaquara presume-se que o uso de diesel será proporcional à quantidade de escavação planejada naquela represa (da Cruz, 1996, p. 18).

As estimativas de materiais para construção de represas e linhas de transmissão são apresentadas na Tabela 6. Os totais resultantes (0,98 milhões de Mg C para a Belo Monte e 0,78 milhões de Mg C para Babaquara) são muito pequenos comparado às emissões posteriores dos reservatórios. Não foram deduzidas destes totais as emissões da construção das termoelétricas a gás equivalentes. A emissão de construção de instalações de gás natural é mínima: uma análise de ciclo de vida de usinas a gás de ciclo combinada em Manitoba, Canadá indica emissões de CO₂ de construção de apenas 0,18 Mg equivalente/GWh (McCulloch & Vadgama, 2003, p. 11).

EMISSÕES CALCULADAS DA BELO MONTE E BABAQUARA

O cálculo das emissões de gases de efeito estufa requer um cenário realista para o cronograma do

Tabela 6. Emissões de gás de efeito estufa de represa e construção de transmissão-linha

Item	Unidades	Emissão por unidade (kg CO ₂ -C equivalente)	Referência	Belo Monte				Babaquara			
				Nota	No. de unidades	Referência	Emissão (milhões de Mg CO ₂ -C equivalente)	Nota	No. de unidades	Referência	Emissão (milhões de Mg CO ₂ -C equivalente)
Construção de represa											
Aço	Mg	600,0	(a)	(b)	323.333	(c)	0,194	(a)	303.146	(c)	0,182
Cimento	kg	0,207	(a)	(c)	848.666.000	(e)	0,176	(a)	1.217.250.000	(e)	0,252
Diesel	milhões de kg	863.280	(d)		135,1	(f)	0,117		76,8	(f)	0,066
Eletricidade	TWh	139.903.200	(g)		3,15	(h)	0,441		1,79	(h)	0,251
Sub-total de construção de represa							0,928	0,751			
Construção de linha de transmissão											
	km-MW instalado	1,9	(i)		29.596.901	(j)	0,055	(a)	17.046.458	(j)	0,032
Total de projeto							0,983	0,783			

- (a) Van Vate, 1995.
 (b) Usa GWPs de 100 anos de IPCC 1994: CO₂=1, CH₄=24,5, N₂O=320 (Albritton *et al.*, 1995).
 (c) Baseado em proporções relativas a Belo Monte (veja texto).
 (d) Usa GWPs de 100 anos de IPCC 1995 [valores do Protocolo de Kyoto]: CO₂=1, CH₄=21, N₂O=310 (Schimel *et al.*, 1996).
 (e) Baseado e volume de concreto (da Cruz, 1996, pág. 18) (veja texto).
 (f) Uso de diesel em Babaquara considerado proporcional à escavação planejada.
 (g) Baseado em substituição de gás de ciclo combinado em São Paulo (veja texto).
 (h) Uso de eletricidade na construção baseado em 280 kWh de eletricidade por TJ (Dones & Gantner, 1996). Emissões de eletricidade consideram o baseline de geração de gás natural em São Paulo (veja texto).
 (i) Média em Québec, Canadá (Peisajovich *et al.*, 1996).
 (j) A linha de transmissão de Belo Monte até a rede do centro-sul brasileiro vai para três destinos com uma distância má de 2647 km: Cachoeira Paulista-SP (2.662 km), Campinas-SP (2.599 km) e Ouro Preto-MG (2.680 km) (Brasil, MME-CCPESE, 2002). Babaquara tem 70 km adicionais de linha.

enchimento e da instalação das turbinas em Belo Monte e Babaquara, e para as políticas de manejo de água nas duas represas. Aqui se presume que Babaquara será enchida sete anos após Belo Monte (*i.e.*, que Belo Monte opera usando a vazão não regularizada do rio antes deste tempo). Este cronograma corresponde ao cenário menos-otimista no plano original (veja Sevá, 1990). As turbinas em ambas as represas serão instaladas a uma taxa de uma a cada três meses, ritmo (talvez otimista) previsto no estudo de viabilidade (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo II, pág. 8-171).

O presente cálculo segue os planos para enchimento do reservatório indicados no estudo de viabilidade. O Reservatório dos Canais será enchido primeiro até um nível de 91 m sobre o nível médio do mar. Isto será feito depois que a primeira enchente passar pelo vertedouro (Brasil, ELETRONORTE, 2002, p. 8-171). Presume-se que isto aconteça no mês de julho. A casa de força complementar será usada, então, a este nível reduzido do reservatório durante um ano antes da casa de força principal estar

pronta para uso, como planejado no Plano Decenal de ELETROBRÁS (Brasil, MME-CCPESE, 2002). O cenário de referência do Plano Decenal 2003-2012 estimou o começo de operação da casa de força complementar para fevereiro de 2011 e da casa de força principal para março de 2012.

Os resultados de um cálculo de 50 anos das fontes de carbono em formas facilmente degradadas para cada reservatório são apresentados na Figura 2. É evidente que todas as fontes são muito mais altas nos primeiros anos do que nos anos posteriores. Os estoques de carbono instável do solo, biomassa de madeira acima d'água e árvores mortas ao longo da margem diminuam, reduzindo assim as emissões destas fontes. As macrófitas diminuam, mas não desaparecem, provendo assim uma fonte a longo prazo que, nos anos posteriores, é de maior importância relativa, embora de menor em termos absolutos. O recrescimento da vegetação na zona de deplecionamento representa uma fonte estável a longo prazo de carbono de fácil degradação que aumenta em importância relativa à medida que as outras fontes declinem.

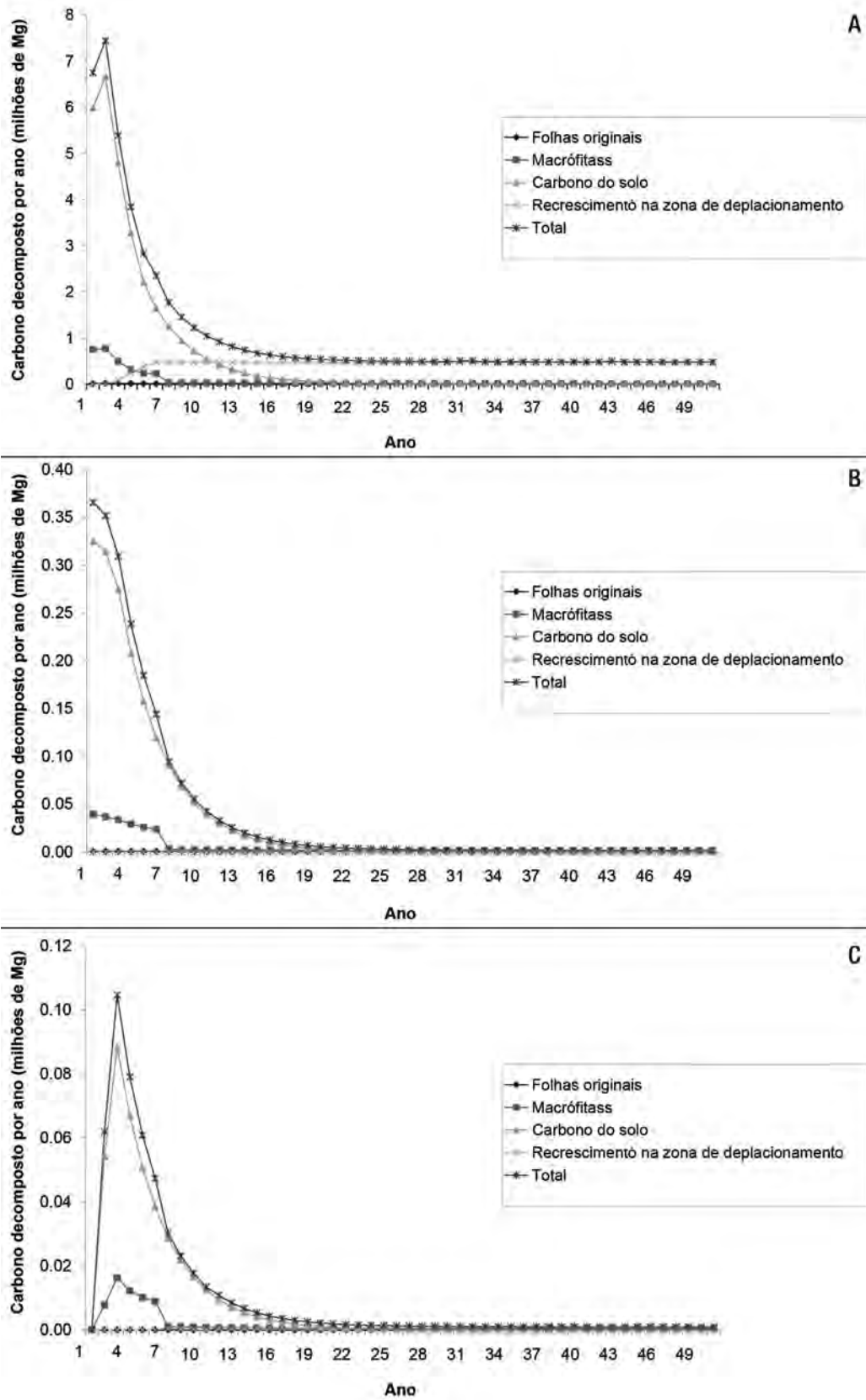


Figura.2. Fontes de carbono decomposto anaerobicamente: A.) Babaquara (Altamira) reservatório; B.) Belo Monte Reservatório da Calha; C.) Belo Monte Reservatório dos Canais.

São mostradas as concentrações de metano calculadas a uma profundidade padronizada de 30 m para cada reservatório na Figura 3. Estas concentrações calculadas seguem a tendência geral de oscilação sazonal e declínio assintótico observada em valores medidos em Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.*, 1999, p. 508). As oscilações são muito grandes em Babaquara depois que as diferentes fontes de carbono da vegetação de deplecionamento diminuísem em importância (Figura 3a).

São mantidos os picos grandes em concentração de metano em Babaquara, seguido por uma diminuição das concentrações durante o resto de cada ano. Os picos altos são mantidos porque o carbono vem da inundação de vegetação de deplecionamento quando a água sobe. Os picos de concentração resultam em emissões significativas porque estes períodos correspondem a períodos de fluxo alto de turbina para maximizar produção de energia.

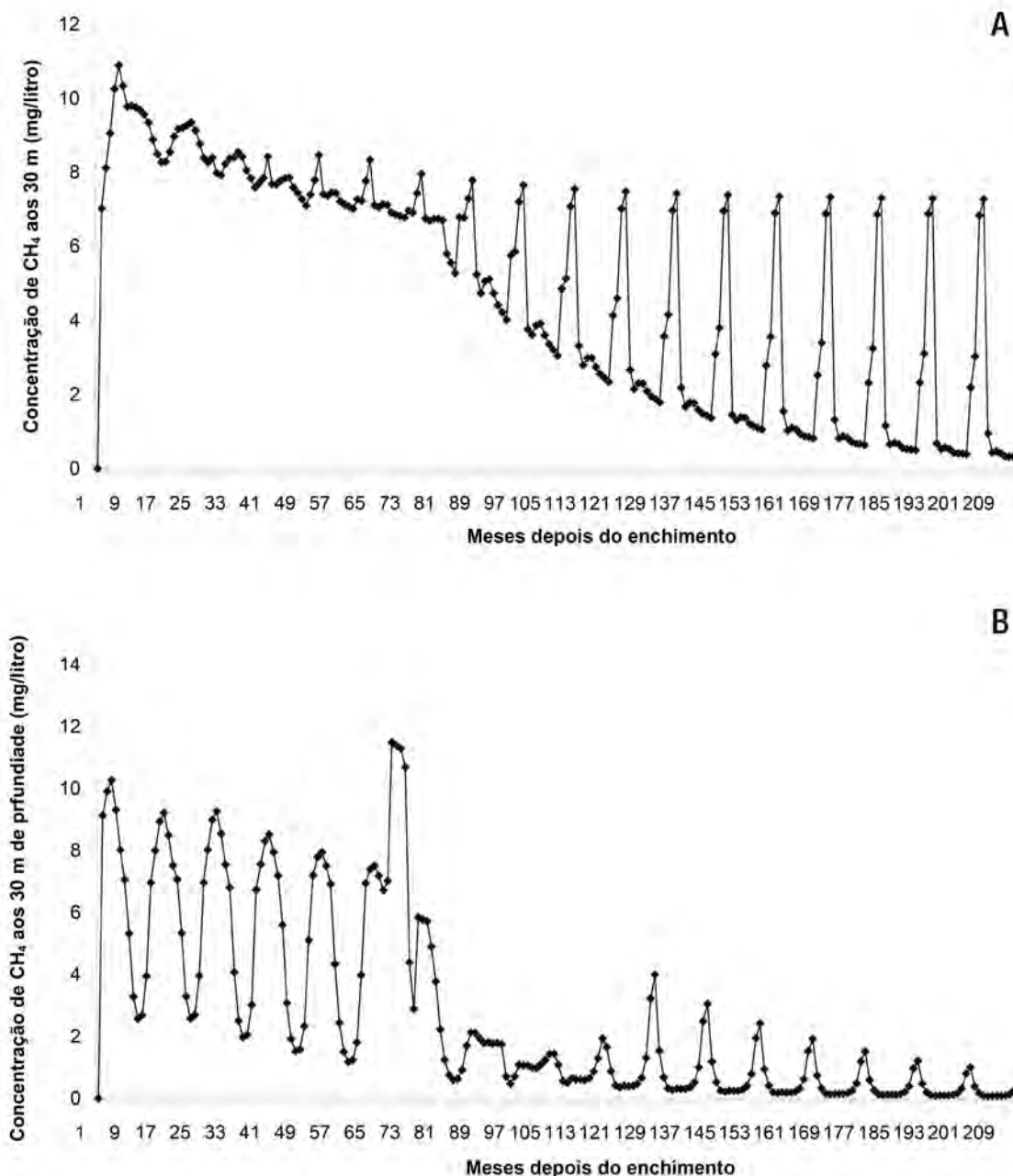


Figura 3. Metano calculado a 30 m de profundidade: A.) Reservatório de Babaquara (Altamira); B.) Belo Monte Reservatório da Calha.

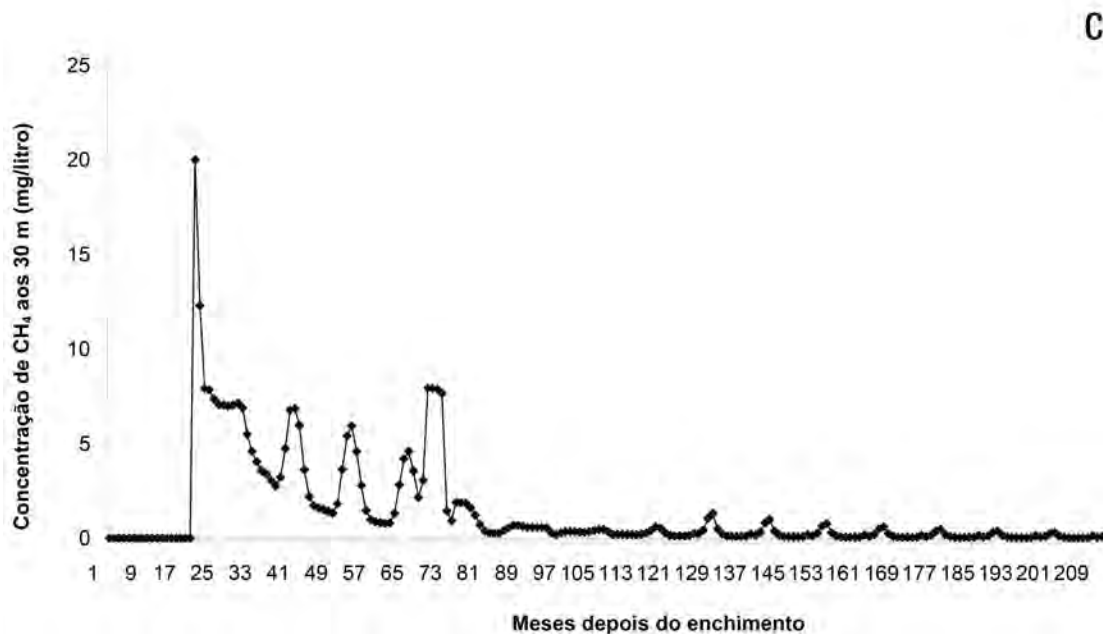


Figura 3 (Continuação). Metano calculado a 30 m de profundidade: C.) Belo Monte Reservatório dos Canais.

As emissões por diferentes caminhos para o complexo Belo Monte/Babaquara como um todo são mostradas na Figura 4. Biomassa acima d'água e mortalidade de árvores na margem diminuem até níveis insignificantes ao longo do período de 50 anos, mas a grande magnitude das emissões de biomassa acima d'água nos primeiros anos dá para esta fonte um lugar significativo na média de 50 anos. Cinquenta anos geralmente são o período de tempo adotado pela indústria hidrelétrica em discussões da "vida útil" de represas, e cálculos são feitos frequentemente, financeiro e ambiental, neste horizonte de tempo, como nos regulamentos aplicáveis em estudos de viabilidade para represas no Brasil (Brasil, ELETROBRÁS & DNAEE, 1997). As represas amazônicas existentes, particularmente Tucuruí, Balbina e Samuel, eram relativamente jovens em 1990, o ano padrão mundial de referência para os inventários dos gases de efeito estufa, designados pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima e o ano usado para vários cálculos anteriores de emissões de gases de efeito estufa (Fearnside, 1995a, 1997b, 2002a, 2005a,b, 2008). As emissões em 1990 eram então bastante altas, e a indústria hidrelétrica frequentemente tem contestado que estas estimativas dão um quadro negativo demais ao papel de hidrelétricas no efeito estufa (por exemplo, IHA, s/d [C. 2002]). Os cálculos atuais

mostram que, mesmo ao longo de um horizonte de tempo de 50 anos, o impacto sobre o aquecimento global de uma represa como Babaquara é significativo. A manutenção de picos anuais de concentração de metano, como na Figura 3a, tem sido corroborado pela evolução da concentração de metano observada no reservatório de Petit Saut (Abril *et al.*, 2005, Delmas *et al.*, 2004), diferente do declínio inicialmente antecipado em Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.*, 1997).

São apresentadas médias a longo prazo de emissões líquidas de gases de estufa na Tabela 7 para horizontes de tempo diferentes. São apresentadas médias a longo prazo de emissões líquidas de gases de efeito estufa na Tabela 7 para horizontes de tempo diferentes. Emissões estão separadas naquelas consideradas sob a rubrica de represas hidrelétricas nos inventários nacionais que estão sendo preparados pelos países sob a Convenção de Clima (UNFCCC), e os outros fluxos que também são parte do impacto e benefício líquido da represa, incluindo emissões evitadas. O impacto total calculado para Belo Monte e Babaquara é, em média 11,2 milhões de carbono CO₂-equivalente por ano ao longo do período de 1-10 anos, diminuindo para 6,1 milhões de Mg por ano como média para o período de 1-20 anos -1.4 milhões de Mg para o período de 1-50 anos.

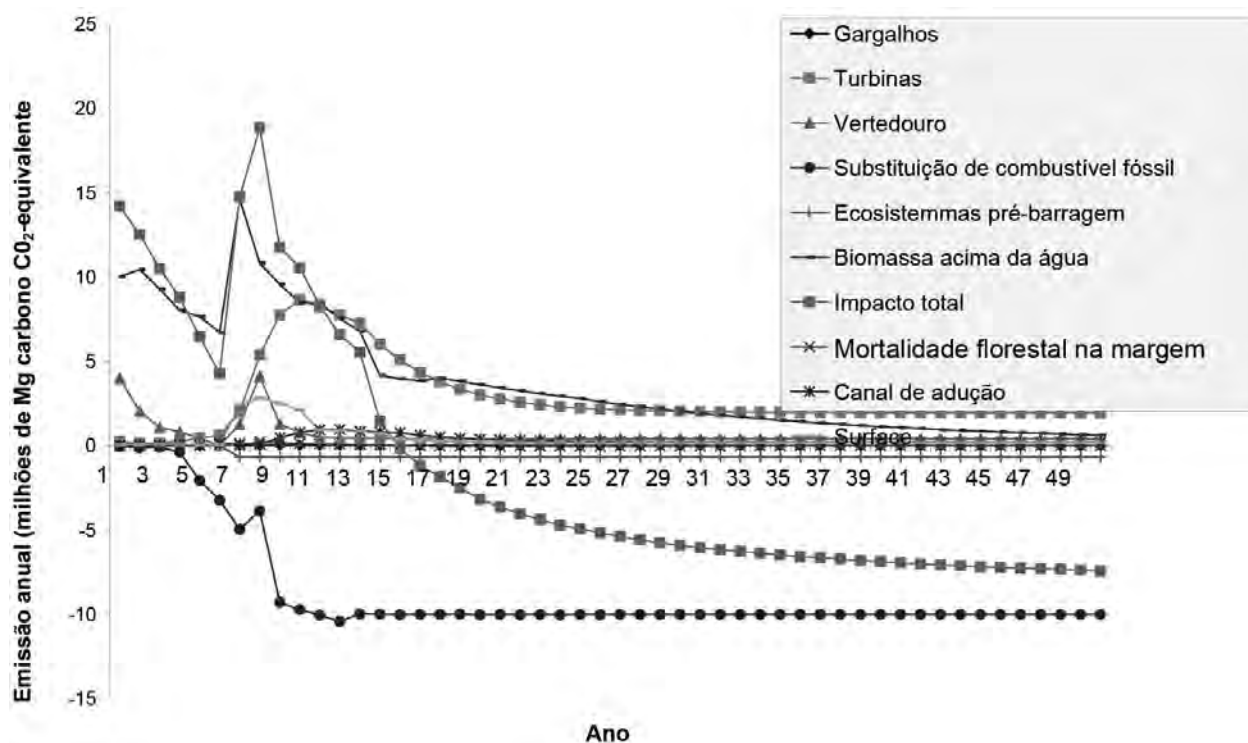


Figura 4. Emissões por caminho para o complexo Belo Monte/Babaquara (Altamira). O complexo começa a reembolsar sua dívida de emissões de gás de efeito estufa após o 15º ano depois de encher o primeiro reservatório.

Tabela 7. Médias a longo prazo de emissão líquida de gases de efeito estufa para o complexo Belo Monte/Babaquara

	Emissões de todas as fontes (milhões de Mg C CO ₂ -equivalente/ano)		
	Anos 1-10 média de 10 anos	Anos 1-20 média de 20 anos	Anos 1-50 média de 50 anos
Emissões de inventário			
Emissões de superfície	1,0	0,8	0,4
Turbinas	2,6	3,8	2,8
Vertedouro	1,6	1,0	0,6
Canal de adução	0,2	0,4	0,3
Gargalos	0,01	0,01	0,01
Emissões de inventário totais	5,3	6,0	4,1
Outros fluxos			
Substituição de fóssil-combustível	-3,7	-3,9	-4,1
Fluxos de ecossistema pre-represa	-0,3	-0,5	-0,6
Biomassa acima d'água	9,6	7,2	3,8
Decomposição no perímetro da magem	0,07	0,04	0,01
Outros fluxos totais	5,9	0,1	-5,5
Impacto total	11,2	6,1	-1,4
Impacto total como múltiplo da emissão de referência de combustível fóssil	4,0	2,5	0,7

INCERTEZAS FUNDAMENTAIS

Um cálculo como o do presente estudo para o complexo Belo Monte/Babaquara envolve muita incerteza. Não obstante, o cálculo precisa ser feito, e as melhores informações disponíveis devem ser usadas para cada um dos parâmetros requeridos pelo modelo. Na medida em que pesquisas nesta área procedem, estimativas melhores para estes parâmetros se tornarão disponíveis, e o modelo poderá interpretar rapidamente estas informações em termos do resultado delas sobre as emissões de gases de efeito estufa.

Embora um conjunto completo de testes de sensibilidade não tenha sido administrado ainda, o comportamento do modelo fornece várias indicações sobre quais parâmetros são os mais importantes.

Testes de sensibilidade para parâmetros selecionados de entrada são apresentados na Tabela 8, mostrando o efeito de um aumento de 10% em cada parâmetro de entrada. Efeitos são simétricos para uma diminuição de 10% em cada parâmetro (não mostrado na tabela). São apresentados os efeitos em termos da mudança no impacto total das represas (expresso em porcentagem) como médias anuais para os períodos de 1-10 anos, 1-20 anos e 1-50 anos. Isto quer dizer que os resultados representam a discrepância, em porcentagem, dos valores do cenário de referência para estas médias que foram apresentados na Tabela 7. Para todos os três períodos, as variáveis para as quais o impacto total é muito sensível são a biomassa da floresta original e as porcentagens do metano exportado que é emitido às turbinas e aos vertedouros.

Tabela 8. Testes de sensibilidade para parâmetros selecionados de entrada

Parâmetro de entrada	Unidades	Valor do parâmetro no cenário de referência	Mudança percentual no impacto total em resposta a um aumento de 10% no parâmetro de entrada		
			Média de 10 anos	Média de 20 anos	Média de 50 anos
Proporção do CH ₄ liberada nas turbinas (ponto médio entre cenários alto e baixo)	Proporção	0,55			
Mudança percentual	%		2,03	5,18	-16,17
Proporção do CH ₄ liberada no vertedouro	Proporção	1			
Mudança percentual	%		1,22	1,37	-3,67
Taxa de crescimento da vegetação da zona de deplecionamento	Mg/ha/ano peso seco	10			
Mudança percentual	%		0,02	0,46	-3,33
Biomassa de macrófitas, anos 1-6	Mg/ha de macrófitas peso seco	11,1			
Mudança percentual	%		0,23	0,26	-0,54
Biomassa de macrófitas, anos 7-50	Mg/ha de macrófitas	1,5			
Mudança percentual	%		0,003	0,10	-0,48
Macrófitas não encalhadas (morte + decomposição)	fração por mês	0,144			
Mudança percentual	%		0,23	0,34	-0,92
Zona de deplecionamento inundada (taxa de decomposição sub-aquática)	fração por mês	0,656			
Mudança percentual	%		0,02	0,48	-0,04
Taxa de decomposição de macrófitas encalhadas	fração por mês	0,314			
Mudança percentual	%		-0,001	-0,01	0,04
Biomassa acima do solo	Mg/ha peso seco	176,1			
Mudança percentual	%		2,95	5,02	-11,91
Percentual de emissão nos canais de adução	%	15,3			
Mudança percentual	%		0,02	0,08	-0,26
Percentual de oxidação nos canais de adução	%	66,5			
Mudança percentual	%		-0,50	-2,49	7,90
Percentual de emissão nos gargalos	%	2,1			
Mudança percentual	%		0,01	0,004	0,002
Percentual de oxidação nos gargalos	%	9,2			
Mudança percentual	%		-0,01	-0,07	-0,04
Percentual de mortalidade de árvores na margem do reservatório: 0-100 m (média ponderada)	%	81,7			
Mudança percentual	%		0,06	0,07	-0,04

Nos primeiros anos depois de encher o reservatório, emissões são dominadas pelo CO₂ liberado pela decomposição da biomassa situada acima da água. Estas emissões, embora sujeitas à incerteza, são fundadas nos melhores dados disponíveis sobre decomposição em áreas desmatadas. Embora sejam valiosas medidas específicas de árvores em reservatórios, uma mudança radical no resultado não é esperada. As presunções sobre mortalidade da floresta a diferentes distâncias da margem são apenas suposições, mas neste caso a quantidade de carbono envolvido é insuficiente para fazer qualquer diferença significativa no resultado global.

Os anos iniciais também incluem uma emissão significativa da liberação de metano pelo transcurso da água pelas turbinas. Para a porcentagem do metano dissolvido que é liberado no cenário de baixas emissões adota-se os valores derivados de medidas em Petit Saut (Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999). Por causa de diferenças entre Petit Saut e as represas brasileiras, a faixa usada é muito larga (21-89,9%) (Veja a discussão em Fearnside, 2002a). As estimativas de emissões aqui apresentadas são os pontos médios entre os extremos dos resultados produzidos para a porcentagem emitida junto às turbinas. Acredita-se que este valor médio seja conservador.

Deve ser lembrado que, quando Belo Monte e Babaquara entrarem em operação, haverá uma certa compensação entre as duas represas que reduz o efeito global da incerteza relativo à porcentagem de metano dissolvido que é liberado junto às turbinas. Quando for usada uma baixa estimativa para este parâmetro, a emissão em Babaquara fica reduzida, mas o CH₄ não liberado é repassado para a Belo Monte, onde por conseguinte aumentam as emissões por outros caminhos (emissões de superfície e emissões no canal de adução e nos gargalos).

As fontes de carbono para emissões de CH₄ nos primeiros anos são dominadas por liberação de carbono instável do solo (Figura 2). Embora faltem medidas desta liberação para qualquer reservatório, a evolução dos valores para emissão aos valores para concentração de CH₄ aos 30 m de profundidade, usando valores observados nesta faixa nos primeiros anos, especialmente em Petit Saut, resulta em uma trajetória realística de concentrações de CH₄ e de emissões desta fonte.

Mais importantes são as incertezas relativas à emissão de CH₄ depois que o pico inicial passe. Muito menos dados de reservatórios amazônicos

mais velhos estão disponíveis para calibrar esta parte da análise. O declínio em áreas de macrófita reduz a importância da incerteza relativa a esta fonte para as emissões a longo prazo. O que predomina para o complexo como um todo é a biomassa da zona de deplecionamento em Babaquara. Isto resulta em picos sazonais grandes na concentração de CH₄ no reservatório de Babaquara (Figura 3a). Uma parte deste metano é repassada para os dois reservatórios de Belo Monte (Figura 3b e 3c). A taxa de crescimento da vegetação na zona de deplecionamento é, então, crítica, e nenhuma medida atual disto existe. A suposição feita é de que este crescimento acontece linearmente, acumulando 10 Mg de matéria seca em um ano. O valor usado para o conteúdo de carbono desta e das outras formas de biomassa macia é de 45%. A taxa de crescimento presumida é extremamente conservadora, quando comparada às taxas de crescimento anuais medidas de plantas herbáceas para o período de três meses de exposição em áreas de várzea ao longo do rio Amazonas perto de Manaus: em 9 medidas por Junk & Piedade, 1997, p. 170) estas plantas acumularam, em média, 5,67 Mg/ha de peso seco (DP=1,74, variação=3,4-8,7). O valor proporcional para um ano de crescimento linear seria 22,7 Mg/ha, ou mais que o dobro do valor presumido para a zona de deplecionamento de Babaquara. Uma medida da biomassa acima do solo de gramíneas até 1,6 mês após a exposição de terras de várzea no Lago Mirití indica uma taxa de acúmulo de matéria seca equivalente a 15,2 Mg/ha/ano (P.M. Fearnside, dados não publicados). A fertilidade do solo nas zonas de sedimentação de várzea é maior do que em zona de deplecionamento de um reservatório, mas uma suposição da ordem de metade da taxa de crescimento da várzea parece segura. Não obstante, este é um ponto importante de incerteza no cálculo.

Taxas de decomposição também são importantes, e medidas sob condições anaeróbicas em reservatórios não são disponíveis. Acredita-se que a decomposição da vegetação herbácea na várzea oferece um paralelo adequado. Em medidas sob condições inundadas em várzea de água branca, a decomposição de três espécies (Furch & Junk, 1997, p. 192, Junk & Furch, 1991) e uma experiência em um tanque de 700 litros com uma quarta espécie (Furch & Junk, 1992, 1997, p. 195) indicaram a fração de peso seco perdida depois de um mês de submersão, em média, de 0,66 (DP = 0,19 variação=0,425-0,9). O valor mais baixo (0,425) é da espécie medida na

experiência no tanque, onde a anoxia da água foi constatada depois de aproximadamente um dia. Se as medidas sob condições naturais incluíssem alguma decomposição aeróbia, a taxa média para condições totalmente anóxicas poderia ser um pouco abaixo da média para as quatro espécies usadas aqui.

As taxas de decomposição aeróbica para macrófitas encalhadas determinam o quanto dessa biomassa ainda esteja presente se o nível d'água fosse subir novamente antes da decomposição ser completa. Uma medida de macrófitas mortas no Lago Miriti até 1,6 mês após o encalhamento indica uma perda de 31,4% do peso seco por mês (P.M. Fearnside, dados não publicados). O número de observações é mínimo (três parcelas de 1 m²).

O manejo da água em Babaquara também é importante para determinar a quantidade de emissão da zona de deplecionamento. Quanto mais tempo o reservatório seja mantido a um nível baixo, mais vegetação cresce na zona de deplecionamento. A liberação subsequente de CH₄ quando a zona de deplecionamento for inundada mais que compensa para o efeito na direção oposta que os baixos níveis d'água têm na redução da profundidade até a entrada da turbina em Babaquara, e, portanto, na concentração de CH₄ na água que passa pelas turbinas. As presunções para uso d'água utilizadas no cálculo resultam em três meses de níveis baixos de água, quatro meses de níveis altos e cinco meses de níveis intermediários.

A magnitude dos picos sazonais altos de CH₄ depende da relação entre a quantidade de carbono que degrada e o estoque (e concentração) de CH₄ quando estas variáveis estavam em níveis altos nos primeiros anos em Petit Saut (*i.e.*, dados de Galy-Lacaux *et al.*, 1997, 1999). A natureza da fonte de carbono em Petit Saut durante este tempo era diferente (acredita-se ter sido principalmente carbono do solo). A verdadeira quantidade de carbono degradada anaerobicamente em Petit Saut durante este tempo é desconhecida, e o escalamento que empresta confiança aos resultados durante os anos iniciais depois de reservatório encher, quando as fontes de carbono eram do mesmo tipo, não dá tanta confiança a estes resultados para os anos posteriores. Quantificar a relação entre a produção de CH₄ e a quantidade de decomposição de biomassa macia (como as macrófitas e especialmente a vegetação da zona de deplecionamento) deveria ser uma prioridade para pesquisa. No entanto, o resultado geral, isto é, que a vegetação da zona de deplecionamento

produz um pulso grande e renovável de CH₄ dissolvido em reservatórios, não há dúvida. Um caso relevante é a experiência na hidrelétrica de Três Marias, no Estado de Minas Gerais, onde uma flutuação vertical de 9 m no nível da água resultou na exposição e inundação periódica de uma zona de deplecionamento grande, com um pico grande subsequente de emissões de metano pela superfície do lago (Bodhan Matvienko comunicação pessoal, 2000). Até mesmo na idade muito avançada de 36 anos, o reservatório de Três Marias emite metano por ebulição em quantidades que excedem em muito as emissões de superfície de todos os outros reservatórios brasileiros que foram estudados, inclusive Tucuruí, Samuel e Balbina (Rosa *et al.*, 2002, p. 72).

Uma fonte adicional de incerteza é o destino da carga dissolvida de CH₄ quando a água atravessa os 17 km do canal de adução de Belo Monte e pelos quatro conjuntos de gargalos que separam as pequenas bacias hidrográficas inundadas que compõem o Reservatório dos Canais. Parte do metano é emitida, parte é oxidada, e o resto é passado para o Reservatório dos Canais. Os parâmetros usados para isto estão baseados na suposição de que o canal (largura na superfície de aproximadamente 526 m, com um fluxo em plena capacidade de 13.900 m³/segundo) é semelhante ao trecho do rio Sinnamary, na Guiana francesa, abaixo da barragem de Petit Saut (onde a largura média do rio é 200 m e a vazão média é apenas 267 m³/segundo). Galy-Lacaux *et al.* (1997) calcularam concentrações de metano e fluxos ao longo de 40 km de rio abaixo da barragem de Petit Saut e calcularam as quantidades emitidas e oxidadas no rio. Os resultados deles indicam que, para o CH₄ dissolvido que entra do rio oriundo da represa, são liberados 18,7% e são oxidados 81,3% (média de medidas em três datas, com a porcentagem liberada variando de 14 a 24%). Praticamente toda a liberação e oxidação acontecem dentro nos primeiros 30 quilômetros. No rio Sinnamary, depois de uma extensão inicial de 4 km onde um processo de mistura acontece, a concentração de CH₄ na água e o fluxo da superfície diminuem linearmente, chegando a zero a 30 km abaixo da barragem (*i.e.*, ao longo de uma extensão de rio de 26 km). Considerando o estoque a cada ponto ao longo do rio, pode-se calcular que, nos primeiros 17 km de rio, são liberados 15,3% do CH₄ e são oxidados 66,5%. No cálculo para Belo Monte presume-se que estas porcentagens se aplicam ao canal de adução, e que o metano restante é repassado para o Reservatório dos Canais.

Estimativas para emissão nos gargalos foram derivadas a partir de informações sobre o comprimento deles e as porcentagens de emissão e oxidação que aconteceram ao longo de uma extensão de rio de mesmo comprimento abaixo da barragem de Petit Saut. Baseado em um mapa do reservatório (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 2002]b), o primeiro compartimento é conectado ao segundo por três passagens com comprimento médio de 1,6 km, o segundo e terceiro compartimento estão conectados por duas passagens com comprimento médio de 1,7 km, o terço e quarto compartimentos estão conectados por duas passagens com comprimento médio de 1,3 km, e os quarto e quinto compartimentos estão conectados por uma passagem larga (embora indubitavelmente rasa na divisa entre as bacias) que pode ser considerada como uma passagem de 0 km de comprimento. Supõe-se que as porcentagens de metano dissolvido liberadas e oxidadas nestes gargalos sejam proporcionais às porcentagens de liberação e oxidação que aconteceram ao longo deste mesmo comprimento de rio abaixo da barragem de Petit Saut (baseado nos dados de Galy-Lacaux *et al.*, 1997). A incerteza neste caso é muito maior do que no caso dos valores para estas porcentagens calculadas para o canal de adução porque os gargalos curtos estão dentro da extensão inicial do rio onde um processo mistura estava acontecendo. As porcentagens usadas (que são todas muito baixas) também presumem que o processo pára ao término do gargalo, em lugar de continuar ao longo de alguma distância no próximo compartimento do reservatório. O resultado líquido é que os gargalos, considerados em conjunto, só emitem 2,1% do metano, enquanto são oxidados 9,2% e 88,7% são transmitidos até o final do reservatório.

Assim como no caso das turbinas de Babaquara, há alguma compensação no sistema para incerteza nas porcentagens liberadas no canal de adução e nos gargalos. Se forem superestimadas as emissões do canal de adução e/ou dos gargalos, então a emissão nas turbinas da casa de força principal de Belo Monte será subestimada. Observa-se que isto só se aplica aos valores para a porcentagem emitida, não aos valores usados para a porcentagem de oxidação nestes canais: qualquer erro para cima ou para baixo na porcentagem oxidada não seria compensado por uma mudança na direção oposta nas emissões das turbinas.

Em resumo, incertezas múltiplas existem no cálculo atual. Pesquisa futura, especialmente se for direcionada aos parâmetros para os quais o modelo indica que o sistema é mais sensível, ajudará

a reduzir estas incertezas. No entanto, o presente cálculo representa a melhor informação atualmente disponível. Estes resultados fornecem um componente necessário para a atual discussão dos impactos potenciais destas represas.

COMPARAÇÃO COM COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Comparações sem descontar

As emissões anuais de gases de efeito estufa diminuem com tempo, mas ainda se estabilizam num nível com impacto significativo. A evolução temporal dos impactos de gases de efeito estufa, com emissões concentradas nos primeiros anos da vida de uma represa, é uma das diferenças principais entre represas hidrelétricas e geradoras a combustíveis fósseis em termos de efeito estufa (Fearnside, 1997b). Dando maior peso aos impactos a curto prazo aumenta o impacto das hidrelétricas em relação às de combustíveis fósseis.

O carbono deslocado de combustível fóssil pode ser calculado baseado na suposição de que a alternativa é geração a partir de gás natural. Esta é uma suposição mais razoável do que o petróleo como referência, já que a expansão atual da capacidade geradora em São Paulo e em outras partes da rede elétrica no Centro-Sul do Brasil está vindo de usinas termoeletricas movidas a gás e abastecidas pelo novo gasoduto Bolívia-Brasil. O gasoduto já existe e não é considerado como parte das emissões de construção das usinas termoeletricas a gás.

Deslocamento de combustível fóssil é mostrado na Figura 5 em uma base anual. O complexo começa a ganhar terreno em compensar pelas suas emissões depois do ano 15. O saldo líquido de emissões de gases de efeito estufa em uma base cumulativa é mostrado na Figura 6. O complexo somente terá um saldo positivo em termos de seu impacto no aquecimento global 41 anos depois do enchimento da primeira represa.

Quanto mais longo é o horizonte de tempo, mais baixo é o impacto médio. Durante os primeiros dez anos o impacto líquido é 4,0 vezes o da alternativa de combustível fóssil. Depois de vinte anos o impacto líquido ainda é 2,5 vezes maior que o do combustível fóssil, enquanto para o horizonte de tempo completo de 50 anos o projeto repaga a sua dívida de aquecimento global (presumindo que é sem juros, isto é, calculada com desconto zero), com a média de impacto total a longo prazo sendo 70% a da alternativa de combustível fóssil.

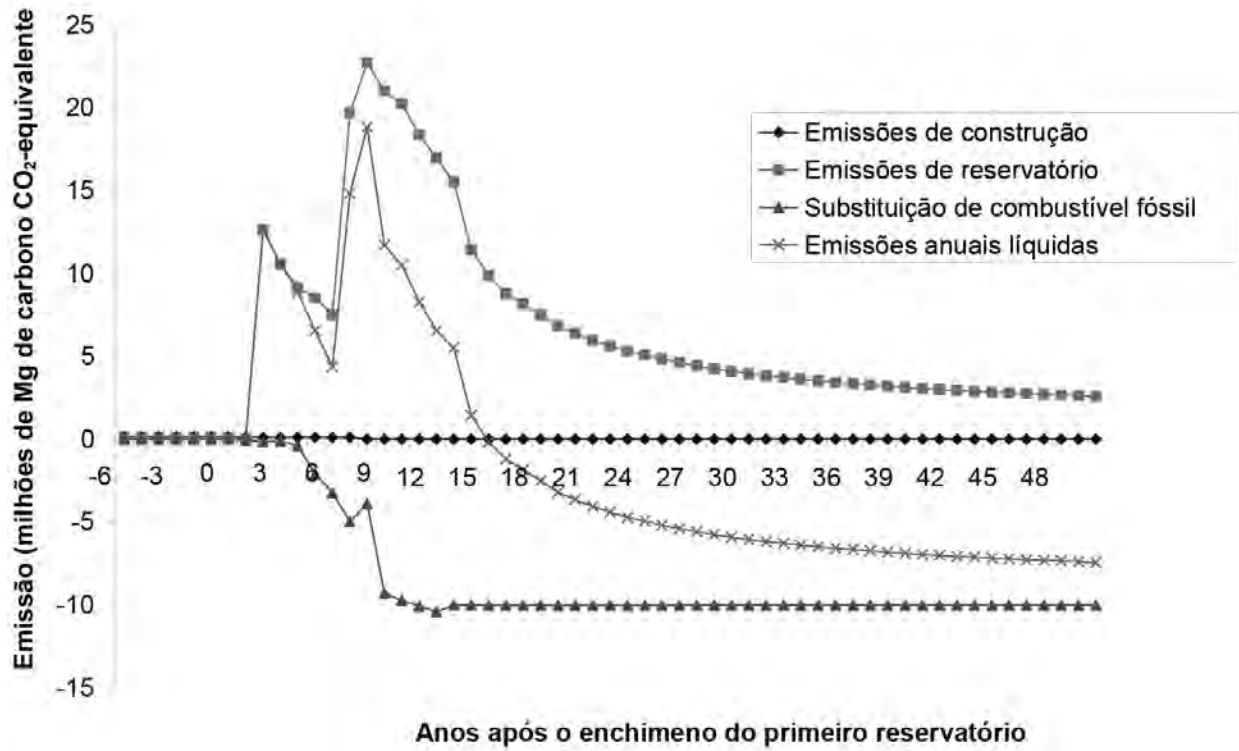


Figura 5. Emissões anuais e substituição de combustível fóssil.

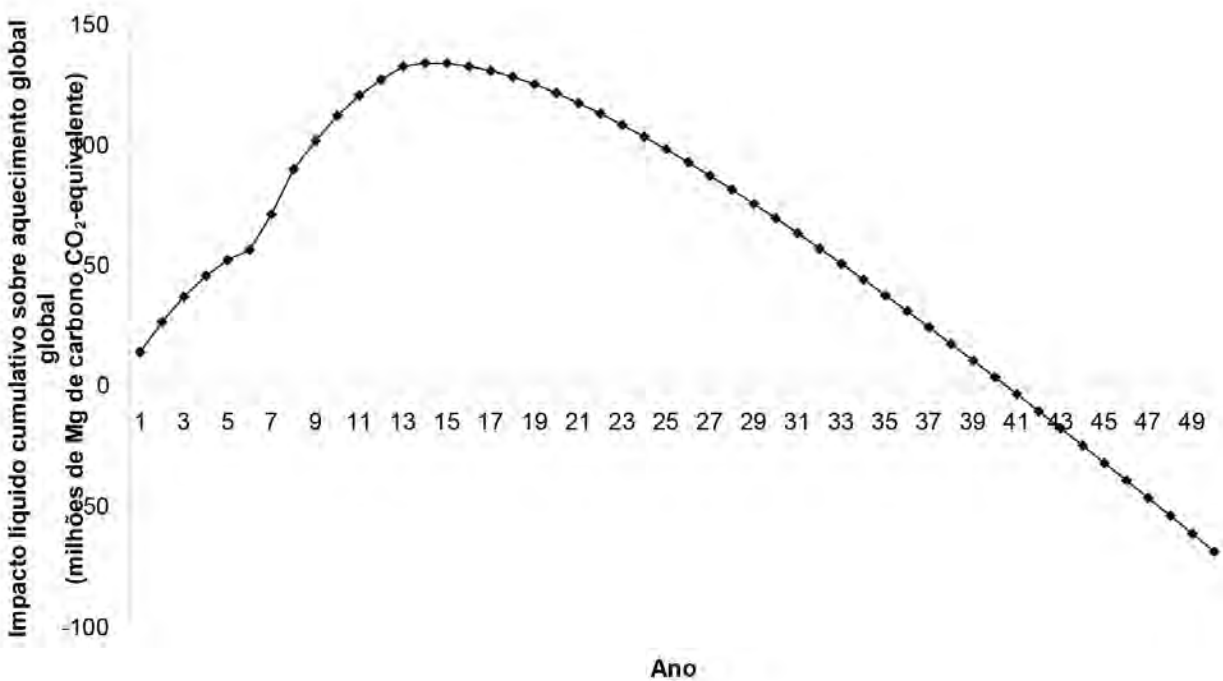


Figura 6. Impacto de aquecimento global líquido cumulativo do complexo Belo Monte/Babaquara (Altamira) (sem descontar). O complexo só consegue um saldo positivo depois de 41 anos.

O efeito do tempo

O papel do tempo é uma parte essencial no debate sobre represas hidrelétricas e na questão do efeito estufa em geral. A maioria das decisões, tais como uma decisão para construir uma hidrelétrica, é baseada em cálculos financeiros de custo/benefício que dão um valor explícito ao tempo, aplicando uma taxa de desconto a todos os custos e benefícios futuros. A taxa de desconto é essencialmente o oposto de uma taxa de juros, como por exemplo, o retorno que um investidor poderia ganhar em uma caderneta de poupança em um banco. Com uma poupança, quanto mais tempo se espera, maior a quantia monetária na conta, já que o saldo é multiplicado por uma porcentagem fixa ao término de cada período de tempo e os juros resultantes são acrescentados ao saldo para o próximo período. Com uma taxa de desconto, o valor atribuído a quantidades futuras diminui, em lugar de aumentar, por uma porcentagem fixa em cada período de tempo. Se um projeto como uma barragem hidrelétrica produz grandes impactos nos primeiros anos, como o tremendo pico de emissões de gás de efeito estufa mostrado aqui, enquanto os benefícios pela substituição de combustível fóssil somente se acumulam a longo prazo, então qualquer

taxa de desconto positiva pesará contra a opção hidrelétrica (Fearnside 1997b).

A evolução temporal das emissões de gases de efeito estufa aumenta mais o impacto da represa quando são contadas as emissões do cimento, aço e combustível fóssil usados na construção da obra. As emissões de construção da barragem vêm anos antes de qualquer geração de eletricidade. Uma análise de “cadeia completa de energia”, ou FENCH, incluiria todas estas emissões. Porém, as emissões de construção são uma parte relativamente pequena do impacto total. São mostradas as emissões líquidas anuais descontadas a taxas de até 3% na Figura 7. Se apenas o equilíbrio instantâneo é considerado, o complexo substitui por mais carbono equivalente do que emite começando no ano 16, independente da taxa de desconto. Depois disso o complexo começa a pagar a sua dívida ambiental referente às grandes emissões líquidas dos primeiros 15 anos.

As emissões cumulativas descontadas chegam a um pico no ano 15, mas não alcançam o ponto de ter um saldo positivo até pelo menos 41 anos depois que o primeiro reservatório esteja cheio (Figura 8). Aplicar uma taxa de desconto alonga substancialmente o tempo necessário para alcançar este ponto.

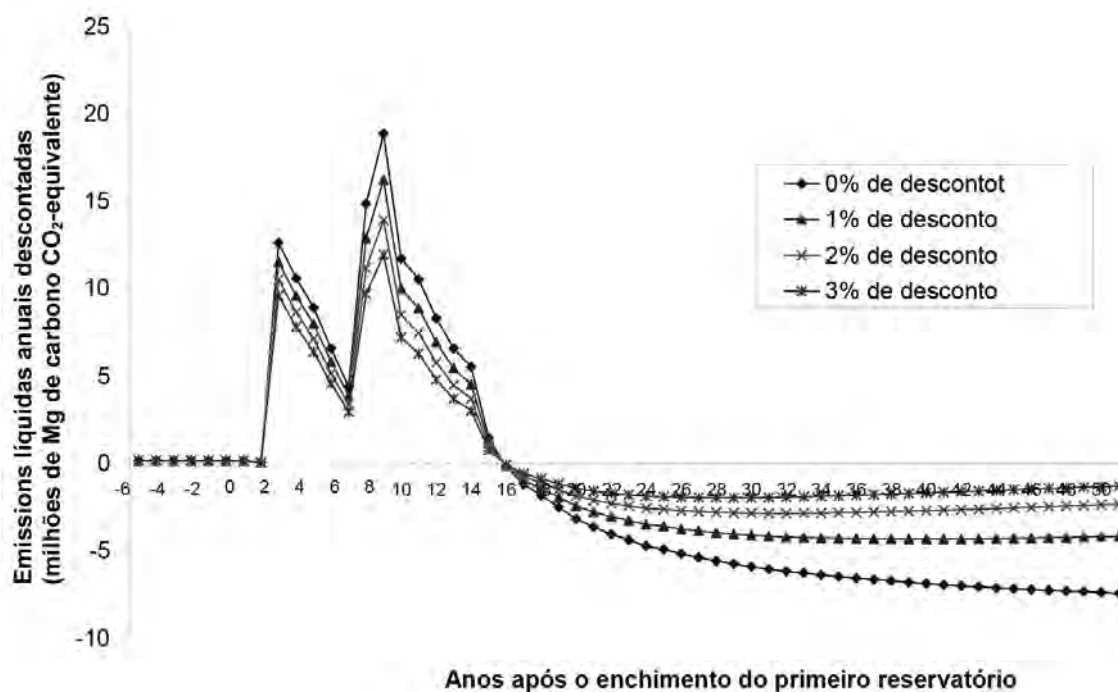


Figura 7. Emissões líquidas anuais descontadas. Em uma base anual, o complexo começa a reembolsar suas emissões iniciais depois do ano 15, independente de taxa de desconto.

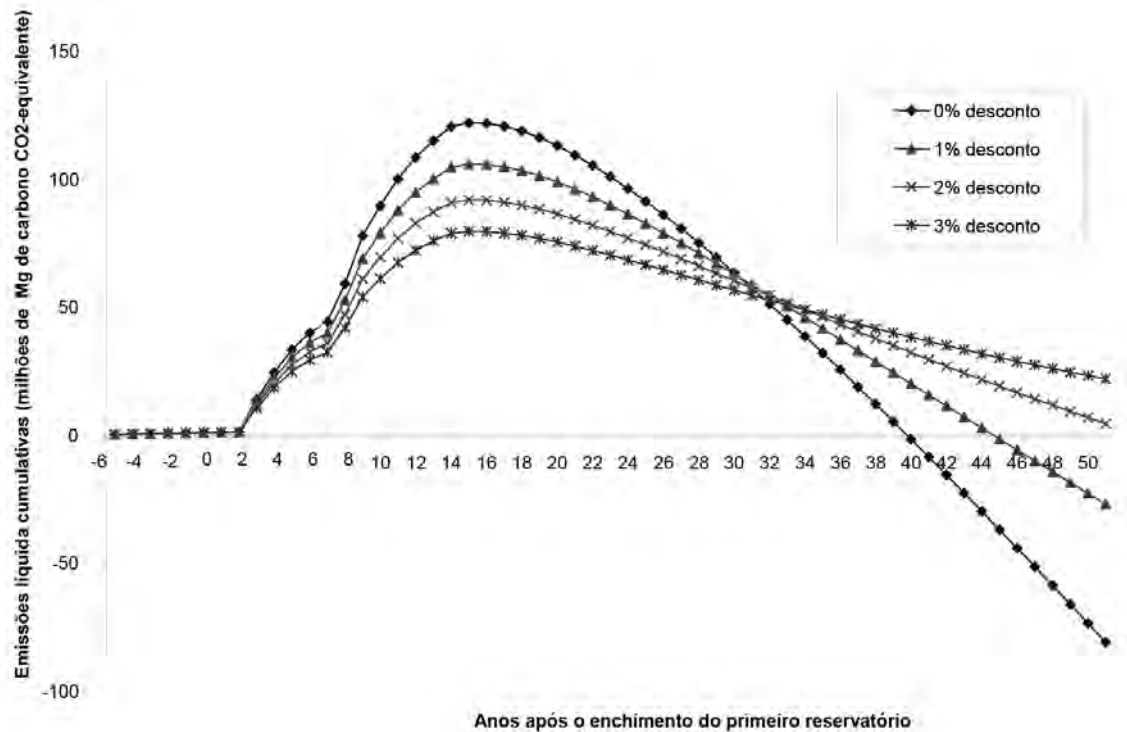


Figura 8. Emissões cumulativas descontadas. Descontando estende o tempo precisado para o complexo para conseguir um saldo positivo em termos de seu impacto acumulado.

O efeito de taxas de desconto anuais diferentes é mostrado na Figura 9. Com desconto zero, o impacto líquido médio representa um ganho anual de 1,4 milhões de Mg C (a média de 50 anos na Tabela 7), mas o impacto relativo atribuído à opção hidrelétrica aumenta muito quando o valor tempo é considerado. No caso do complexo Belo Monte/Babaquara, qualquer taxa de desconto anual superior a 1,5% resulta ao projeto um impacto maior sobre o efeito estufa do que a alternativa de combustível fóssil. São mostradas taxas de desconto de até 12%. Embora este autor não defenda o uso de taxas de desconto tão altas como estas (Fearnside, 2002b,c), um contingente importante nos debates sobre a contabilidade de carbono (por exemplo, o Instituto Florestal Europeu) defende o uso das mesmas taxas de desconto para carbono como para dinheiro, e as análises financeiras para Belo Monte usam uma taxa de desconto de 12% para dinheiro (Brasil, ELETRONORTE, 2002, Tomo I, p. 6-84).

Em termos de efeito estufa, uma série de argumentos fornece uma razão para dar um valor ao tempo nos cálculos sobre emissões de gases de efeito estufa (Fearnside, 1995b, 1997b, 2002b,c, Fearnside *et al.*, 2000). O efeito estufa não é um evento pontual, como uma erupção vulcânica, já que uma mudança

de temperatura seria essencialmente permanente, aumentando as probabilidades de secas e de outros impactos ambientais. Qualquer adiamento nas emissões de gases de efeito estufa, e do aumento conseqüente da temperatura, então representa um ganho das vidas humanas e outras perdas que teriam acontecido caso contrário ao longo do período do adiamento. Isto dá para o tempo um valor que é independente de qualquer perspectiva “egoísta” da geração atual. Apesar dos benefícios de dar valor ao tempo para favorecer decisões que adiam o efeito estufa, chegar a um acordo político sobre os pesos apropriados para o tempo é extremamente difícil. O curso de menor resistência nas primeiras rodadas de negociações sobre o Protocolo de Kyoto foi de usar um horizonte de tempo de 100 anos, sem descontar ao longo deste período, como o padrão para comparações entre os diferentes gases de efeito estufa (*i.e.*, o potencial de aquecimento global de 21 adotado para metano, ou ainda mais com o valor de 25 adotado no relatório mais recente do IPCC: Forster *et al.*, 2007, p. 212). Se formulações alternativas são usadas que dão um peso ao tempo, o impacto do complexo Belo Monte/Babaquara aumentaria, e, mais importante ainda, aumentaria o impacto de hidrelétricas comparadas a outras possíveis opções para provisão de energia.

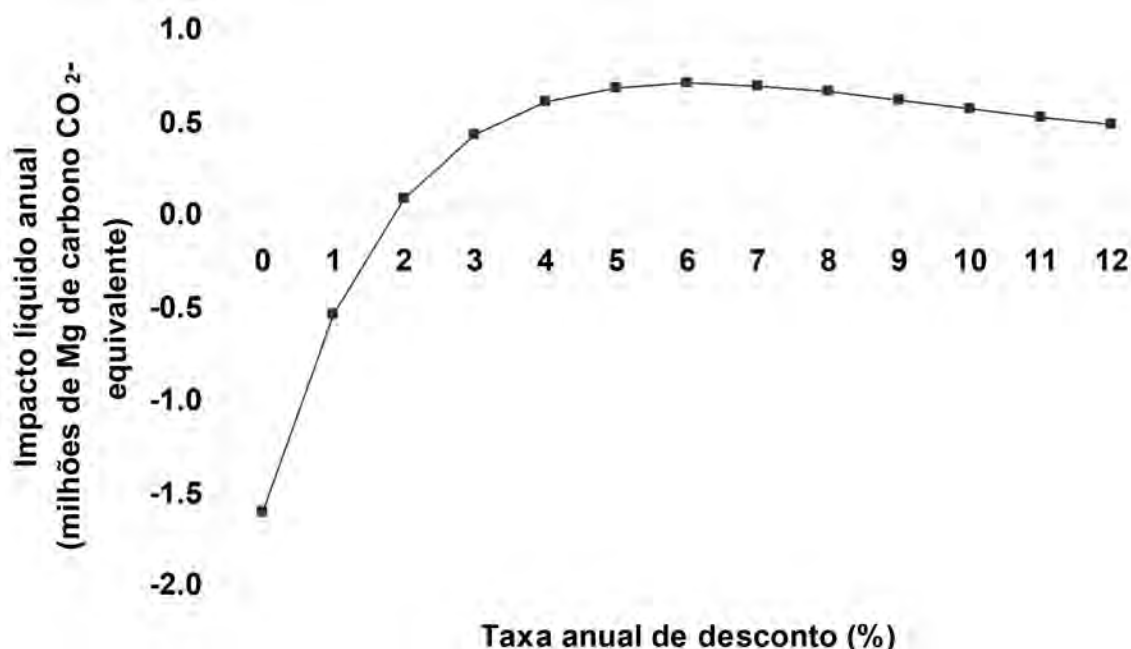


Figura 9. Efeito de taxa de desconto em emissões líquidas anuais médias ao longo de um horizonte de tempo de 50 anos. Se for usado uma taxa de desconto anual de 1,5% ou mais, o complexo tem um impacto maior sobre o efeito estufa do que a alternativa de combustível fóssil.

IMPLICAÇÕES PARA A POLÍTICA DE DESENVOLVIMENTO

A conclusão do atual estudo de que as barragens propostas de Belo Monte e Babaquara (Altamira) produziram emissões líquidas significativas de gases de efeito estufa durante muitos anos é uma consideração importante para os debates em curso no Brasil e em outros países que enfrentam decisões semelhantes. A emissão adicional de gás de efeito estufa de 11,2 milhões de Mg de carbono CO₂-equivalente por ano durante os primeiros dez anos representa mais que a emissão atual de combustível fóssil queimado na área metropolitana de São Paulo, com 10% da população do Brasil. A tomada racional de decisões sobre propostas para represas hidrelétricas, como é o caso com qualquer projeto de desenvolvimento, requer uma avaliação abrangente dos impactos e dos benefícios das propostas, de forma que os prós e contras podem ser comparados e publicamente debatidos antes de tomar decisões sobre a construção do projeto. Gases de efeito estufa representam um impacto que, até agora, tem recebido pouca consideração nestas decisões.

No caso de Belo Monte e Babaquara (Altamira), é importante reconhecer que o lado de benefício do equilíbrio seja consideravelmente menos atraente do

que o quadro que é retratado freqüentemente por proponentes de projeto. A eletricidade produzida é para uma rede que apóia um setor rapidamente crescente de indústrias electro-intensivas subsidiadas, tais como o beneficiamento de alumínio para exportação. Apenas 2,7 pessoas são empregadas por GWh de eletricidade consumida no setor de alumínio no Brasil, recorde apenas ultrapassado por usinas de ferro-liga (1,1 emprego/GWh), que também consomem quantias grandes de energia para um artigo de exportação (Bermann & Martins, 2000, p. 90). Uma discussão nacional sobre o uso que é feito da eletricidade do País deveria ser uma condição prévia para qualquer decisão grande para aumentar capacidade geradora, como no caso da construção de barragens no rio Xingu. O contraste entre os custos sociais de barragens e os benefícios escassos que elas provêm por meio das indústrias eletrointensivas é particularmente pertinente aos planos para o rio Xingu (Bermann, 2002, Fearnside, 1999).

Do ponto-de-vista de gases de efeito estufa, o fato que energia é usada para uma indústria de exportação subsidiada significa que a linha de base contra a qual são comparadas as emissões hidrelétricas deveria incluir a opção de simplesmente não produzir parte da energia esperada das barragens, em lugar da linha de base usada aqui de gerar em cheio

o equivalente da energia das barragens por meio de combustíveis fósseis. Porque o Brasil poderia escolher não se expandir ou manter as suas indústrias de exportação eletrointensivas, uma linha de base alternativa desse tipo faria com que os resultados sobre emissões fossem até mesmo menos favoráveis para a energia hidrelétrica do que os resultados calculados no atual trabalho.

As barragens do rio Xingu representam um desafio ao sistema de licenciamento ambiental por causa da grande diferença entre o impacto a primeira barragem (Belo Monte) e o das represas subsequentes, especialmente a Babaquara (Altamira). O sistema de licenciamento ambiental atualmente só examina os impactos de um projeto de cada vez, não o impacto combinado de projetos interdependentes como estes. Porque os maiores impactos (inclusive emissões de gases de efeito estufa) de uma decisão para construir a Belo Monte seria causado pela represa ou represas que seriam construídas por conseguinte rio acima, o sistema de licenciamento deve ser reformado para contender com este tipo de situação.

CONCLUSÕES

A complexa hidrelétrica Belo Monte/Babaquara (Altamira) teria um impacto significativo sobre o efeito estufa, embora a quantidade grande de energia produzida compensaria eventualmente as emissões iniciais altas. As hipóteses usadas aqui indicam que 41 anos seriam necessários para o complexo chegar a ter um saldo positivo em termos de impacto sobre o aquecimento global no cálculo mais favorável a hidrelétricas, sem aplicação de nenhuma taxa de desconto. Apesar de incerteza alta sobre vários parâmetros fundamentais, a conclusão geral parece ser robusto. Isto é, que o complexo teria impacto significativo, e que o nível de impacto a longo prazo, embora muito mais baixo do que nos primeiros anos, seria mantido em níveis apreciáveis.

A presente análise inclui várias suposições conservadoras relativo às porcentagens de metano emitidas por caminhos diferentes. Valores mais altos para estes parâmetros estenderiam ainda mais o tempo necessário para o complexo ter um saldo positivo em termos de aquecimento global.

O impacto atribuído a represas é altamente dependente de qualquer valor dado à evolução temporal das emissões: qualquer taxa de desconto ou outro mecanismo de preferência temporal aplicado

aumentaria mais o impacto calculado para hidrelétricas em comparação com geração com combustíveis fósseis. O valor de 41 anos para uma emissão de gases de efeito estufa desta magnitude é até mesmo significativo a zero desconto. O complexo Belo Monte/Babaquara não terá um saldo positivo até o final do horizonte de tempo de 50 anos com taxas de desconto anuais superiores de 1,5%.

Os casos de Belo Monte e das outras barragens do Xingu ilustram a necessidade absoluta de se considerar as interligações entre projetos diferentes de infra-estrutura e incluir estas considerações como uma condição prévia para construir ou autorizar quaisquer dos projetos. Adiar a análise dos projetos mais controversos não é uma solução.

AGRADECIMENTOS

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq AI 470765/01-1) e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA PPI 1-3620) contribuíram com apoio financeiro. A maior parte do trabalho foi atualizado de parte de uma discussão mais ampla sobre as barragens no rio Xingu (Fearnside, 2005c). Agradeço a Neusa Hamada, Reinaldo Barbosa, Glenn Switkes e ao seu sogro pelos comentários. Esta é uma republicação de Fearnside (2009).

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.
- ALBRITTON, D.L.; DERWENT, R.G.; ISAKSEN, I.S.A.; LAL, M; WUEBBLES & D.J. 1995. Trace gas radiative forcing indices. p. 205-231 In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris & K. Maskell, (eds.). *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 339p.
- BERMANN, C. 2002. O Brasil não precisa de Belo Monte. Amigos da Terra-Amazônia Brasileira, São Paulo, RJ. 4p. (http://www.amazonia.org.br/opiniaio/artigo_detail.cfm?id=14820)
- BERMANN, C. & MARTINS, O.S. 2000. *Sustentabilidade energética no Brasil: Limites e Possibilidades para uma Estratégia*

- Energética Sustentável e Democrática*. Projeto Brasil Sustentável e Democrático, Federação dos Órgãos para Assistência Social e Educacional (FASE), Rio de Janeiro, RJ. 151p.
- BRASIL, ANEEL. 2001. Descargas médias de longo período: Bacia do Amazonas-Rios Tapajós/Amazonas/Iriri/Xingu. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Brasília, DF. http://www.aneel.gov.br/cgrh/atlas/subbac/sub18_f.jpg.
- BRASIL, ELETROBRÁS. 2009. *Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental*. Fevereiro de 2009. Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS). Rio de Janeiro, RJ. 36 vols.
- BRASIL, ELETROBRÁS, DNAEE. 1997. *Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos*. Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS) & Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), Brasília, DF.
- BRASIL, ELETRONORTE. 2002. *Complexo Hidrelétrico Belo Monte: Estudos De Viabilidade, Relatório Final*. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 8 vols.
- BRASIL, ELETRONORTE. s/d [C. 1988]. The Altamira Hydroelectric Complex. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 16p.
- BRASIL, ELETRONORTE. s/d [C.1989]. Altamira.txt. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF, Brazil. 6p. (disponível da: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Campinas, SP).
- BRASIL, ELETRONORTE. s/d [C. 2002]a. *Complexo Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental- E I.A. Versão preliminar*. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 6 vols.
- BRASIL, ELETRONORTE. s/d [C. 2002]b. CHE Belo Monte – Estudos de Viabilidade. Localização geral de obras, infraestrutura, acessos e rede de distribuição de energia. Ilustração 232, BEL-V 10-100-0024 R-0. Escala: 1:200.000. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF.
- BRASIL, MME-CCPESE. 2002. *Plano Decenal de Expansão 2003-2012: Sumário Executivo*. Ministério das Minas e Energia, Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricas (MME-CCPESE), Brasília, DF. 75p.
- BROWN, S. & LUGO, A.E. 1992. Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1): 8-18.
- CNEC. 1980. *Estudo de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu*. Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF, Brazil & Consórcio de Engenheiros Consultores (CNEC), São Paulo, SP.
- da CRUZ, P.T. 1996. *100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto*. Oficina de Texto, São Paulo, SP, 648p.
- de LIMA, I.B.T.; VICTORIA, R.L.; NOVO, E.M.L.M.; FEIGL, B.J.; BALLESTER, M.V.R. & OMIRO, J.M. 2002. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide emissions from two Amazonian reservoirs during high water table. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie*, 28(1): 438-442.
- DELMAS, R.; RICHARD, S.; GUÉRIN, F.; ABRIL, G.; GALY-LACAUX, C.; DELON, C. & GRÉGOIRE, A. 2004. Long term greenhouse gas emissions from the hydroelectric reservoir of Petit Saut (French Guiana) and potential impacts. pp. 293-312. In: A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm & M. Garneau (eds.). *Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes. Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*. Springer-Verlag, New York, E.U.A., 732p.
- de MIRANDA, E.E.; de MIRANDA, J.R. & dos SANTOS, P.F. 1988. Efeitos ecológicos das barragens do Xingu: Uma avaliação preliminar. p. 83-102 In: L.A.O. Santos & L.M.M. de Andrade (eds.). *As Hidrelétricas do Xingu e os Povos Indígenas*. Comissão Pró-Índio de São Paulo, São Paulo, SP.
- DONES, R. & GANTNER, U. 1996. Greenhouse gas emissions from hydropower full energy chain in Switzerland. In: *Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Full Energy Chain for Hydropower, Nuclear Power and Other Energy Sources. Papers Presented at an IAEA Advisory Group Meeting Jointly Organized by Hydro-Québec and the International Atomic Energy Agency, Hydro-Québec Headquarters, Montreal (Canada) 12-14 March 1996*. IAEA, Vienna, Áustria. Paginação irregular.
- FEARNSIDE, P.M. 1989. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management*, 13(4): 401-423.
- FEARNSIDE, P.M. 1995a. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation*, 22(1): 7-19.
- FEARNSIDE, P.M. 1995b. Global warming response options in Brazil's forest sector: Comparison of project-level costs and benefits. *Biomass and Bioenergy*, 8(5): 309-322.
- FEARNSIDE, P.M. (1996a) "Hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Response to Rosa, Schaeffer & dos Santos" *Environmental Conservation* 23(2): 105-108.
- FEARNSIDE, P.M. 1996b. Amazonia and global warming: Annual balance of greenhouse gas emissions from land-use change in Brazil's Amazon region. p. 606-617 In: J. Levine (ed.). *Biomass Burning in South America, Southeast Asia and Temperate and Boreal Ecosystems and the Oil Fires of Kuwait*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, E.U.A.
- 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(1): 64-75.
- FEARNSIDE, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management*, 24(4): 485-495.
- 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(1-4): 69-96.

- FEARNSIDE, P.M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics*, 41: 21-31.
- 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(1): 19-30.
- FEARNSIDE, P.M. 2005a. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management*, 35(1): 1-19.
- FEARNSIDE, P.M. 2005b. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(4): 675-691.
- FEARNSIDE, P.M. 2005c. Hidrelétricas planejadas no rio Xingu como fontes de gases do efeito estufa: Belo Monte (Kararaô) e Altamira (Babaquara). p. 204-241 In: A.O. Sevá Filho (ed.). *Tenotã-mô: Alertas sobre as Consequências dos Projetos Hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*. International Rivers Network, São Paulo, SP. 344p.
- FEARNSIDE, P.M. 2006. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental Management*, 38(1): 16-27.
- 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(1): 100-115.
- 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.; 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(3): 239-270.
- FORSTER, P. & 50 outros. 2007. Changes in atmospheric constituents and radiative forcing. p. 129-234. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 996p.
- FURCH, K. & JUNK, W.J. 1992. Nutrient dynamics of submersed decomposing Amazonian herbaceous plant species *Paspalum fasciculatum* and *Echinochloa polystachya*. *Revue D'Hydrobiologie Tropicale*, 25(2): 75-85.
- FURCH, K. & JUNK, W.J. 1997. The chemical composition, food value, and decomposition of herbaceous plants, leaves, and leaf litter of floodplain forests. p. 187-205. In: W.J. Junk (ed.). *The Central Amazon Floodplain – Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 525p.
- GALY-LACAUX, C.; DELMAS, R.; JAMBERT, C.; DUMESTRE, J.-F.; LABROUE, L.; RICHARD, S. & GOSSE, P. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(4): 471-483.
- 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(2): 503-517.
- IHA. s/d [C. 2002]. Greenhouse gas emissions from reservoirs. International Hydropower Association (IHA), Sutton, Surrey, Reino Unido, 2p. [http:// www.hydropower.org/DownLoads/Emissions%20from%20reservoirs.pdf](http://www.hydropower.org/DownLoads/Emissions%20from%20reservoirs.pdf).
- JORDAN, C.T. & UHL, C. 1978. Biomass of a "tierra firme" forest of the Amazon Basin. *Oecologia Plantarum*, 13(4): 387-400.
- JUNK, W.J. & FURCH, K. 1991. Nutrient dynamics in Amazonian floodplains: Decomposition of herbaceous plants in aquatic and terrestrial environments. *Verhandlungen International Vereinigung für Limnologie*, 24: 2080-2084.
- JUNK, W.J. & PIEDADE, M.T.F. 1997. Plant life in the floodplain with special reference to herbaceous plants. p. 147-185 In: W.J. Junk (ed.). *The Central Amazon Floodplain – Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha. 525p.
- KLINGE, H. 1973. Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazónico. *Acta Científica Venezolana*, 24: 174-181.
- KLINGE, H. & RODRIGUES, W.A. 1973. Biomass estimation in a central Amazonian rain forest. *Acta Científica Venezolana*, 24: 225-237.
- MACEIRA, M.E.P. & DAMÁZIO, J.M. s/d. Analysis of the streamflow record extension for the Xingu River at Babaquara. Electrical Power Research Center – CEPTEL, Rio de Janeiro, RJ. (<http://www.unesco.org/uy/phi/libros/manaos/3.html>)
- MCCULLOCH, M. & VADGAMA, J. 2003. *Life-cycle evaluation of GHG emissions and land change related to selected power generation options in Manitoba*. Project 256-001, Pembina Institute for Appropriate Development, Calgary, Alberta, Canada. 51p. <http://www.pembina.org>.
- MELACK, J.M.; HESS, L.L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B.R.; HAMILTON, S.K.; LIMA, I.B.T. & NOVO, E.M.L.M. 2004. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. *Global Change Biology* 10: 530-544.
- MORI, S.A. & BECKER, P. 1991. Flooding affects survival of Lecythidaceae in terra firme forest near Manaus, Brazil. *Biotropica*, 23: 87-90.
- PEISAJOVICH, A.; CHAMBERLAND, A. & GAGNON, L. 1996. Greenhouse gases from full energy cycle of northern hydro-electricity (preliminary assessment of production and transportation). In: *Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Full Energy Chain for Hydropower, Nuclear Power and Other Energy Sources. Papers Presented at an IAEA Advisory Group Meeting Jointly Organized by Hydro-Québec and the International Atomic Energy Agency, Hydro-Québec Headquarters, Montreal (Canada) 12-14 March 1996*. IAEA, Vienna, Áustria. Paginação irregular.

- PINTO, L.F. 2002. *Hidrelétricas na Amazônia: Predestinação, Fatalidade ou Engodo?* Edição Jornal Pessoal, Belém, PA, 124p.
- PINTO, L.F. 2003. Corrigida, começa a terceira versão da usina de Belo Monte. *Jornal Pessoal* [Belém], 28 de novembro de 2003. (http://www.amazonia.org.br/opiniaio/artigo_detail.cfm?id=90328)
- REVILLA CARDENAS, J.D. 1987. *Relatório: Levantamento e Análise da Fitomassa da UHE de Kararaô, Rio Xingú*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM.
- REVILLA CARDENAS, J.D. 1988. *Relatório: Levantamento e Análise da Fitomassa da UHE de Babaquara, Rio Xingú*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM.
- ROSA, L.P.; SCHAEFFER, R. & dos SANTOS, M.A. 1996. Are hydroelectric dams in the Brazilian Amazon significant sources of 'greenhouse' gases? *Environmental Conservation*, 23(2): 2-6.
- ROSA, L.P.; SIKAR, B.M.; dos SANTOS, M.A. & SIKAR, E.M. 2002. *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*. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), Brasília, DF, 119p. http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/pdf/metano_p.pdf
- SANTOS, L.A.O. & de ANDRADE, L.M.M. (eds.). 1990. *Hydroelectric Dams on Brazil's Xingu River and Indigenous Peoples*. Cultural Survival Report 30. Cultural Survival, Cambridge, Massachusetts, E.U.A., 192 p.
- SANTOS, W.F. 2004. Os empreendimentos hidrelétricos na Amazônia. II Feira Internacional da Amazônia, II Jornada de Seminários Internacionais sobre Desenvolvimento Amazônico, Manaus, AM, 17 de setembro de 2004. (apresentação PowerPoint).
- SCHIMMEL, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. p. 65-131 *In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell. (eds.). Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 572 p.
- SEVÁ, O. 1990. Works on the great bend of the Xingu--A historic trauma? p. 19-35. *In: L.A.O. Santos & L.M.M. de Andrade (eds.). Hydroelectric Dams on Brazil's Xingu River and Indigenous Peoples*. Cultural Survival Report 30. Cultural Survival, Cambridge, Massachusetts, E.U.A.
- SEVÁ, O. (ed.) 2005. *Tenotã-mô: Alertas sobre as Conseqüências dos Projetos Hidrelétricos no rio Xingu, Pará, Brasil*. International Rivers Network, São Paulo, SP. 344 p.
- UN-FCCC. 2004. Executive Board of the Clean Development Mechanism Seventeenth Meeting Report. CDM-EB-17, 6 Dec. 2004. United Nations Framework Convention on Climate Change (UN-FCCC), Bonn, Alemanha. 9p. <http://cdm.unfccc.int/EB/meetings/017/eb17rep.pdf>
- VAN de VATE, J.F. 1995. The IAEA investigations into studies on comparative assessment of FENCH emissions of GHGs of different energy sources: An update. *Assessment of Greenhouse Gas Emission from the Full Energy Chain for Nuclear Power and Other Energy Sources*. IAEA, Vienna. 26-28 September 1995. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Áustria. Paginação irregular.
- VERCHOT, L.V.; DAVIDSON, E.A.; CATTÂNIO, J.H.; AKERMAN, I.L.; ERICKSON, H.E. & KELLER, M. 1999. Land use change and biogeochemical controls of nitrogen oxide emissions from soils in eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(1): 31-46.
- WASSMANN, R. & MARTIUS, C. 1997. Methane emissions from the Amazon floodplain. p. 137-143. *In: W.J. Junk (ed.). The Central Amazon Floodplain - Ecology of a Pulsing System*. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemanha, 525 p.