

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

Please cite as:  
Favor citar como:

**Fearnside, P.M. 2015. Hidrelétricas na Amazônia brasileira como fontes de gases de efeito estufa. pp. 141-159. In: P.M. Fearnside (ed.) *Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras*. Vol. 2. Editora do INPA, Manaus. 297 pp.**

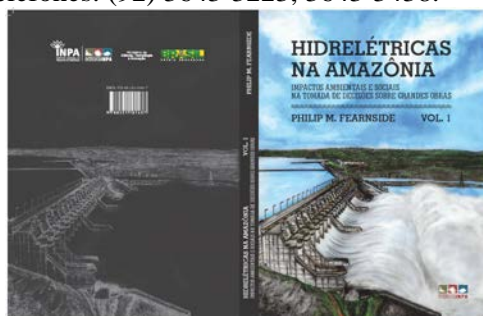
[Tradução de: Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi:10.1017/S0376892900034020]

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

Copyright: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA

The original publication is available from:  
A publicação original está disponível de:

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



Download grátis em: [http://philip.inpa.gov.br/publ\\_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro%20Hidrelétricas%20V.2.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Livro-Hidro-V2/Livro%20Hidrelétricas%20V.2.pdf)

# Capítulo 26

---

## **Hidrelétricas na Amazônia brasileira 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

Tradução de:

Fearnside, P.M. 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi:10.1017/S0376892900034020

## RESUMO

As hidrelétricas existentes na Amazônia brasileira emitiram aproximadamente 0,26 milhões de toneladas de metano e 38 milhões de toneladas de dióxido de carbono em 1990. As emissões de metano representam uma adição permanente aos fluxos de gases da região, em vez de um impacto de uma só vez. A área total dos reservatórios planejados na região é de cerca de 20 vezes a área existente em 1990, o que implica um potencial de liberação de metano anual de cerca de 5,2 milhões de toneladas. Cerca de 40% desta emissão estimada é de decomposição subaquática da biomassa florestal, que é o mais incerto dos componentes do cálculo. O metano também é liberado em reservatórios de águas abertas, bancos de macrófitas, e acima d'água pela decomposição de biomassa florestal.

As hidrelétricas lançam um grande pulso de dióxido de carbono a partir da decomposição acima d'água das árvores deixadas em pé nos reservatórios, especialmente durante a primeira década após o fechamento. Isso eleva o impacto do aquecimento global das barragens para níveis muito mais elevados do que iria ocorrer gerando a mesma energia a partir de combustíveis fósseis. Em 1990, o represamento a montante da Hidrelétrica de Balbina (fechada em 1987) tinha um impacto de mais de 20 vezes maior sobre o aquecimento global do que gerar a mesma

quantidade de eletricidade com combustíveis fósseis, enquanto a barragem de Tucuruí (fechada em 1984) tinha 0,4 vezes o impacto de combustíveis fósseis. Devido à grande área inundada por unidade de energia gerada em Balbina, as emissões de gases de efeito estufa deverão exceder as emissões evitadas de combustíveis fósseis por tempo indeterminado.

## INTRODUÇÃO

As hidrelétricas são comumente consideradas como não tendo sérios impactos sobre o efeito estufa, em contraste com o uso de combustíveis fósseis. No entanto, a principal razão para essa suposição frequente é a ignorância das emissões de usinas hidrelétricas. Reservatórios na Amazônia brasileira (Amazônia Legal) contribuem para as emissões de gases de efeito estufa da região, embora as contribuições dos reservatórios existentes atualmente sejam pequenas em relação a outras fontes antrópicas como o desmatamento para pastagem. Existem quatro 'grandes' barragens [ $> 10$  megawatts (MW)] na região: Balbina, no Estado do Amazonas (enchida em 1987), Curuá-Una, no Pará (1977), Samuel, em Rondônia (1988) e de Tucuruí, no Pará (1984) (Figura 1). Além disso, há pequenos reservatórios em Boa Esperança, no Maranhão (enchido antes de 1989), Jatapu em Roraima (1994), Paredão ou Coarcy Nunes no Amapá (1975), e Pitinga, no Amazonas (1982).



Figura 1. O Brasil da região da Amazônia Legal com os quatro grandes barragens existentes. z

A escala de desenvolvimento hidrelétrico contemplados para a Amazônia torna esta uma fonte potencialmente significativa das emissões de gases de efeito estufa no futuro. As barragens existentes e previstas são mostradas na Figura 2 e listadas na Tabela 1. As dificuldades financeiras do governo brasileiro têm repetidamente forçado a autoridade nacional de energia (ELETROBRÁS) e o monopólio do energia no norte do Brasil (ELETRONORTE) adiar os planos de construção de barragens. No entanto, a escala global dos planos, sem considerar a data prevista para a conclusão de cada barragem, mantém-se inalterada e, conseqüentemente, uma consideração importante para o futuro.

Existe pouca base para o cálculo das emissões de reservatórios. No entanto, a informação existente pode ser organizada de tal forma que permita tirar as melhores conclusões possíveis, dadas as limitações de nosso conhecimento. O presente trabalho avalia os montantes, tipos e a distribuição vertical de biomassa nas áreas inundadas por reservatórios.

Inferências aproximadas são tiradas sobre as emissões resultantes da decomposição desta biomassa, mas a incerteza é grande devido à má compreensão das taxas e caminhos de decomposição da biomassa inundada. Emissões de gases de efeito estufa de hidrelétricas são as menos bem compreendidas do que as emissões provenientes de outras formas de desmatamento na Amazônia (inundação por hidrelétricas é considerada uma forma de desmatamento; ver: Fearnside, 1993).

A contribuição final de inundação por hidrelétricas ao carbono atmosférico é muito mais fácil de calcular do que o impacto dessa inundação no balanço anual de emissões, o que requer o conhecimento das taxas de decomposição e das proporções de carbono emitidas como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>). Por unidade de peso, o metano é muito mais eficaz do que o CO<sub>2</sub> em provocar o aquecimento global. A contribuição final de barragens para as emissões de carbono é a diferença entre o carbono na floresta antes do enchimento e o



**Figura 2.** Setenta e nove barragens planejadas e existentes na Amazônia brasileira. Somente barragens no sistema ELETRONORTE estão incluídas, e não aqueles planejado por governos estaduais ou empresas privadas. Redesenhado de Seva (1990), que baseou o mapa no Brasil, ELETROBRÁS (1986) e no Brasil, ELETRONORTE (1985c).

**Tabela 1.** Barragens existentes e previstas na Amazônia brasileira<sup>a</sup>

| No. | Nome                       | Rio/Bacia      | Capacidade instalada prevista (MW) |
|-----|----------------------------|----------------|------------------------------------|
| 1.  | São Gabriel                | Uaupés/Negro   | 2.000                              |
| 2.  | Santa Isabel               | Uaupés/Negro   | 2.000                              |
| 3.  | Caracarái-Mucajaí          | Branco         | 1.000                              |
| 4.  | Maracá                     | Uraricoera     | 500                                |
| 5.  | Surumu                     | Cotingo        | 100                                |
| 6.  | Bacarão                    | Cotingo        | 200                                |
| 7.  | Santo Antônio              | Cotingo        | 200                                |
| 8.  | Endimari                   | Ituxi          | 200                                |
| 9.  | Madeira/Caripiana          | Mamoré/Madeira | 3.800                              |
| 10. | Samuel                     | Jamarí         | 200                                |
| 11. | Tabajara-JP-3              | Ji-Paraná      | 400                                |
| 12. | Jaru-JP-16                 | Ji-Paraná      | 300                                |
| 13. | Ji-Paraná-JP-28            | Ji-Paraná      | 100                                |
| 14. | Preto RV-6                 | Roosevelt      | 300                                |
| 15. | Muiraquitã RV-27           | Roosevelt      | 200                                |
| 16. | Roosevelt RV-38            | Roosevelt      | 100                                |
| 17. | Vila do Carmo AN-26        | Aripuanã       | 700                                |
| 18. | Jacaretinga AN-18          | Aripuanã       | 200                                |
| 19. | Aripuanã AN-26             | Aripuanã       | 300                                |
| 20. | Umiris SR-6                | Sucunduri      | 100                                |
| 21. | Itaituba                   | Tapajós        | 13.000                             |
| 22. | Barra São Manuel           | Tapajós        | 6.000                              |
| 23. | Santo Augusto              | Juruena        | 2.000                              |
| 24. | Barra do Madeira (Juruena) | Juruena        | 1.000                              |
| 25. | Barra do Apiacás           | Teles Pires    | 2.000                              |
| 26. | Talama (Novo Horizonte)    | Teles Pires    | 1.000                              |
| 27. | Curuá-Una                  | Curuá-Una      | 100                                |
| 28. | Belo Monte (Cararaó)       | Xingu          | 8.400                              |
| 29. | Babaquara                  | Xingu          | 6.300                              |
| 30. | Ipixuna                    | Xingu          | 2.300                              |
| 31. | Kokraimoro                 | Xingu          | 1.900                              |
| 32. | Jarina                     | Xingu          | 600                                |
| 33. | Irirí                      | Irirí          | 900                                |
| 34. | Balbina                    | Uatumã         | 300                                |
| 35. | Fumaça                     | Uatumã         | 100                                |
| 36. | Onça                       | Jatapu         | 300                                |
| 37. | Katuema                    | Jatapu         | 300                                |
| 38. | Nhamundá/Mapuera           | Nhamundá       | 200                                |
| 39. | Cachoeira Porteira         | Trombetas      | 1.400                              |
| 40. | Tajá                       | Trombetas      | 300                                |
| 41. | Maria José                 | Trombetas      | 200                                |
| 42. | Treze Quedas               | Trombetas      | 200                                |
| 43. | Carona                     | (Trombetas)    | 300                                |
| 44. | Carapanã                   | Erepecuru      | 600                                |
| 45. | Mel                        | Erepecuru      | 500                                |
| 46. | Armazém                    | Erepecuru      | 400                                |
| 47. | Paciência                  | Erepecuru      | 300                                |
| 48. | Curuá                      | Curuá          | 100                                |
| 49. | Maecuru                    | Maecuru        | 100                                |
| 50. | Paru III                   | Paru           | 200                                |
| 51. | Paru II                    | Paru           | 200                                |
| 52. | Paru I                     | Paru           | 100                                |
| 53. | Jari IV                    | Jari           | 300                                |

Tabela 1. Continuação

| No.   | Nome               | Rio/Bacia  | Capacidade instalada prevista (MW) |
|-------|--------------------|------------|------------------------------------|
| 54.   | Jari III           | Jari       | 500                                |
| 55.   | Jari II            | Jari       | 200                                |
| 56.   | Jari I             | Jari       | 100                                |
| 57.   | F. Gomes           | Araguari   | 100                                |
| 58.   | Paredão            | Araguari   | 200                                |
| 59.   | Caldeirão          | Araguari   | 200                                |
| 60.   | Arrendido          | Araguari   | 200                                |
| 61.   | Santo Antônio      | Araguari   | 100                                |
| 62.   | Tucuruí            | Tocantins  | 6.600                              |
| 63.   | Marabá             | Tocantins  | 3.900                              |
| 64.   | Santo Antônio      | Tocantins  | 1.400                              |
| 65.   | Carolina           | Tocantins  | 1.200                              |
| 66.   | Lajeado            | Tocantins  | 800                                |
| 67.   | Ipueiras           | Tocantins  | 500                                |
| 68.   | São Félix          | Tocantins  | 1.200                              |
| 69.   | Sono II            | Sono       | 200                                |
| 70.   | Sono I             | Sono       | 100                                |
| 71.   | Balsas I           | Balsas     | 100                                |
| 72.   | Itacaiúnas II      | Itacaiúnas | 200                                |
| 73.   | Itacaiúnas I       | Itacaiúnas | 100                                |
| 74.   | Santa Isabel       | Araguaia   | 2.200                              |
| 75.   | Barra do Caiapó    | Araguaia   | 200                                |
| 76.   | Torixoréu          | Araguaia   | 200                                |
| 77.   | Barra do Peixe     | Araguaia   | 300                                |
| 78.   | Couto de Magalhães | Araguaia   | 200                                |
| 79.   | Noidori            | Mortes     | 100                                |
| Total |                    |            | 85.900                             |

(a) Com base na lista derivada a partir de fontes de ELETRONORTE por Seva (1990, p. 26-27). Números das barragens correspondem à numeração na Figura 2.

carbono que permanece no reservatório depois que a floresta tenha sido decomposta e um equilíbrio for alcançado. As reservatórios em áreas de floresta tropical têm um potencial muito maior para as emissões de gases de efeito estufa do que os reservatórios em paisagens de baixa biomassa que caracterizam a maioria das usinas hidrelétricas existentes no mundo. A quantidade de energia gerada também afeta fortemente os impactos comparativos de hidrelétrica contra geração de combustíveis fósseis.

Na Amazônia, as barragens são frequentemente piores do que o petróleo a partir do ponto de vista do total final das emissões de gases de efeito estufa. O pior caso é a hidrelétrica de Balbina. Junk e Nunes de Mello (1987) calcularam que seriam necessários 114 anos de queima de combustíveis fósseis para igualar as emissões de carbono da floresta inundada em Balbina. O cálculo feito por esses autores considerou a capacidade instalada da Balbina de 250 megawatts (MW) e uma área de 1.650 km<sup>2</sup>.

A capacidade instalada de uma barragem representa o que seria gerado se todas as turbinas funcionassem durante todo o ano. Uma vez que o fluxo do rio Uatumã em Balbina é apenas suficiente para executar todas as turbinas de uma fração do ano, a produção média da barragem é de 112 MW, e as perdas na transmissão para Manaus reduz a média fornecida a 109 MW (Brasil, ELETRONORTE/Monasa/ENGE-RIO, 1976). A área do reservatório utilizado por Junk e Nunes de Mello (1987), foi baseado em estimativas preliminares que previam uma área consideravelmente menor do que as estimativas mais recentes. Considerando-se a potência média entregue a Manaus e a área 'oficial' do reservatório de 2.360 km<sup>2</sup> ao nível operacional máximo normal de 50 m de altitude acima do nível médio do mar, e tomando como base a estimativa de Junk e de Nunes de Mello, Fearnside (1989) alterou para 250 anos a estimativa de quanto petróleo teria de ser queimado para igualar as emissões finais de carbono em Balbina.



Embora útil como ilustração, o cálculo da contribuição definitiva para as emissões de carbono pouco nos diz sobre a contribuição para o balanço anual de emissões. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), assinado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), no Rio de Janeiro em junho de 1992 por 155 países mais a União Europeia, estipula que cada nação deve fazer um inventário dos estoques de carbono e os fluxos de gases do efeito estufa. Isto implica que o saldo anual de fluxos de gases de efeito estufa será o critério adotado para a atribuição de responsabilidade entre as nações para o aquecimento global. Como a biomassa florestal em reservatórios amazônicos se decompõe muito lentamente, a contribuição para o balanço anual é muito diferente do potencial final de emissão de carbono.

Além do tempo de emissão, a quantidade que é emitida como metano em vez de dióxido de carbono influencia fortemente o impacto do aquecimento global dos reservatórios. Por tonelada de carbono, o metano é muito mais potente do que o dióxido de carbono em provocar o efeito de estufa. A vida média do metano na atmosfera é muito mais curta do que a do dióxido de carbono: 10,5 anos contra 120 anos, dada uma atmosfera de composição constante como presumido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (Isaksen et al., 1992, p. 56). Diferentes métodos de cálculo da equivalência de aquecimento global dos vários gases de efeito estufa resultam em valores bastante diferentes para a importância de metano; os métodos que consideram os efeitos indiretos e aqueles que dão ênfase aos impactos no futuro próximo atribuem substancialmente mais peso ao metano.

O método preferido do IPCC de cálculo no seu relatório complementar de 1992 considera um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto e só considera os efeitos diretos (Isaksen et al., 1992, p. 56). Isto atribui a cada tonelada de gás metano um peso 11 vezes maior do que cada tonelada de dióxido de carbono. Se os efeitos indiretos são considerados usando o mesmo horizonte de tempo, como foi feito no relatório do IPCC de 1990 (Shine et al., 1990, p. 60), o peso dado ao metano em relação ao CO<sub>2</sub> (o potencial de aquecimento global) é 21. Considerando que muito do impacto do aquecimento global do metano é através de efeitos indiretos, o estado atual do desacordo sobre um potencial de aquecimento global adequado para o

metano é susceptível de ser resolvido em favor de valores mais elevados, aumentando a importância relativa dos impactos de reservatórios de hidrelétricas na Amazônia. *[Observação acrescentada em 2013: Este parágrafo foi profético: os valores para o GWP de metano têm aumentado com cada relatório do IPCC. No quinto relatório, lançado em setembro de 2013, o valor para um horizonte de 100 anos sem efeitos indiretos é de 28, ou mais que o dobro do valor de 11 usado neste trabalho. O valor para um horizonte de 100 anos com efeitos indiretos é de 34, e é de 86 para um horizonte de tempo de 20 anos, mais relevante à política de controle de aquecimento global].*

A várzea da Amazônia (várzea de água branca) tem sido identificada como uma das principais fontes mundiais de metano atmosférico (Mooney et al., 1987). A várzea ocupa cerca de 2% dos 5 × 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> da Amazônia Legal, o mesmo percentual que seria inundada se todos os 100.000 km<sup>2</sup> de reservatórios previstos para a região fossem criados (Brasil, ELETROBRÁS, 1987, p. 150). Praticamente todas as hidrelétricas planejadas ficariam na parte florestal da região, de que representariam 2,5-2,9%. Se estes reservatórios fossem contribuir com uma emissão de metano por km<sup>2</sup> na mesma ordem que aquela produzida pela várzea, representariam em conjunto uma contribuição significativa para o efeito de estufa. Esta fonte de metano seria uma adição quase permanente para os fluxos de gases do efeito estufa, ao invés de uma entrada de uma só vez, como as emissões de CO<sub>2</sub> a partir da decomposição da floresta morta.

## **ABORDAGEM DE CÁLCULO DAS EMISSÕES DE RESERVATÓRIOS**

Para calcular as emissões de reservatórios de usinas hidrelétricas é preciso saber as quantidades de biomassa presente e os caminhos possíveis pelos quais ela se deteriorará. As árvores deixadas em pé no reservatório são, obviamente, um componente importante. A parte da árvore projetada para fora da água pode-se supor que se decompõe através de processos semelhantes aos que afetam as árvores em clareiras para a agricultura e pecuária, com parte da biomassa sendo ingerida por térmitas (cupins), que emitem uma pequena quantidade de metano, e a outra parte se decompõe por meio de outras formas de deterioração, no ambiente aeróbio acima da água, produzindo apenas o CO<sub>2</sub>. A biomassa acima do nível da água eventualmente cai na água, sendo

assim transferida para os ambientes anóxicos onde a decomposição é muito mais lenta, mas também mais suscetível a produzir metano. As folhas e cipós caem das árvores muito rapidamente, e os galhos e troncos caem em um ritmo muito mais lento.

Um reservatório pode ser dividido em diferentes zonas, em que as condições aeróbias e anóxicas terão distintas importâncias relativas (Fig. 3). Parte do reservatório é alternadamente exposta e inundada quando os níveis de água oscilam entre os níveis normais de operação máximo e mínimo. Todos os componentes da biomassa desta zona, incluindo serapilheira e biomassa abaixo do solo, serão expostos a condições aeróbias em algum momento durante o ano. A porção de troncos em pé na zona permanentemente inundada, que estão localizados entre os níveis mínimo e máximo normais, também será exposta a condições aeróbicas.

Para a biomassa subaquática, uma parte da biomassa perto da superfície estará num ambiente que tem algum oxigênio. A zona anóxica não corresponde diretamente ao hipolímnio, e para efeitos de decomposição, o limite está ainda mais

próximo da superfície da água. Em Balbina, por exemplo, apesar de ter uma pequena quantidade de oxigênio mensurável até 5 m de profundidade (G.V. Peña, comunicação pessoal, 1993), as pessoas interessadas na exploração comercial da madeira inundada consideram toda a madeira abaixo de 1 m não sendo afetada pela decomposição (E.V.C. Monteiro de Paula, comunicação pessoal, 1993).

A decomposição na zona de água anóxica é extremamente lenta, mesmo para as folhas, que geralmente deterioram rapidamente. A ELETRONORTE contratou o Laboratório de Hidráulica Delft, em Delft, na Holanda, para a produção de um modelo de qualidade da água em Balbina (Brasil, ELETRONORTE, 1987, p. 261). O modelo, conhecido como OXI-STRATIF, presume que todo o material em folhas, galhos finos e serapilheira será decomposto dentro de dez anos. No entanto, mais de cinco anos após o enchimento de Balbina, grande parte desse material ainda está presente (embora nenhuma informação quantitativa esteja disponível). A natureza da decomposição muito lenta na zona anóxica é ilustrada por feixes de folhas que foram colocados em 5 m de profundidade para estudos de insetos e outros organismos em Balbina: após 10 meses a aparência visual das folhas permaneceram tão verdes como o dia quando elas foram colocadas na água. Não há organismos macroscópicos colonizando as folhas, e nem mesmo o lodo que normalmente se forma sobre o material em decomposição estava presente (G.V. Peña, comunicação pessoal, 1993).

Em áreas rasas dos reservatórios, bolhas de metano são facilmente observadas. Tanto em Balbina como em Tucuruí, as bolhas podem ser vistas por toda parte, mesmo quando nenhuma pressão é exercida, como por pisar no fundo. A natureza do ambiente, que é desprovida de oxigênio, com temperaturas relativamente elevadas e com altos níveis de nutrientes, e torna ideal para processos de decomposição de produção de metano.

As emissões de decomposição de biomassa florestal serão complementadas a partir da decomposição da matéria orgânica que entra no reservatório pelos rios e córregos que o alimentam, a partir de matéria orgânica do solo e das macrófitas que crescem no reservatório. A produção de metano a partir destas fontes deve ser considerada, embora o dióxido de carbono não precise ser considerado como uma adição líquida (com exceção da oxidação de qualquer

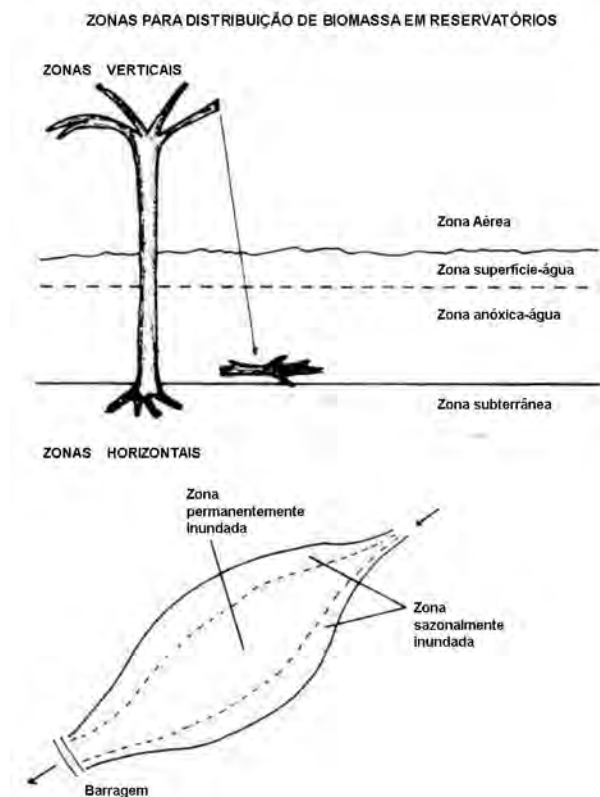


Figura 3. Zonas de distribuição de biomassa em reservatórios.



matéria orgânica do solo). Os dados sobre a produção de metano a partir destas fontes, o que pode ser vagamente descrito como a produção a partir da água em si, não estão disponíveis para qualquer reservatório da Amazônia, o substituto mais próximo disponível são lagos naturais na várzea.

A produção de metano a partir da decomposição não é rigorosamente idêntica à emissão de metano para a atmosfera, já que parte do metano dissolvido na coluna de água, é transformado em CO<sub>2</sub> por oxidação antes de entrar na atmosfera. Por causa da quantidade limitada de mistura através da termoclina, altas concentrações de metano na água no hipolimnio só entrarão na atmosfera quando a água passar através das turbinas; neste ponto espera-se que grandes quantidades de metano possam ser liberadas, devido à redução abrupta da pressão. Isto ocorre, por exemplo, na água que passa através das turbinas em reservatórios no Canadá (M. Lucotte, comunicação pessoal, 1993). No entanto, nem todo o metano será exposto à atmosfera no reservatório e as turbinas, e uma parte da emissão ocorrerá a jusante da barragem. A concentração em solução de CH<sub>4</sub> na água liberada a partir das turbinas ou sobre o vertedouro é uma medida importante que tem que ser feita, mas não todo o CH<sub>4</sub> presente nestes fluxos de água pode ser considerado como emissões de metano, pois parte do CH<sub>4</sub> pode ser oxidado para CO<sub>2</sub> no rio (Rosa, 1992).

Água rica em metano do hipolimnio é ocasionalmente lançada em reservatórios na Amazônia central e ocidental (Balbina e Samuel), quando uma friagem reduz a temperatura da superfície e provoca dissolução da termoclina (a barreira criada por estratificação térmica da coluna de água que impede a mistura vertical), o que resulta na subida de água anóxica até a superfície. Muitos peixes morrem durante esses eventos, por exemplo, em abril de 1993 em Balbina. Estes eventos são mais frequentes na parte ocidental da Amazônia, e não são um fator importante na parte oriental, onde a maior parte dos reservatórios planejados seria localizada.

## EMISSIONES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

### Parâmetros para cálculos de emissões

A estimativa de emissões de reservatórios primeiro requer estimativas da área de floresta inundada em cada represamento. A área do leito no interior de cada reservatório deve ser estimada e subtraída da área da superfície da água. Áreas de leito de rio são calculadas na Tabela 2 a partir de estimativas do comprimento e largura média dos rios. As áreas de superfície dos reservatórios foram medidas a partir de imagens LANDSAT-TM em escala de 1:250.000. Áreas previamente desmatadas e áreas de leito são subtraídas quando a perda de florestas é calculada (Tabela 3).

**Tabela 2.** Áreas de leito de rio em reservatórios amazônicos

| Reservatório | Rio              | Comprimento no reservatório (km) <sup>a</sup> | Largura média (m) <sup>b</sup> | Área de leito de rio (km <sup>2</sup> ) | Fonte |
|--------------|------------------|---|--------------------------------|---|-------|
| Balbina      | Uatumã           | 210   | 139                            | 29                                      |       |
|              | Pitinga          | 100   | 99                             | 10                                      |       |
| Total        |                  |   |                                | 39                                      | c     |
| Curuá-Una    | Curuá-Una        | 80  | 69                             | 6                                       |       |
|              | Muju             | 40  | 35                             | 1                                       |       |
|              | Mojui dos Campos | 20  | 15                             | 0                                       |       |
| Total        |                  |   |                                | 7                                       | d     |
| Samuel       | Jamari           | 255   | 116                            | 29                                      | e     |
| Tucuruí      | Tocantins        | 170   | 1891                           | 321                                     | f     |
| Total        |                  |   |                                | 397                                     |       |

(a) Comprimentos de Balbina e Tucuruí de Juras(1988).

(b) Larguras dos rios mensuradas em intervalos de aproximadamente 5 km utilizando os mapas ou imagens indicados em "fonte" nas seguintes escalas: Balbina: 1:100.000; Samuel: 1:40.000; Tucuruí: 1:250.000. Larguras de Curuá-Una e seus afluentes são baseados em seis medições diretas por Robertson (1980).

(c) Brasil, ELETRONORTE, 1985.

(d) Robertson, 1980.

(e) Brasil, ELETRONORTE, s/d.

(f) Brasil, Projeto RADAMBRASIL, 1981.

**Tabela 3.** Inundação por hidrelétricas

| Barragem  | Estado   | Datas de enchimento                          | Desmatamento pré-existente na área inundada (km <sup>2</sup> ) | Área de leito de rio (km <sup>2</sup> ) | Área oficial da superfície de água (km <sup>2</sup> ) | Área medida por LANDSAT da superfície de água em 1989 (km <sup>2</sup> ) | Área estimada de perda de floresta (km <sup>2</sup> ) | Taxa de perda de floresta em 1988-1989 (km <sup>2</sup> /ano) |
|-----------|----------|--|--|---|---|--|---|---|
| (1)       | (2)      | (3)  | (4)  | (5)                                     | (6)   | (7)  | (8)   | (9)   |
| Balbina   | Amazonas | 01 de outubro de 1987 - 15 de julho de 1989  | 55   | 39                                      | 2.360   | 3.147  | 3.108   | 693 <sup>e</sup>  |
| Curuá-Una | Pará     | Jan de 1977 - maio de 1977                   | 0  | 7                                       | 102   | 72   | 65 <sup>f</sup>                                       | 0   |
| Samuel    | Rondônia | Outubro de 1988 - julho de 1989              | 91   | 29                                      | 645   | 465  | 436   | 436   |
| Tucuruí   | Pará     | 06 de setembro de 1984 - 30 de março de 1985 | 400 <sup>g</sup>   | 321                                     | 2.430   | 2.247  | 1.926   | 0   |
| Totais    |          |  | 546  | 397                                     | 5.537   | 5.931  | 5.534   | 1.129   |

- (a) Área do leito em Balbina estimada a partir ELETORNORTE (1985a), com escala mapa de 1:100.000; área leito de Curuá-Una calculada a partir de mapa e largura do rio medidas de Robertson (1980), área de leito de Samuel estimada a partir de comprimento; área do leito do rio em Tucuruí a partir de Brasil, Projeto RADAMBRASIL, 1981.
- (b) Áreas oficiais para apenas comparação. Fontes: Balbina: Brasil, ELETORNORTE, 1987; Curuá-Una: Robertson, 1980, p. 9; Samuel: RevillaCardenas, 1986; Tucuruí: Brasil, ELETORNORTE, s/d [1987], p. 24 - 25.
- (c) Três pequenas barragens fora do sistema ELETORNORTE são: Pitinga (enchida em 1982 e aumentada em 1993; 1989 área medida-LANDSAT = 62 km<sup>2</sup>), perto de Balbina no Amazonas, Boa Esperança (enchida antes de 1989; área medida-LANDSAT = 24 km<sup>2</sup>), no Maranhão, e Jatapu (preenchida em 1994, a área oficial = 45 km<sup>2</sup>), em Roraima. Toda a área inundada por essas barragens representa a perda de florestas. As duas barragens cheias antes de 1989 elevariam a área total medida por LANDSAT para 6.017 km<sup>2</sup> e a perda de floresta estimada para 5.620 km<sup>2</sup>.
- (d) LANDSAT - medida da superfície da água inclui leito do rio e desmatamento anterior. Para evitar dupla contagem, a perda de florestas estimado não inclui o desmatamento anterior: Coluna 8 = Coluna 7 - Coluna 5. (Fonte: Fearnside et al., s/d).
- (e) Balbina 1988 - taxa de 1989 é uma estimativa exagerada devido à falta de uma imagem de 1988 (230/61) que cobre cerca de 10 - 20% da área do reservatório mais próximo da barragem. Se a área sem imagem representou 10% da área medida em 1988, então a taxa de perda de Balbina em 1988-1989 foi de 348 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (uma diminuição de 34%), se 20%, então a taxa de perda era de 162 km<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> (uma redução de 70%).
- (f) Área medida por Robertson (1980) a partir do mapa de Centrais Elétricas do Pará (CELPA). Paiva (1977) dá a área oficial como 86 km<sup>2</sup>.
- (g) Apenas a área desmatada pela ELETORNORTE (Brasil, ELETORNORTE, s/d [1987]).

A distribuição vertical da biomassa, e a classificação em troncos, folhas e outros componentes, é importante para determinar que porção da biomassa decomporá acima d'água e que parte decomporá de forma subaquática nas zonas permanentemente alagadas e inundadas sazonalmente. O único estudo de biomassa existente que atribui a biomassa em estratos verticais é o de Klinge e Rodrigues (1973), feito na Reserva Egler, do INPA, 64 km a leste de Manaus. Os pesos secos aproximados estão indicados na Tabela 4. A floresta na Reserva Egler tem uma altura máxima de 38,1 m, que deve ser presumida como aplicável às florestas nos quatro grandes reservatórios existentes.

Estimativas de biomassa específicas para cada reservatório estão disponíveis para todas as represas, com exceção de Curuá-Una (Tabela 5). Felizmente, a floresta inundada em Curuá-Una tem uma área de apenas 65 km<sup>2</sup>, o que representa apenas 1,3% do total de 4.824 km<sup>2</sup> de floresta inundada na região em 1990 (Tabela 5). A biomassa para Curuá-Una é presumido como sendo a média estimada para todas as áreas desmatadas no período 1989-1990 (Fearnside, 1996). Com base na proporção em estratos verticais (Tabela 4), as profundidades de água em níveis mínimos e máximos de operação (Tabela

5), e as áreas de cada zona (Tabela 5), a biomassa é calculada para cada reservatório nas seguintes categorias: madeira na zona acima d'água, madeira na zona de água superficial, material em folhas e outros componentes na zona de água anóxica (todo material presumido em cair no fundo do reservatório), e madeira abaixo do solo (Tabela 5). As quantidades de madeira removidas por exploração madeireira, antes do enchimento e depois do enchimento (até 1990) são também estimadas de forma muito aproximada (Tabela 5).

Após estes cálculos, a progressão dos valores de biomassa é calculada para cada ano para cada reservatório, zona e componente da biomassa. Isso é feito usando as taxas de decomposição em cada zona e as taxas de biomassa caindo das árvores projetadas acima da água para as zonas abaixo da água; estas taxas e outros parâmetros para os cálculos de emissões estão apresentados na Tabela 6. As distribuições de biomassa resultante em 1990 estão indicadas na Tabela 7.

Sabe-se que taxas de decomposição para a biomassa debaixo d'água são extremamente lentas, mas medições atuais são completamente inexistentes. Os valores de tempo médio presumidos aqui são: 50 anos para madeira na zona de água de superfície, 200 anos para folhas na zona de água anóxica, 500 anos

**Tabela 4.** Biomassa por estrato perto de Manaus: o peso seco aproximado (a)

| Estrato  | Altura média (Em metros) (b) |                 | Produção de biomassa seca aproximado (t / ha) |        |        |                    |                     | Percentual de biomassa acima do solo total de |        |        |                    |                     |
|--|------------------------------|-----------------|---|--------|--------|--------------------|---------------------|---|--------|--------|--------------------|---------------------|
|  | Ponto Médio                  | Varição (+ / -) | Folhas  | Caulos | Galhos | Total madeira viva | Total biomassa viva | Folhas  | Caulos | Galhos | Total madeira viva | Total biomassa viva |
| A  | 29,6                         | 5,9             | 1,1   | 66,1   | 23,1   | 89,3               | 90,3                | 0,28  | 17,15  | 6,00   | 23,15              | 23,43               |
| B  | 21,1                         | 4,4             | 3,4   | 127,9  | 58,5   | 186,4              | 189,8               | 0,87  | 33,17  | 15,16  | 48,34              | 49,21               |
| C1   | 11,5                         | 3,1             | 1,9   | 22,5   | 12,4   | 34,9               | 36,7                | 0,48  | 5,83   | 3,22   | 9,04               | 9,52                |
| C2   | 4,8                          | 1,2             | 1   | 4,8    | 1,7    | 6,5                | 7,4                 | 0,25  | 1,23   | 0,44   | 1,68               | 1,92                |
| D  | 2,4                          | 0,7             | 1   | 0,9    | 0,3    | 1,2                | 2,2                 | 0,27  | 0,22   | 0,09   | 0,31               | 0,58                |
| E  | 0,6                          | 0,5             | 0,3   | 0,4    | 0,0    | 0,4                | 0,7                 | 0,07  | 0,10   | 0      | 0,10               | 0,17                |
| Lianas   |                              |                 | 8,6   | 222,5  | 96,0   | 318,5              | 327,1               | 2,23  | 57,70  | 24,91  | 82,61              | 84,83               |
| Epifitas   |                              |                 | 21,9  |        |        |                    |                     | 5,67  |        |        |                    |                     |
| Os totais de não-madeira, madeira e todos vivem aboveground biomassa |                              |                 | 0,1   |        |        |                    |                     | 0,03  |        |        |                    |                     |
| Serrapilheira Fina (c)   |                              |                 | 30,6  |        |        | 318,5              | 349,1               | 7,92  |        |        | 82,61              | 90,53               |
| Abatido madeira morta (d)  |                              |                 | 10,9  |        |        |                    |                     | 2,83  |        |        |                    |                     |
| De pé madeira morta (d)  |                              |                 |   |        |        | 18,02              |                     |   |        |        | 4,67               |                     |
| Os totais de não-madeira, madeira e todos aboveground biomassa       |                              |                 |   |        |        | 7,6                |                     |   |        |        | 1,97               |                     |
|  |                              |                 | 41,5  |        |        | 344,2              | 385,6               | 10,75   |        |        | 89,25              | 100,00              |

(a) Dados para pesos frescos da Klinge e Rodrigues (1973), convertidos para pesos secos utilizando um fator de correção constante de 0,475 derivado para esses dados pelos mesmos autores (Klinge et al., 1975).  
 (b) Altura máximas árvores na parcela e foi de 38,1 m. A parcela está localizada 64 km a leste de Manaus, na Reserva Egler do INPA.  
 (c) Média de cinco medições em locais de barragens hidrelétricas em Samuel, Belo Monte e Babaquara (Revilla Cardenas, 1987, 1988; Martinielli et al., 1988).  
 (d) Klinge, 1973: 179.

**Tabela 5.** Biomassa presente e a divisão por zonas em reservatórios amazônicos

| Barragem   | Ano de enchimento   | Área de água de superfície no nível operacional (ha)          | Floresta inundada no nível operacional (Ha)                              | Floresta inundada no nível mínimo (Ha)    | Biomassa total aproximada (t/ha) | Biomassa acima do solo (t/ha) | Fonte para biomassa | Profundidade média | Fonte para profundidade |
|--|---|---|--|---|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| Balbina  | 1987  | 314700  | 310840   | 206829                                    | 441                              | 336                           | (A, p. 172-173)     | 6,2                | (A, p. 14)              |
| Curuá-Una  | 1977  | 7200  | 6480   | 5500                                      | 428                              | 327                           | Fearnside, s/d-a    | 6,2                | (B)                     |
| Samuel   | 1988  | 46,5  | 43551  | 30,901                                    | 557                              | 425                           | (C, p. 4)           | 5,3                | (B)                     |
| Tucuruí  | 1984  | 224700  | 192553   | 106787                                    | 517                              | 394                           | (D, p. 90)          | 9,7                | (E)                     |
| Totais   |   | 593100  | 553424   | 350017                                    |                                  |                               |                     |                    |                         |
| Biomassa inicial por zona (t de matéria seca / ha) |   |   |  |   |                                  |                               |                     |                    |                         |
| Barragem   | Madeira acima da água   | Madeira na água de superfície                                 | Madeira na água anóxica  | Folhas e outros materiais na água anóxica | Madeira abaixo do solo           | Total                         |                     |                    |                         |
| Balbina  | 264,69  | 4,55  | 31,44  | 35,70                                     | 104,74                           | 441,12                        |                     |                    |                         |
| Curuá-Una  | 257,11  | 4,42  | 30,54  | 34,68                                     | 101,74                           | 428,50                        |                     |                    |                         |
| Samuel   | 339,59  | 5,74  | 34,56  | 45,11                                     | 132,34                           | 557,34                        |                     |                    |                         |
| Tucuruí  | 291,40  | 5,33  | 55,47  | 41,82                                     | 122,69                           | 516,71                        |                     |                    |                         |
| Barragem   | Remoções de biomassa por exploração madeireira da área do reservatório (t/ha) | Fração da biomassa acima do solo removida antes do enchimento | Fração da madeira original na zona anóxica removida depois do enchimento | Ârea desmatada antes do enchimento (ha)   | Profundidade de rebaxamento (m)  | Fonte para rebaxamento        |                     |                    |                         |
|  | Antes do enchimento   | Depois do enchimento  |  | Zona sazonalmente inundada                | Zona permanentemente inundada    | Total                         |                     |                    |                         |
| Balbina  | 0   | 0   | 0,5  | 1993                                      | 2000                             | 5000                          | 4                   |                    |                         |
| Curuá-Una  | 0   | 0   | 0  |   |                                  |                               | 4,5                 | Presunção          |                         |
| Samuel   |   | 0,2   | 0  |   |                                  |                               | 7                   | (F, p.5)           |                         |
| Tucuruí  |   | 0,01  | 0,5  | 1988                                      | 2.000                            | 8000                          | 14                  | (G, p.5)           |                         |

(A) Brasil, ELETRONORTE, 1987. Floresta inundada no nível mínimo é ajustado pela razão entre a área oficial no nível operacional e a área medida por LANDSAT.

(B) Paiva, 1977, p. 17 (valor para a profundidade média a nível operacional máximo).

(C) Revilla Cardenas e do Amaral, 1986; área de floresta inundada ao nível mínimo de água tomado como proporcional ao volume de água nestes dois níveis do Brasil, ELETRONORTE, s/d [1992] b, p. 5.

(D) Revilla Cardenas et al., 1982.

(E) Usa 58,0 m acima do nível médio do mar, como nível mínimo de operação normal (Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1983]. Um nível mínimo de operação de 51,6 m (Brasil, ELETRONORTE, s/d-b; p.2-1; Brasil, ELETRONORTE, s/d [1992] a) implica profundidade rebaxamento de apenas 3,3 m. Área de floresta inundada ao nível mínimo de água tomado como proporcional ao volume de água nestes dois níveis do Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1983], p. 6).

(F) o Brasil, ELETRONORTE, a [1992] a.

(G) o Brasil, ELETRONORTE, a [1992] b.

**Tabela 6.** Parâmetros para cálculos de emissões pela Hidrelétrica

| Parâmetro   | Valor   | Unidades  | Fonte   |
|---|---------|---|---|
| Fração acima do solo  | 0,773   |   | Fearnside, 1994   |
| Profundidade média da zona de água de superfície  | 1       | metro   | Presunção, baseado em deterioração de madeira comercial   |
| Taxa de decomposição de folhas na zona sazonalmente inundada                                | -0,5    | Fração / ano  | Suposição   |
| Taxa de decomposição acima da água (0-4 anos)   | -0,1691 | Fração / ano  | Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)   |
| Taxa de decomposição acima da água (5-7 anos)   | -0,1841 | Fração / ano  | Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)   |
| Taxa de decomposição acima da água (8-10 anos)  | -0,0848 | Fração / ano  | Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)   |
| Acima de água taxa de decaimento (> 10 anos)  | -0,0987 | Fração / ano  | Presumido mesmo como floresta derrubada (Fearnside, 1996)   |
| Fração de decomposição acima da água através de cupins                                      | 0,0844  | Fração  | Presumido mesmo como floresta derrubada (Martius et al., 1996). Calculado a partir da medição por Martius et al. (1993)   |
| Taxa de decomposição de madeira na zona de água de superfície                               | -0,0139 | Fração / ano  | Suposição: vida média = 50 anos   |
| Taxa de decomposição de folhas na zona de água anóxica                                      | -0,0035 | Fração / ano  | Suposição: vida média = 200 anos  |
| Taxa de decomposição de madeira na zona de água anóxica                                     | -0,0014 | Fração / ano  | Suposição: vida média = 500 anos  |
| Taxa de decomposição de madeira abaixo do solo na zona permanentemente inundada             | -0,0014 | Fração / ano  | Suposição: vida média = 500 anos  |
| Taxa de decomposição abaixo do solo na zona sazonalmente inundada                           | -0,0139 | Fração / ano  | Suposição: vida média = 50 anos   |
| Fração de C lançado como metano em decomposição via termitas                                | 0,002   |   | Calculado a partir da medição por Martius et al. (1993) para <i>Nasutitermes macrocephalus</i> (uma espécie de várzea).   |
| Fração de C lançado como metano em decomposição por termitas (cenário de altos gases traço) | 0,0079  |   | Calculado a partir da medição por Martius et al. (1993) para <i>Nasutitermes macrocephalus</i> (uma espécie de várzea).   |
| Fração de C lançado como metano em decomposição na zona de água de superfície               | 0       |   | Suposição   |
| Fração de C lançado como metano em decomposição na zona de água anóxica                     | 1       |   | Suposição   |
| Fração de C lançado como metano em decomposição abaixo do solo                              | 1       |   | Suposição   |
| Fração de água coberta por macrófitas   | 0,1     |   | Suposição   |
| A liberação de metano de bancos de macrófitas   | 500,00  | $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dia}$                   | Tabela 8  |
| A liberação de metano a partir de águas abertas   | 50,00   | $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dia}$                   | Tabela 8  |
| Teor de carbono da madeira  | 0       |   | Fearnside et al., 1993  |
| Teor de carbono das folhas e liteira fina   | 0,45    |   | Suposição   |
| Teor de carbono de lianas e epífitas  | 0,45    |   | Suposição   |
| Taxa de queda de madeira da zona acima da água  | 0,1155  | Fração / ano  | Suposição: vida média = 6 anos  |
| Fração de metano oxidada na água  | 0       |   | Suposição   |
| Decomposição aeróbica de folhas no primeiro ano   | 0,025   | Fração da biomassa foliar original perdida anualmente | Calculado a partir do Brasil, ELETRONORTE, 1987, p. 261 (Parâmetro modelo OXY-STRATIF para Balbina). Valor dividido por 10 (como presunção sobre o exagero em OXY-STRATIF). |
| Decomposição aeróbica de folhas após o primeiro ano   | 0,0085  | Fração da biomassa foliar original perdida anualmente | Calculado a partir do Brasil, ELETRONORTE, 1987, p. 261 (Parâmetro modelo OXY-STRATIF para Balbina). Valor dividido por 10 (como presunção sobre o exagero em OXY-STRATIF). |
| <b>Biomassa de componentes em florestas originais não exploradas para madeira</b>           |         |   |   |
| Biomassa total média de floresta  | 428     | t / ha  |   |
| Profundidade média da água no nível mínimo  | 10      | metros  | Suposição   |
| Presentes biomassa inicial: folhas  | 7,3     | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |
| Biomassa inicialmente presente: serrapilheira fina  | 8,75    | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |
| Biomassa inicialmente presente: lianas e epífitas   | 18,64   | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |
| Biomassa inicialmente presente: madeira acima da água                                       | 240,33  | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |
| Biomassa inicialmente presente: madeira na zona de superfície                               | 4,42    | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |
| Biomassa inicialmente presente: madeira na zona anóxica                                     | 47,32   | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |
| Biomassa inicialmente presente: abaixo do solo  | 101,74  | t / ha  | Calculado a partir da biomassa total e Tabela 4.  |



**Tabela 7.** Quantidades aproximadas de biomassa presente em 1990 (Milhões de t de biomassa)

| Zona permanentemente afogado (ao nível mínimo operacional de água)      |                       |                                       |                         |   |                        |        |
|---|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|---|------------------------|--------|
|   | Madeira acima da água | Madeira na água de superfície         | Madeira na água anóxica | Folhas e outros materiais não madeira na água anóxica | Madeira abaixo do solo | Total  |
| Balbina   | 28,85                 | 0,89                                  | 20,5                    | 7,09  | 27,19                  | 84,52  |
| Curuá-Una   | 0,04                  | 0,02                                  | 0,84                    | 0,15  | 0,51                   | 1,56   |
| Samuel  | 6,17                  | 0,11                                  | 2,17                    | 1,07  | 3,04                   | 12,57  |
| Tucurui   | 6,00                  | 0,41                                  | 13,01                   | 3,52  | 10,46                  | 33,41  |
| TOTAIS  | 41,06                 | 1,44                                  | 36,52                   | 11,84   | 41,2                   | 132,05 |
| Zona sazonalmente inundada (no nível de água máximo normal de operação) |                       |                                       |                         |   |                        |        |
|   | Madeira acima da água | Folhas e outros materiais não madeira | Madeira abaixo da água  | Madeira abaixo do solo                                | Total                  |        |
| Balbina   | 19,61                 | 2,02                                  | 2,41                    | 10,11   | 34,14                  |        |
| Curuá-Una   | 0,04                  | 0                                     | 0,01                    | 0,08  | 0,13                   |        |
| Samuel  | 2,77                  | 0,42                                  | 0,46                    | 1,57  | 5,22                   |        |
| Tucurui   | 7,47                  | 0,78                                  | 6,35                    | 9,54  | 24,14                  |        |
| TOTAIS  | 29,88                 | 3,22                                  | 9,23                    | 21,3  | 63,64                  |        |

para madeira na zona de água anóxica, 500 anos para a biomassa abaixo do solo na zona inundada permanentemente, e 50 anos para a biomassa abaixo do solo na zona sazonalmente inundada (Tabela 6).

O metano também é produzido a partir de processos biológicos em curso que são independentes do estoque de biomassa florestal original. Estes incluem a decomposição da matéria orgânica que entra no reservatório pelo rio, e a partir da decomposição de macrófitas que crescem sobre uma parte da superfície do reservatório. Essas taxas são consideradas iguais às que

foram encontradas para águas abertas e para camadas flutuantes de macrófitas em estudos de lagos naturais de várzea (Tabela 8). Apenas o metano é considerado a partir destas fontes, sendo que o dióxido de carbono que também é gerado é reciclado quando as macrófitas e outras plantas crescem. Características químicas da água no reservatório de Balbina, por exemplo (localizado em um rio de água preta) diferem em uma série de maneiras de lagos de várzea de água branca, deixando claro a importância de medidas diretas da produção de metano em reservatórios.

**Tabela 8.** Emissões de metano de ecossistemas da várzea amazônica

| HABITAT                    | Fluxo de metano (mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /dia) |                                  |                                |  |       |       |                             | Valor presumido para reservatórios amazônicos (4) |
|----------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|--|-------|-------|-----------------------------|---|
|                            | Água baixa: CAMREX cruzeiro 11 (1)                        | Água alta: CAMREX cruzeiro 9 (1) | Oito lagos perto de Manaus (1) | Lago da Marchantaria (Perto de Manaus) (2) |       |       | Água subindo: NASA/ABLE (3) |   |
| Lagos, água aberta         | 40 (± 12)   | 88 (± 30)                        | 58 (± 16)                      | 50-100                                     | 5-50  | 5-25  | 74 (± 14)                   | 53,9  |
| Lagos, camas de macrófitas | 131 (± 47)  | 390 (± 109)                      | 251 (± 58)                     | seca                                       | 0-50  | 0-100 | 201 (± 35)                  | 174,7   |
| Lagos, floresta inundada   | 7.1 (± 3.4)   | 74 (± 19)                        | 55 (± 13)                      | seca                                       | 0-200 | 0-200 | 126 (± 20)                  |   |

Fontes:

(1) Devol et al., 1990.

(2) Wassmann & Thein, 1989.

(3) Bartlett et al., 1990.

(4) Para efeito de comparação, Aselmann e Crutzen (199, p. 446) estimaram a média para lagos do mundo a ser 43 mg CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>/dia.

## Simulação de emissões ao longo do tempo

Os fluxos de gases de efeito estufa por processo, em 1990, são apresentados na Tabela 9. As informações sobre as emissões de todas as fontes em um determinado momento, como 1990, são necessárias para servir como uma linha de base para avaliar as alterações nas emissões de gases do efeito estufa. A

evolução das emissões ao longo do tempo é importante para avaliar os potenciais impactos dos projetos planejados. O trajeto temporal (*timing*) das emissões também é muito importante em qualquer sistema de avaliação de emissões que dá peso diferenciado aos impactos de curto prazo e de longo prazo, por exemplo por aplicação de uma taxa de desconto.

**Tabela 9.** Fluxos de gases de efeito estufa por processo a partir de hidrelétricas em 1990 (a)

| Zona permanentemente inundada                  |                                       | Decomposição abaixo da água           |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       | Decomposição abaixo do solo           |   |                                       |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
|  |                                       | Decomposição acima da água            |                                       |                                       |                                       |                                       | Decomposição abaixo da água           |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |   |                                       |
|  |                                       | Termitas                              |                                       | Outro                                 |                                       | Madeira na zona de água de superfície |                                       | Madeira em zona de água anóxica       |                                       | Folhas e outros materiais não madeira |                                       |                                       |   |                                       |
| Área da zona permanentemente inundada (ha)     | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) |   |                                       |
| Balbina  | 206829                                | 0,00                                  | 0,28                                  | 8,61                                  | 0,00                                  | 0,02                                  | 0,02                                  | 0,00                                  | 0,01                                  | 0,10                                  | 0,03                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Curuá-Una                                      | 5500                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,01                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Samuel   | 30,901                                | 0,00                                  | 0,06                                  | 1,84                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,05                                  | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Tucuruí  | 106787                                | 0,00                                  | 0,06                                  | 1,98                                  | 0,00                                  | 0,01                                  | 0,01                                  | 0,00                                  | 0,01                                  | 0,05                                  | 0,01                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| TOTALS   | 350017                                | 0,00                                  | 0,41                                  | 12,43                                 | 0,00                                  | 0,04                                  | 0,03                                  | 0,00                                  | 0,02                                  | 0,20                                  | 0,04                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Zona sazonalmente inundados                    |                                       | Decomposição abaixo da água           |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |   |                                       |
| Área da zona sazonalmente inundada (ha)        | Decomposição acima da água            |                                       |                                       |                                       |                                       | Decomposição abaixo da água           |                                       |                                       |                                       |                                       | Decomposição abaixo do solo           |                                       |   |                                       |
|  | Termitas                              | Outro                                 | Madeira                               | Folhas e outros materiais não madeira | Total da decomposição da água         | Termitas                              | Outro                                 | Madeira                               | Folhas e outros materiais não madeira | Total da decomposição da água         | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) |   |                                       |
| Balbina  | 104011                                | 0,0004                                | 0,46                                  | 14,22                                 | 0,002                                 | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,005                                 | 0,05                                  | 0,00007                               | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Curuá-Una                                      | 980                                   | 0,0000                                | -0,03                                 | 0,03                                  | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,000                                 | 0                                     | 0,00000                               | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Samuel   | 12,65                                 | 0,0001                                | 0,07                                  | 2,16                                  | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,001                                 | 0,02                                  | 0,00001                               | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Tucuruí  | 85766                                 | 0,0002                                | 0,23                                  | 7,06                                  | 0,006                                 | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,002                                 | 0,05                                  | 0,00006                               | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| TOTALS   | 203407                                | 0,0006                                | 0,77                                  | 23,47                                 | 0,009                                 | 0,000                                 | 0,000                                 | 0,007                                 | 0,13                                  | 0,00014                               | 0,00                                  | 0,00                                  |   |                                       |
| Reservatório de Inteira                        |                                       | Total de emissão                      |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |                                       |   |                                       |
| Área de reservatório no nível operacional (ha) | Água aberta                           |                                       |                                       |                                       |                                       | Bancos de macrófitas                  |                                       |                                       |                                       |                                       | Total da decomposição abaixo da água  |                                       | Carbono CO <sub>2</sub> -equivalente (100 anos; desconto zero; efeitos diretos) |                                       |
|  | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás) | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) | CH <sub>4</sub> (Milhões de t de gás)   | CO <sub>2</sub> (Milhões de t de gás) |
| Balbina  | 314700                                | 0,06                                  | 0,02                                  | 0,00                                  | 23,58                                 | 0,07                                  | 0,18                                  | 0,14                                  | 23,75                                 | 6,91                                  | 0,02                                  | 0,02                                  |   |                                       |
| Curuá-Una                                      | 7200                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,03                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 0,03                                  | 1,21                                  | 2,85                                  | 10,99                                 |   |                                       |
| Samuel   | 46,5                                  | 0,01                                  | 0,00                                  | 0,00                                  | 4,13                                  | 0,01                                  | 0,07                                  | 0,02                                  | 4,20                                  | 0,09                                  | 9,45                                  | 37,44                                 |   |                                       |
| Tucuruí  | 224700                                | 0,04                                  | 0,01                                  | 0,00                                  | 9,34                                  | 0,04                                  | 0,11                                  | 0,09                                  | 9,45                                  | 0,26                                  | 37,44                                 | 10,99                                 |   |                                       |
| TOTALS   | 593100                                | 0,11                                  | 0,04                                  | 0,00                                  | 37,07                                 | 0,12                                  | 0,36                                  | 0,26                                  | 37,44                                 | 10,99                                 | 10,99                                 | 10,99                                 |   |                                       |

(a) Estes resultados usam o fator de emissão do "cenário de baixos gases-traço" para as termitas (Tabela 6). Usar o valor "alto" aumenta a emissão total apenas marginalmente de 0,259 para 0,26 milhões de toneladas de gás metano.

As emissões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  de Balbina foram simuladas durante 50 anos depois do fechamento (Figura 4). As emissões de metano são razoavelmente constantes ao longo de todo o período, mas as emissões de dióxido de carbono estão concentradas em um grande pulso na primeira década após o fechamento. A partir de 1994, cerca de metade do total de emissão de  $\text{CO}_2$  de Balbina tinha ocorrido, de acordo com as simulações aqui relatadas. *[Observação acrescentada em 2014: hoje se sabe que o metano também tem um grande pulso na primeira década, as emissões desse gás não são mais consideradas “razoavelmente constantes”].*

O impacto do aquecimento global das emissões pode ser convertido em carbono  $\text{CO}_2$ -equivalente utilizando potenciais de aquecimento global, aprovados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para efeitos diretos somente, em um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto pelo valor do tempo (Isaksen et al., 1992). Esta é uma subestimação do verdadeiro impacto dos reservatórios, sendo que pelo menos metade do aquecimento global provocado pelo metano é através de efeitos indiretos ao invés de efeitos diretos. O carbono  $\text{CO}_2$ -equivalente das emissões foi simulado durante 50 anos para os quatro grandes reservatórios existentes na Amazônia brasileira (Figura 5).

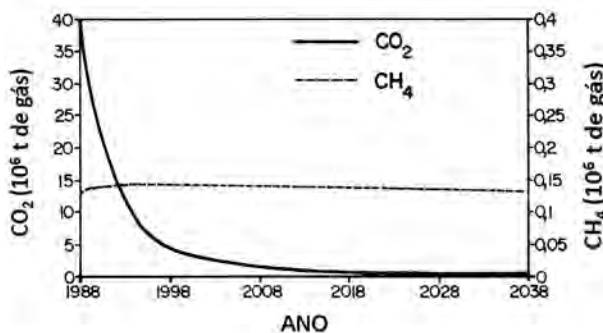


Figura 4. Balbina:  $\text{CO}_2$  e emissões de  $\text{CH}_4$  (milhões de t de gás).

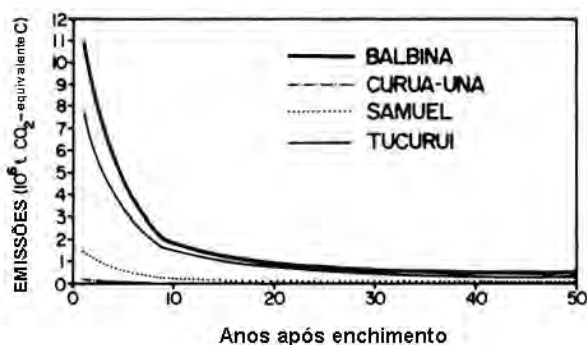


Figura 5. As emissões de gases de efeito estufa Hidrelétricas ( $\text{CO}_2$  equivalente de carbono).

## A comparação com as emissões de combustíveis fósseis

Comparações de emissões dos projetos hidrelétricos com as emissões evitadas para gerar a mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis são importantes por causa da frequência com que projetos hidrelétricos têm sido promovidos como oferta de uma alternativa “limpa” em substituição da geração termelétrica. Os exemplos de Balbina e Tucuruí são apresentados na Tabela 10. A mistura de diesel e óleo combustível queimado nas usinas termelétricas em Manaus (cidade servida por Balbina) é presumida para vigorar também para as emissões evitadas de Tucuruí. Fatores de emissão para estes combustíveis aplicáveis às usinas termelétricas no Canadá são presumidos como sendo aplicáveis no Brasil (provavelmente uma suposição otimista). A energia de Balbina compensa aproximadamente 1,3 milhões de toneladas de gás  $\text{CO}_2$ -equivalente (Tabela 10, Parte F), que é muito menos do que a emissão de 6,9 milhões t pela decomposição de biomassa no reservatório (Tabela 11). Uma comparação das emissões de Balbina e Tucuruí em 1990 com as emissões de outras fontes pode ser observada na Tabela 11.

Estes reservatórios amazônicos comparam mal com os dois reservatórios no Canadá que foram identificados como fontes de gases de efeito estufa (Rudd et al., 1993). O impacto comparativo de Balbina e Tucuruí é ainda pior do que as estimativas de emissões indicam. Isto é porque o estudo canadense usou um potencial de aquecimento global (GWP) para o cálculo do  $\text{CO}_2$  equivalente do metano mais de cinco vezes maior do valor do GWP do IPCC, utilizado no presente trabalho. Ao converter as emissões de  $\text{CO}_2$  equivalentes de carbono, usando o mesmo GWP utilizado no presente cálculo, Rosa e Schaeffer (1994) demonstraram que os reservatórios canadenses estudados por Rudd et al. (1993) têm menos impacto no aquecimento global do que gerar a mesma quantidade de energia a partir de combustíveis fósseis. *[Observação acrescentada em 2014: no quinto relatório de avaliação do IPCC, de 2013, o GWP do  $\text{CH}_4$  para 20 anos com efeitos indiretos chega a 86, ou quase oito vezes maior que o valor de 11 para 100 anos sem efeitos indiretos, do relatório de 1992, que foi usado no presente trabalho e por Rosa e Schaeffer (1994)].*

Na Figura 6, as emissões de Balbina são simuladas ao longo de 50 anos, em comparação com as emissões que seriam produzidas através do fornecimento da mesma energia para Manaus a partir

**Tabela 10.** Cálculo das emissões de combustíveis fósseis deslocados por Balbina e Tucuruí

| A. CARACTERÍSTICAS DAS BARRAGENS  |  |                                   |                      |                              |                 |                  |
|---|--|-----------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------|------------------|
|   | Unidades   | Balbina (1993)                    | Tucuruí (1991)       | Fontes                       |                 |                  |
|   |  |                                   |                      | Balbina                      | Tucuruí         |                  |
| Capacidade instalada*   | MW   | 250                               | 4000                 |                              |                 |                  |
| Capacidade instalada*   | TWh / ano  | 2,19                              | 35,06                |                              |                 |                  |
| Geração média   | MW   | 110,3                             | 2057                 | (a)                          |                 |                  |
| Geração média   | TWh / ano  | 0,97                              | 18,03                |                              | (b)             |                  |
| Por cento de capacidade   | (%)  | 44,1                              | 51,4                 |                              |                 |                  |
| B. USO DE ENERGIA E COMBUSTÍVEL EM MANAUS   |  |                                   |                      |                              |                 |                  |
|   | Unidades   | Valores                           | Fontes               |                              |                 |                  |
| Consumo de energia em 1986  | TWh  | 0,94                              |                      |                              |                 |                  |
| Substituição projetada para 1993  | Diesel   | 10 <sup>6</sup> litros            | 316                  |                              |                 |                  |
|   | Diesel   | GWh                               | 791                  |                              |                 |                  |
|   | Óleo combustível                                       | 10 <sup>3</sup> t                 | 113                  |                              |                 |                  |
|   | Óleo combustível                                       | GWh                               | 333                  |                              |                 |                  |
|   | Total  | TWh                               | 1,12                 | (c)                          |                 |                  |
| C. FATORES DE EMISSÃO PARA OS COMBUSTÍVEIS  |  |                                   |                      |                              |                 |                  |
| Combustível   | Fator de emissão (t de gás/10 <sup>6</sup> litros) (d) |                                   |                      |                              |                 |                  |
|   | CO <sub>2</sub>  | CH <sub>4</sub>                   | N <sub>2</sub> O     |                              |                 |                  |
| Diesel  | 2.730  | 0,12 (0,06-0,25)                  | 0,16 (0,13-0,4)      |                              |                 |                  |
| Óleo leve   | 2.830  | 0,02 (0,01-0,21)                  | 0,16 (0,13-0,4)      |                              |                 |                  |
| Óleo pesado   | 3.090  | 0,13                              | 0,16                 |                              |                 |                  |
| D. SUBSTITUIÇÃO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL PELA HIDRELÉTRICA DE BALBINA (projeção oficial para 1993) |  |                                   |                      |                              |                 |                  |
| Combustível   | Milhões de litros                                      | Densidade (t/m <sup>3</sup> ) (e) | Milhões de toneladas | Emissões evitadas (t de gás) |                 |                  |
|   |  |                                   |                      | CO <sub>2</sub>              | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> O |
| Diesel  | 316  | 0,87                              | 275                  | 862.680                      | 38              | 51               |
| Óleo combustível (f)  | 122  | 0,93                              | 113                  | 375.452                      | 15              | 20               |
| <b>TOTAL</b>  |  |                                   | <b>388</b>           | <b>1.238.132</b>             | <b>53</b>       | <b>71</b>        |
| E. POTENCIAIS DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWPs) DOS GASES  |  |                                   |                      |                              |                 |                  |
| Potencial de aquecimento global (GWP) (g)   | CO <sub>2</sub>  |                                   | CH <sub>4</sub>      | N <sub>2</sub> O             |                 |                  |
|   | 1  |                                   | 11                   | 270                          |                 |                  |
| F. EQUIVALENTES GÁS CO <sub>2</sub> DOS COMBUSTÍVEIS DESLOCADOS PELA BALBINA                    |  |                                   |                      |                              |                 |                  |
| Combustível   | Equivalentes de gás de CO <sub>2</sub> (t)             |                                   |                      |                              |                 |                  |
|   | CO <sub>2</sub>  | CH <sub>4</sub>                   | N <sub>2</sub> O     | total                        |                 |                  |
| Diesel  | 862.680  | 417                               | 13.865               | 876.962                      |                 |                  |
| Óleo combustível  | 375.452  | 167                               | 5.331                | 380.950                      |                 |                  |
| <b>TOTAL</b>  | <b>1.238.132</b>                                       | <b>584</b>                        | <b>19.196</b>        | <b>1.257.911</b>             |                 |                  |

(a) Brasil, ELETRONORTE, 1985b; Nota: Brasil, ELETRONORTE/Monasa/ENGE-RIO, 1976 dá a média geração como sendo 109 MW (= 0,96 TWh/ano)

(b) Brasil, ELETRONORTE, s/d [C. 1992], p. 3.

(c) Brasil, ELETRONORTE, 1985b, Quadro 3.7.

(d) Jaques, 1992.

(e) Jaques, 1992, p. 48.

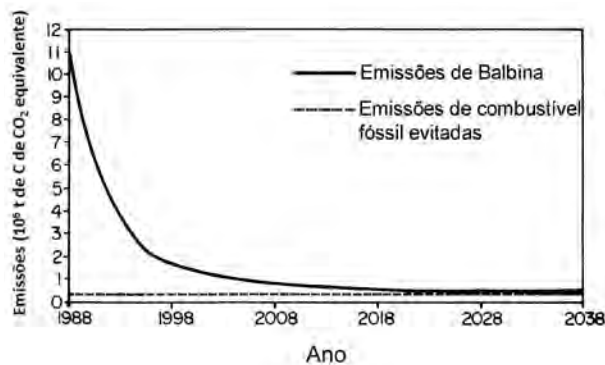
(f) Presumido como sendo de óleo combustível pesado.

(g) forçamento radiativo relativo, por t de gás, em relação de 1 t de CO<sub>2</sub>, ao longo de um horizonte de tempo de 100 anos sem desconto temporal (Iskasen et al., 1992, p. 56).  
 [Nota acrescentada em 2013: O GWP de CH<sub>4</sub> aumentou muito desde o valor do relatório intermediário do IPCC de 1992 usado aqui (11), passando, no quinto relatório (de 2013) para 28 para um GWP nos mesmos termos (100 anos e sem retroalimentações entre o carbono e o clima). Incluindo essas retroalimentações, o GWP sobe para 34 para o mesmo horizonte de 100 anos, ou para 86 para um horizonte de 20 anos que é mais relevante à política volta a evitar mudança climática "perigosa". Os valores para N<sub>2</sub>O mudam pouco, sendo 265, 298 e 268, respectivamente, para essas formas de cálculo. O GWP de CO<sub>2</sub> permanece, por definição, no valor de 1.]

**Tabela 11.** Comparação as emissões de Balbina e Tucuruí em 1990 com as emissões de outras fontes de energia

| Fonte de emissão                          | Emissão anual da hidrelétrica (Carbono de CO <sub>2</sub> equivalente) (t) | Razão entre emissões de geração hidrelétrica/ combustíveis fósseis | Emissão por unidade de energia gerada           |   | Notas  |
|---|--|--|---|---|--------|
|   |  |  | Milhões de t de CO <sub>2</sub> equivalente/TWh | Milhões de t de carbono de CO <sub>2</sub> -equivalente/TWh |        |
| Balbina                                   | 6908399  | 20,1   | 26,2  | 7,14  |        |
| Tucuruí                                   | 2852731  | 0,4  | 0,58  | 0,16  | (a)    |
| Combustíveis fósseis usados em Manaus     |  |  | 1,3   | 0,35  |        |
| Gás natural                               |  |  | 0,4   | 0,11  | (b, c) |
| Carvão                                    |  |  | 1   | 0,27  | (b)    |
| Hidrelétrica de Churchill/Nelson (Canadá) |  |  | 0,04-0,06                                       | 0,01  | (b)    |
| Hidrelétrica de Grand Rapids (Canadá)     |  |  | 0,30-0,5  | 0,11  | (b, c) |

(a) As comparações de Rudd et al. 1993 (NB.: Estes autores usam um valor de 60 para o potencial de aquecimento global do metano, muito maior que o valor do IPCC, de 11 usado para Balbina e Tucuruí). [Nota acrescentada em 2013: Ver nota sobre GWPs maiores no quinto relatório do IPCC na Tabela 10, nota g.]  
 (b) Parte do princípio de mistura do combustível fóssil substituído por Tucuruí é o mesmo que que usado em Manaus.  
 (c) Utiliza ponto médio.



**Figura 6.** Balbina: as emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> equivalente de carbono).

de combustíveis fósseis. A enorme desvantagem de geração hidrelétrica nos anos iniciais é evidente. No caso de Balbina (que tem uma área muito grande, por unidade de energia gerada), mesmo depois de 50 anos (e, provavelmente, por um período indefinido), as emissões continuarão a exceder as dos combustíveis fósseis. Estes resultados colocam em dúvida a imagem de hidrelétricas amazônicas como contribuidoras na redução do aquecimento global.

## CONCLUSÕES

Reservatórios de hidrelétricas na Amazônia brasileira emitiram 0,26 milhões de toneladas de gás de CH<sub>4</sub> e 38 milhões de toneladas de gás de CO<sub>2</sub> em 1990, estes valores sendo estimativas sujeitas a níveis grandes de incerteza. De CH<sub>4</sub>, cerca de 0,11 milhões de toneladas foram emitidas a partir de

águas abertas, 0,04 a partir de macrófitas, <0,01 de decomposição da biomassa florestal acima da superfície da água, e 0,11 de decomposição subaquática da biomassa florestal. As taxas de decomposição subaquáticas são as menos confiáveis dessas estimativas. Não há emissões líquidas de dióxido de carbono de águas abertas ou de macrófitas. A decomposição acima da água contribuiu com aproximadamente 99% dos cerca de 38 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidos. Usando potenciais de aquecimento global do relatório do IPCC de 1992, estas emissões são equivalentes a aproximadamente 11 milhões de toneladas de carbono em CO<sub>2</sub>-equivalente.

A área total dos reservatórios planejados na Amazônia brasileira é de aproximadamente 20 vezes a área em 1990, implicando numa taxa de emissão anual potencial de cerca de 5,2 milhões de toneladas de metano. Enquanto a emissão de metano representa um acréscimo essencialmente permanente aos fluxos de gases, o dióxido de carbono é liberado em um enorme pulso durante a primeira década após o represamento. Estas emissões de CO<sub>2</sub> excedem em muito as emissões evitadas da queima de combustíveis fósseis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço Summer V. Wilson, Bruce R. Forsberg, Gladys V. Peña e Paulo M.L.A Graça pelos comentários sobre o manuscrito. Esta é uma tradução de Fearnside (1995).



## LITERATURA CITADA

- Aselmann, I. & Crutzen, P. J. (1990). A global inventory of wetland distribution and seasonality, net productivity, and estimated methane emissions. pp. 441-449 In: *Soils and the Greenhouse Effect* (Ed. A. F. Bouwman). Wiley, New York, E.U.A. 575 p.
- Bartlett, K. B., Crill, P. M., Bonassi, J. A., Richey, J. E. & Harriss, R. C. (1990). Methane flux from the Amazon River floodplain: Emissions during rising water. *Journal of Geophysical Research*, 95(D10): 16.773-16.778.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1986). Plano de Recuperação Setorial. Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF.
- Brasil, ELETROBRÁS. (1987). Plano 2010: Relatório Geral. Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010. (dezembro de 1987). Ministério das Minas e Energia, Centrais Elétricas do Brasil (ELETROBRÁS), Brasília, DF. 269 p.
- Brasil, ELETRONORTE. (1985a). Aproveitamento Hidrelétrico de Balbina: Reservatório N.A. 50 m. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Vila Balbina, Amazonas. Escala de mapa: 1:100.000.
- Brasil, ELETRONORTE. (1985b). UHE Balbina e Atendimento do Mercado Energético de Manaus. Junho/85. Relatório 26.657. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF.
- Brasil, ELETRONORTE. (1985c). Políticas e Estratégias para Implementação de Vilas Residenciais. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. Mapa.
- Brasil, ELETRONORTE. (1987). Estudos Ambientais do Reservatório de Balbina. Relatório "Diagnóstico" BAL-50-1001-RE. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 308 p.
- Brasil, ELETRONORTE. (s/d-a). Reservatório da UHE Samuel: Levantamento Planimétrico. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. Escala de mapa: 1:40.000.
- Brasil, ELETRONORTE. (s/d-b). UHE Tucuruí: Plano de Utilização do Reservatório, Caracterização e Diagnóstico do Reservatório e de sua Área de Influência. TUC-10-263-46-RE Volume 1 - Texto. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. Paginação Irregular.
- Brasil, ELETRONORTE. (s/d [C. 1983]). Usina Hidrelétrica Tucuruí 8.000 MW. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 27 p.
- Brasil, ELETRONORTE. (s/d [1987]). Livro Branco sobre o Meio Ambiente da Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 288 p.
- Brasil, ELETRONORTE. (s/d [1992]a). Ambiente Desenvolvimento Tucuruí. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 32 p.
- Brasil, ELETRONORTE. (s/d [1992]b). Ambiente Desenvolvimento Samuel. Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE), Brasília, DF. 24 p.
- Brasil, ELETRONORTE/MONASA/ENGERIO. (1976). Estudos Amazônia, Relatório Final Volume IV: Aproveitamento Hidrelétrico do Rio Uatumã em Cachoeira Balbina, Estudos de Viabilidade. Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE)/MONASA Consultoria e Projetos Ltda./ENGERIO Engenharia e Consultoria, S.A., Brasília, DF. Paginação irregular.
- Brasil, Projeto RADAMBRASIL. (1981). Mosaico semi-controlado de Radar. Escala de mapa: 1:250.000. Folhas SA-22-ZC, SB-22-XA, SB-22-XB & SB-22-SD. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, RJ.
- Devol, A. H., Richey, J. H., Forsberg, B. R. & Martinelli, L. A. (1990). Seasonal dynamics in methane emissions from the Amazon River floodplain to the troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 95 (D10): 16.417-16.426.
- 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. (1993). Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. *Ambio*, 22(8): 537-545.
- Fearnside, P.M. (1994). Biomassa das florestas Amazônicas brasileiras. p. 95-124 In: R.L. Bandeira, M. Reis, M.N. Borgonovi & S. Cedrola (eds.) *Emissão x Seqüestro de CO<sub>2</sub>: Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil*. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), Rio de Janeiro, RJ. 221 p.
- Fearnside, P.M. (1995). Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of 'greenhouse' gases. *Environmental Conservation* 22(1): 7-19. doi:10.1017/S0376892900034020
- Fearnside, P.M. (1996). 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 and Global Change. Volume 2: 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. 902 p.
- Fearnside, P. M., Leal Filho, N. & Fernandes, P. M. (1993). Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research*, 98 (D9): 16.733-16.743.
- Goreau, T. J. & Mello, W. Z. (1987). Effects of deforestation on sources and sinks of atmospheric carbon dioxide, nitrous oxide, and methane from central Amazonian soils and biota during the dry season: A preliminary study. p. 5166 In: *Proceedings of the Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research*. (Ed. D. Athié, T.E. Lovejoy & P. de M. Oyens). Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, SP. 85 p.
- Isaksen, I. S. A., Ramaswamy, V., Rodhe, H. & Wigley, T. M. L. (1992). Radiative forcing of climate. p. 47-67 In: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the*

- IPCC Scientific Assessment. (Ed. J. T. Houghton, B. A. Callander & S. K. Varney). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 200 p.
- Jaques, A. P. (1992). Canada's Greenhouse Gas Emissions: Estimates for 1990. Report EPS 5/AP/4. Environment Canada, Ottawa, Canadá. 78 p.
- Junk, W.J. & Nunes de Mello, J.A. (1987). Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. p. 367385 In: *Homem e Natureza na Amazônia*. (Ed. G. Kohlhepp & A. Schrader). Tübinger Geographische Studien 95 (Tübinger Beiträge zur Geographischen LateinamerikaForschung 3). Geographisches Institut, Universität Tübingen, Tübingen, Alemanha. 507 p.
- Juras, A. A. (1988). Programa de Estudos da Ictiofauna na Área de Atuação das Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE). ELETRONORTE, Brasília, DF. 48 p. + anexos.
- Klinge, H. (1973). Biomasa y materia orgánica del suelo en el ecosistema de la pluviselva centro-amazónico. *Acta Científica Venezolana*, 24(5): 174-181.
- Klinge, H. & Rodrigues, W. A. (1973). Biomass estimation in a central Amazonian rain forest. *Acta Científica Venezolana*, 24(5): 225-237.
- Klinge, H., Rodrigues, W. A., Brunig, E. & Fittkau, E. J. (1975). Biomass and structure in a Central Amazonian rain forest. pp. 115122 In: *Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. (Ed. F. Golley & E. Medina). Springer-Verlag, New York, E.U.A. 398 p.
- Martinelli, L. A., Victoria, R. L., Moreira, M. Z., Arruda Jr., G., Brown, I. F., Ferreira, C. A. C., Coelho, L. F., Lima, R. P. & Thomas, W. W. (1988). Implantação de parcelas para monitoramento de dinâmica florestal na área de proteção ambiental, UHE Samuel, Rondônia: Relatório preliminar. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba, São Paulo, SP. (Relatório não publicado) 72 p.
- Martius, C., P.M. Fearnside, A.G. Bandeira & R. Wassmann. (1996). Deforestation and methane release from termites in Amazonia. *Chemosphere* 33(3): 517-536. doi:10.1016/0045-6535(96)00201-9
- Martius, C., Wassmann, R., Thein, U., Bandeira, A.G., Rennerberg, H., Junk, W. & Seiler, W. (1993). Methane emission from wood-feeding termites in Amazonia. *Chemosphere* 26 (1-4): 623-632.
- Mooney, H. A., Vitousek, P. M. & Matson, P. A. (1987). Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Science*, 238: 926932.
- Paiva, M. P. (1977). The Environmental Impact of ManMade Lakes in the Amazonian Region of Brazil. Centrais Elétricas Brasileiras, S.A. (ELETROBRÁS), Diretoria de Coordenação, Rio de Janeiro, RJ. 69 p.
- Revilla Cardenas, J. D. (1986). Estudos de ecologia e controle ambiental na região do reservatório da UHE de Samuel. Convênio: ELN/MCT/CNPQ/INPA de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento: Estimativa da Fitomassa. Período julho-dezembro 1986. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 194 p.
- 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. 181 p.
- 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. 277 p.
- Revilla Cardenas, J. D. & do Amaral, I. L. (1986). Estudos de Ecologia e Controle Ambiental na Região do Reservatório da UHE de Samuel: Convênio ELN/CNPQ/INPA, de 01.07.82. Relatório Setorial, Segmento Minhocucus, Período janeiro/junho 1986. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. 5 p.
- Revilla Cardenas, J. D., Kahn, F. L. & Guillamet, J. L. (1982). Estimativa da fitomassa do reservatório da UHE de Tucuruí. p. 1-11 In: Projeto Tucuruí, Relatório Semestral, Período janeiro/junho 1982, Vol. 2: Limnologia, Macrófitas, Fitomassa, Degradação da Fitomassa, Doenças Endêmicas, Solos. Brazil, Centrais Elétricas do Norte do Brasil, S.A. (ELETRONORTE) & Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). INPA, Manaus, AM. 32 p.
- Robertson, B.A. (1980). *Composição, Abundância e Distribuição de Cladocera (Crustacea) na Região de Água Livre da Represa de CuruáUna, Pará*. Dissertação de mestrado, Fundação Universidade do Amazonas (FUA) & Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). INPA, Manaus, AM. 105 p.
- Rosa, L.P. (1992). Apresentação sem título no Workshop INPE/OECD "Inventories of Net Anthropogenic Emissions of Greenhouse Gases", São José dos Campos, SP, 9-10 de março de 1992.
- Rosa, L.P. & Schaeffer, R. (1994). Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs. *Ambio* 23(2): 164-165.
- Rudd, J. W. M., Harris, R., Kelly, C. A. & Hecky, R. E. (1993). Are hydroelectric reservoirs significant sources of greenhouse gases? *Ambio*, 22(4): 246-248.
- Seva, O. (1990). Works on the Great Bend of the Xingu--A Historic Trauma? p. 19-35 In: *Hydroelectric Dams on Brazil's Xingu River and Indigenous Peoples*. (Ed. L. A. de O. Santos & L. M. M. de Andrade). Cultural Survival Report 30. Cultural Survival, Cambridge, Massachusetts, E.U.A. 192 p.
- Shine, K. P., Derwent, R. G., Wuebbles, D. J. & Morcrette, J.-J. (1990). Radiative forcing of climate. p. 41-68 In: *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. (Ed. J. T. Houghton, G. J. Jenkins & J. J. Ephraums). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido: 365 p.
- Wassmann, R. & Thein, U. G. (1996). Spatial and seasonal variation of methane emission from an Amazon floodplain lake. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie* 25: 179-185.