

Hidrelétricas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: A barragem de Santo Antônio como exemplo da necessidade de mudança

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1512.6561>

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Av. André Araújo, 2936

69067-375 Manaus, Amazonas

E-mail: pmfearn@INPA.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2015. Hydropower in the Clean Development Mechanism: Brazil's Santo Antônio Dam as an example of the need for change. *Climatic Change* doi:10.1007/s10584-015-1393-3

The final publication is available at Springer via
<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-015-1393-3>

Hidrelétricas no mecanismo de desenvolvimento limpo: A barragem de Santo Antônio como um exemplo da necessidade de mudança

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Av. André Araújo, 2936

69067-375 Manaus, Amazonas

E-mail: pmfearn@INPA.gov.br

Tradução de:

Fearnside, P.M. 2015. Hydropower in the Clean Development Mechanism: Brazil's Santo Antônio Dam as an example of the need for change. *Climatic Change* doi: 10.1007/s10584-015-1393-3

RESUMO

As barragens tropicais emitem gases de efeito estufa em quantidades substancialmente maiores do que são reconhecidas nos procedimentos de contabilidade do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto. Hidrelétricas em países tropicais são hoje um dos principais destinos para fundos no âmbito do MDL. Essas barragens estão sendo construídas a um ritmo acelerado como parte de programas nacionais de desenvolvimento que têm pouco ou nada a ver com preocupações sobre clima. Quando o crédito é concedido para projetos que ocorreriam independentemente de qualquer subsídio baseado na mitigação do aquecimento global, estes geram crédito de carbono (não-adicional) indevido, sem um benefício real para o clima. Os países que compram o crédito gerado por barragens podem emitir mais gases de efeito estufa sem que essas emissões sejam compensadas por uma mitigação genuína. Os fundos limitados disponíveis para mitigação são desperdiçados em subsidiar barragens que seriam construídas de qualquer maneira. A hidrelétrica de Santo Antônio, atualmente em construção no Rio Madeira, fornece um exemplo concreto, indicando a necessidade de reforma das regras do MDL, eliminando o crédito para hidrelétricas tropicais. Como uma grande barragem a fio d'água, espera-se que a usina de Santo Antônio tenha menores emissões por kWh do que muitas barragens. No entanto, as mensurações disponíveis indicam emissões significativas. A falta de adicionalidade e os altos impactos sociais e ambientais, fora a parte das emissões de carbono, fazem com que essa barragem seja uma ilustração apta de como o subsídio do MDL para hidrelétricas prejudica os esforços para mitigar a mudança climática e para promover o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Amazônia; barragens; aquecimento global; efeito estufa; hidrelétricas; metano; mitigação

1 Barragens no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

1.1 O papel das hidrelétricas no MDL

As hidrelétricas são subsidiadas pela venda de crédito de carbono com base na suposição de que substituem as termelétricas que queimariam combustíveis fósseis se não tivesse o subsídio à hidrelétrica pela venda de crédito de carbono autorizada pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto. As hidrelétricas são uma forma cada vez mais importante de mitigação no contexto do MDL, representando 10% dos créditos emitidos até agora, mas atualmente, representando 26% da emissão de créditos esperada de projetos no "*pipeline*" (duto) de financiamento (UNEP Risø Centre, 2013). O "*pipeline*" do MDL é um banco de dados on-line (<http://cdmpipeline.org/cdm-projects-type.htm>) em projetos (ambos registrados e não) com as informações coletadas da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) pelo Centro Risø do Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP). O Centro Risø é independente da UNFCCC em seu mecanismo (o MDL) para financiamento de projetos de mitigação nos países em desenvolvimento (países não-anexo I). A partir de 13 de julho de 2013, 1943 projetos hidrelétricos haviam sido "registrados" (aprovados) pelo Conselho Executivo do MDL, totalizando 235,9 milhões Reduções Certificadas de Emissões, ou CERs [toneladas de CO₂ e, ou "CO₂-equivalente", o total de todos os gases de efeito estufa, tais como o metano (CH₄),

expresso em quantidade de dióxido de carbono (CO₂) que teria o mesmo impacto sobre o aquecimento global, neste caso, ao longo de um período de 100 anos; toneladas = Mg)] (UNEP Risø Centre, 2013). A maioria (83,4%) dos projetos apresentados é aprovada no final: entre 2330 projetos que havia recebido uma decisão ou que havia sido retirado, 83,4% haviam sido registrados (aprovados), 0,4% havia sido retirado, 14,5% haviam sido rejeitados pelo validador (a "entidade operacional designada", ou DOE) e apenas 1,7% havia sido rejeitado pelo Conselho Executivo (2,0% daqueles que chegaram ao Conselho Executivo para decisão).

O *pipeline* de MDL (não contando projetos rejeitados) totaliza 2049 barragens, que alega reduções de emissões totalizando 115 milhões de CREs (UNEP Risø Centre, 2013). A China é o país líder no pipeline de energia hidrelétrica de MDL com projetos totalizando 59,7 milhões de CREs anualmente em 1374 barragens, seguido pela Índia com 12,7 milhões de CREs em 243 barragens e Brasil com 12,6 milhões de CREs em 111 barragens. As "grandes" barragens (capacidade instalada > 15 MW pela definição do MDL) representaram 50,1% dos projetos e 86,4% das CREs até março de 2013 e o montante anual do crédito de carbono esperado totalizaram 381,9 milhões de CREs por ano (Chu, 2013). Esta quantidade de CO₂-equivalente representa 104,2 milhões de toneladas de carbono por ano, ou aproximadamente igual à emissão anual do Brasil a partir de combustíveis fósseis.

1.2 Emissões de barragens tropicais

A água em reservatórios tropicais normalmente estratifica, no todo ou em parte, deixando água anóxica no fundo, tal que a matéria orgânica em sedimentos forma metano (CH₄) ao invés de CO₂. As emissões são muito mais elevadas nos trópicos úmidos do que em outras regiões (St Louis et al., 2000; Duchemin et al., 2002; Barros et al., 2011; Demarty & Bastien, 2011). As emissões são grandes nos primeiros anos após a formação de um reservatório (por exemplo, Galy-Lacaux et al., 1997, 1999; Abril et al., 2005). Barragens antigas continuam a emitir gases de efeito estufa a um nível menor (por exemplo, Duchemin et al., 2000; Kemenes et al., 2007, 2011). As emissões têm sido subestimadas e deturpadas com frequência por várias razões (Fearnside & Pueyo, 2012). Muitas estimativas omitem a grande fonte de CO₂ da decomposição das árvores mortas pela inundação (veja Fearnside, 1995; Abril et al., 2013) e também é comum omitir a emissão de metano a partir de água que passa através das turbinas e vertedouros.

Sendo que as turbinas e vertedouros normalmente retiram água abaixo da termoclina que divide a coluna de água em camadas, a água entrando nas turbinas e vertedouros têm uma alta concentração de CH₄ e a alta pressão hidrostática. Quando esta água é lançada abaixo da represa, a pressão cai abruptamente e o gás é liberado para a atmosfera. Muitas estimativas das emissões hidrelétricas omitem as emissões de turbinas e vertedouros completamente, enquanto outros consideram apenas o fluxo de gás que pode ser medido da superfície a alguma distância da água a jusante da barragem (ou seja, depois que muito do CH₄ já escapou para a atmosfera). Emissões substanciais das turbinas têm sido medidas diretamente na hidrelétrica de Balbina no Brasil e na hidrelétrica de Petit Saut na Guiana Francesa (Abril et al., 2005; Kemenes et al., 2007, 2011). Grandes emissões foram calculadas com base em medições de concentrações de CH₄ em outras barragens da Amazônia, como Tucuruí, Samuel e Curuá-Una (Fearnside, 2002a, 2005a,b).

O metano tem maior impacto no aquecimento global por cada tonelada em relação ao CO₂, e o peso relativo atribuído ao metano afeta o impacto das hidrelétricas em comparação aos combustíveis fósseis, que liberam essencialmente apenas CO₂ (Fearnside, 1997). O metano tem um grande impacto de forma instantânea, mas, em média, a molécula deste gás permanece apenas na atmosfera durante aproximadamente 10 anos, enquanto que o CO₂ tem um impacto modesto instantâneo, mas a molécula média permanece durante um pouco mais de 100 anos. O horizonte de tempo utilizado para a comparação (e/ou qualquer desconto pelo tempo), portanto, afeta o peso relativo atribuído ao metano na conversão para "CO₂-equivalentes" (CO₂e). Várias retroalimentações atmosféricas incluídas (ou não) nos modelos climáticos também afetam essa comparação. Até 2012 o MDL usava o valor de 21 como o potencial de aquecimento global (GWP) de metano, significando que cada tonelada deste gás tem o mesmo efeito sobre o aquecimento global do que 21 toneladas de CO₂ em um horizonte de tempo de 100 anos, sem nenhum desconto por tempo. Isto foi baseado no segundo relatório de avaliação do IPCC de 1995 (Schimel et al., 1996). O CDM adotou o valor de 25 como o GWP do metano para uso no período de 2013 até 2017, baseado no quarto relatório de avaliação do IPCC (Forster et al., 2007).

O quinto relatório de avaliação, lançado em setembro de 2013, contém alterações substanciais que afetam o impacto de barragens. Enquanto o GWP do metano aumenta apenas de 25 para 28, se calculado da mesma forma como em relatórios anteriores, ou seja, com um horizonte de tempo de 100 anos e sem retroalimentações nos modelos de clima, mesmo que a existência dessas retroalimentações na atmosfera real seja bem conhecida, esse GWP aumenta para 34 se as retroalimentações são incluídas; además, se um horizonte temporal de 20 anos é usado em vez de 100 anos, esse valor aumenta para 86 (Myhre et al., 2013). Esse último valor efetivamente quadruplica o impacto das barragens em comparação com praticamente todas as estimativas publicadas (incluindo as deste autor). O horizonte temporal de 20 anos é fundamental para políticas que visem conter o aquecimento global dentro do limite de 2° C acima da temperatura pré-industrial, que foi adotado em Copenhague em 2009 pela UNFCCC como a definição de interferência "perigosa" com o sistema climático (Decisão 2/CP.15). Não temos 100 anos para tomar medidas eficazes para conter o aquecimento global, e a rápida redução das emissões de metano é uma parte necessária de qualquer estratégia para permanecer dentro do limite de 2° C (Shindell et al., 2012). As opções de mitigação, tais como as represas tropicais, que têm fortes impactos no aumento da temperatura global nas próximas décadas, não podem ser consideradas opções "verdes", mesmo se elas mostram um benefício quando calculado do ponto de vista de um século no futuro.

1.3 Subestimação das emissões de hidrelétricas no MDL

Um regulamento do MDL permite que as emissões sejam consideradas como zero se a densidade de potência (a razão entre a capacidade instalada para a área do reservatório) for mais de 10 W/m² (EB23, Anexo 5). No entanto, uma alta densidade de potência não resulta em emissões zero. Uma alta densidade de potência significa que a área do reservatório é pequena em comparação com a capacidade instalada; a pequena área significa que as emissões através da superfície do reservatório (de ebulição e difusão) serão menores do que em um reservatório grande, mas não zero. O fluxo de água em usinas hidrelétricas "a fio d'água" pode ser suficiente para evitar a

estratificação na parte principal dos seus reservatórios relativamente pequenos. No entanto, os afluentes e baías podem estratificar, resultando em algumas emissões de metano (e.g., o exemplo da hidrelétrica de Santo Antônio discutido neste artigo).

Países com elevados ganhos potenciais de projetos de MDL têm desempenhado um papel desproporcional nas decisões do Conselho Executivo (Flues et al., 2008). O Brasil desempenhou um papel fundamental na decisão do MDL para permitir que barragens com densidades de potência acima de 10 W/m² reivindiquem emissões iguais à zero. A decisão foi baseada em uma submissão não publicada de Marco Aurélio dos Santos e Luiz Pinguelli Rosa, este último, o ex-presidente da ELETROBRÁS (CDM Methodologies Panel, 2006). Esta submissão também propôs a baixa emissão de 100 g de CO₂/kWh seja atribuída às barragens no intervalo de 5-10 W/m². Essa mesma submissão também foi a chave para abaixar de 5 para 4 W/m² o limite de elegibilidade para barragens receberem crédito de carbono através do MDL, e também para a redução de 100 para 90 g de CO₂/kWh a emissão presumida em barragens na faixa de 4-10 W/m² de densidade de potência.

Tanto o valor de 100 como o valor de 90 g de CO₂/kWh se referem apenas a ebulição e difusão da superfície do reservatório, e são subestimativas grosseiras do impacto de hidrelétricas, porque esses valores ignoram as principais fontes de liberação de metano: as turbinas e vertedouros (e.g., Fearnside, 2004; Fearnside & Pueyo, 2012). A submissão de dos Santos e Rosa, intitulada "Opções para Monitoramento de Emissões de GEE: Fornecendo Limiares e Critérios para Reservatórios Hidrelétricos", citada na decisão do MDL, não aparece no site da UNFCCC. O Conselho Executivo do MDL se recusou a divulgar o documento, alegando que "não está totalmente aprovado e apenas alguns dos seus elementos que foram usados", mas sugeriu que o relatório poderia ser obtido dos autores, "se" não estivessem sob um acordo de confidencialidade (Siqueira, 2014). Enquanto isso, os autores se recusaram a divulgar o relatório, alegando que o mesmo havia sido contratado sob um acordo de confidencialidade justamente do próprio Conselho Executivo do MDL. A resposta dos autores (dos Santos, 2014) foi transcrita como segue:

Prezado Prof. Fearnside,

Na realidade esta citação não é um *paper* e sim um relatório encomendado pelo CDM Executive Board ao nosso grupo de pesquisa.

Por ter sido um documento produzido a partir de um contrato de prestação de serviços foi exigido confidencialidade.

O que eles colocaram no site do CDM representa a análise deles, baseada no nosso relatório.

Atenciosamente,
Marco Aurélio

Apesar dessas recusas, há pouca dúvida quanto ao conteúdo do relatório, já que as mesmas questões são cobertas em várias publicações contemporâneas desses autores. Pode-se deduzir que a submissão de 2006 não incluía as emissões a jusante (ou seja, aquelas partir das turbinas ou do rio a jusante), sendo que os autores omitiram todas tais

emissões nas suas outras estimativas (por exemplo, dos Santos et al., 2009; Veja Fearnside, 2011). Da mesma forma, também se pode deduzir que as emissões da superfície do reservatório (a única fonte de emissões que teria sido incluída) foram baseadas em erros matemáticos que reduziram as estimativas por um fator de três (por exemplo, dos Santos et al., 2008; Ver Pueyo & Fearnside, 2011). A sessão do Conselho Executivo (Executive Board = EB) que aprovou essas alterações foi descrita por um participante da seguinte forma: "Na sessão EB, porém, José Miguez do Brasil (o novo chefe do EB) sugeriu que estes valores eram muito conservadores e que 4 W/m^2 e 90 g/kWh ainda seriam muito conservadores. Jean-Jacques Becker, o chefe do Painel de Metodologias [do MDL] (de saída), fez um trabalho bastante pobre de defender os números do Painel de Metodologias, ninguém mais tinha alguma experiência, então a sugestão de Miguez foi adotada" (Sterk, 2006).

Outro regulamento favorecendo a aprovação de barragens envolve o cálculo da área do reservatório para fins de computação de densidade de potência, que é a capacidade instalada em Watts dividido pela área em metros quadrados. Um esclarecimento de junho de 2004, aprovado pelo Conselho Executivo (EB15), permite que uma área de reservatório menor seja usada para calcular a densidade de potência (W/m^2) para fins de tirar proveito de um critério do MDL, permitindo que a emissão zero seja presumida se a densidade de potência for superior a 10 W/m^2 . A suposição é que a água sobre o "curso do rio" (i.e., o canal principal) não emite metano. Infelizmente, esta água pode também emitir metano, como foi mostrado por numerosos estudos que mediram fluxos de superfícies de reservatórios em uma variedade de pontos de monitoramento em reservatórios amazônicos (ver publicações citadas acima). Quando o leito de um rio é inundado por um reservatório, a profundidade da água aumenta e a sua velocidade diminui, o que pode permitir que a coluna de água estratifique termicamente, criando condições anóxicas no fundo, resultando na produção de metano. A água estratificada, rica em metano, nas baías e afluentes também pode se deslocar para a área sobre o canal principal, com o metano sendo liberado através da superfície lá. Isto é verdade tanto do ponto de vista da definição de senso comum de "o curso do rio" ser o leito do rio que é coberto por água durante todo o ano, assim como também por uma definição relaxada (usada no projeto de carbono da hidrelétrica de Santo Antônio) que acrescenta a isso a várzea que é normalmente inundada apenas durante o período de cheia.

1.4 Adicionalidade

As CREs do MDL contribuem para o aquecimento global se o crédito é concedido para projetos de mitigação que não são "adicionais" com relação àquilo que teria acontecido sem os projetos, conforme exigido pelo protocolo de Quioto (UNFCCC, 1997, Artigo 12, no. 5). A "adicionalidade" significa que um projeto, como uma represa, existe apenas por causa da venda de créditos de carbono. Como já mencionado, os projetos hidrelétricos no "pipeline" do MDL totalizam 381,9 milhões de toneladas/ano de CO_2 e. Se o crédito concedido para barragens não for adicional, os projetos hidrelétricos no MDL permitirão que essa quantidade de dióxido de carbono seja emitida para a atmosfera pelos países que comprarão as CREs, sem que haja qualquer compensação real das emissões por projetos do MDL. Estes projetos também iriam consumir uma parcela crescente do dinheiro que o mundo tem para combater o aquecimento global; o crédito para barragens no pipeline de MDL deverá valer mais do que US\$ 1 bilhão por ano, considerando o preço para CREs em meados de 2008 de US\$

3,65 por tonelada de CO₂e (Ecopart, 2011). Note-se, no entanto, que os preços de CERs já caíram devido à falta de progresso nas negociações sobre o regime pós-Quito e devido ao excesso de liberação de licenças no regime de comércio de emissões da União Europeia (EU Emissions Trading Scheme), que tem uma forte influência sobre o preço de CERs gerados pelo MDL (Barrieu & Fehr, 2011). É preciso presumir que os países futuramente vão assumir compromissos substanciais de redução das emissões no âmbito da UNFCCC, criando a demanda por crédito de carbono e fazendo com que os preços se recuperem. Se os fundos forem dados aos projetos que não são adicionais, o resultado lógico é que menos projetos de mitigação sejam executados de outros tipos que tenham um benefício real para o clima.

Projetos de MDL justificam suas alegações de que os projetos seriam financeiramente atraentes usando “testes de adicionalidade” em uma das duas categorias permitidas sob as regras do MDL: “testes de investimento” e “testes de barreira”. Os testes de investimento comparam o projeto proposto com outros projetos mais carbono-intensivos para mostrar que o projeto proposto é financeiramente menos atraente do que investimentos concorrentes na ausência de CERs. Os testes de barreira visam mostrar que algum impedimento, tais como um obstáculo tecnológico ou uma prática predominante, que, a não ser que seja superado com renda da venda das CERs, impediria a implementação do projeto proposto, mas não bloquearia a implementação de pelo menos uma alternativa (por exemplo, du Monceau & Brohé 2011). Os testes de barreira permitiram que muitos projetos não-adicionais fossem aprovados, particularmente na Índia (por exemplo, Michaelowa & Purohit, 2007; Schneider, 2007; du Monceau & Brohé, 2011). Os testes de investimento, como aquele usado por Santo Antônio, permitem projetos reivindicar a adicionalidade, mostrando que a taxa interna de retorno (IRR) calculado é inferior a um valor “benchmark” (mínimo aceitável) de IRR escolhido pelo projeto. O IRR é a taxa de desconto que resulta no valor presente líquido do projeto ser zero. Enquanto cálculos de IRR podem ser facilmente manipulados (Fearnside, 2013a), o comportamento dos investidores oferece uma demonstração inequívoca de não-adicionalidade que todas as pessoas podem entender, incluindo as que não têm o conhecimento ou a paciência para acompanhar os cálculos de IRR. A crença do Conselho Executivo do MDL de que construir uma barragem antes que o apoio do MDL seja obtido não é evidência de falta de adicionalidade tem a aparência de revelar um viés em favor de aprovar projetos independentemente da sua verdadeira adicionalidade. Note-se que o ônus da prova para adicionalidade é dos proponentes: não há nenhuma necessidade de “provar” que um projeto não é adicional. O dano de ignorar o comportamento que o investidor faz para a credibilidade do MDL tem um custo para os esforços globais de mitigação da mudança climática que ultrapassa o impacto das emissões que ocorrem devido ao crédito de carbono não-adicional vendido pelo projeto.

1.5 Desenvolvimento sustentável

Embora o Artigo 12 do Protocolo de Quito, que criou o MDL, especifique que todos os projetos devam contribuir para o “desenvolvimento sustentável” (UNFCCC, 1997), esta salvaguarda potencial contra consequências ambientais e sociais de projetos de mitigação foi reduzida por uma decisão posterior de que o “desenvolvimento sustentável” seria definido e julgado por cada país por si mesmo, ao invés de seguir um padrão internacional. Qualquer projeto que receber uma carta de aprovação (LoA) da autoridade designada nacional (DNA do país anfitrião) é presumido que represente o

“desenvolvimento sustentável”. Os negociadores do Brasil foram uma força fundamental nessa decisão: a prioridade do Brasil em Quioto em 1997, e durante vários anos, depois disso, foi focada em defender “o direito ao desenvolvimento” e em fazer escolhas internas relacionadas com medidas de sustentabilidade ambiental” (Cole, 2012). Depois da submissão ao MDL, as entidades operacionais designadas (DOEs), mais conhecidas como “validadores”, inspecionam os projetos e atestam a validade dos créditos, incluindo as contribuições para o desenvolvimento sustentável. Isto não impediu a aprovação de projetos com grandes impactos, e a usina de Jirau fornece um exemplo recente do Brasil (Fearnside, 2013a). A contribuição do MDL para o desenvolvimento sustentável é controversa. No caso do Brasil, projetos de MDL propostos, na prática, não estão sujeitos a qualquer triagem eficaz com base no desenvolvimento sustentável

Projetos hidrelétricos têm impactos ambientais sociais muito severos além das emissões de carbono (por exemplo, Fearnside, 1989a, 1999, 2001, 2005a; Switkes, 2008; WCD, 2000). Os impactos de Santo Antônio são revistos no livro intitulado *Águas Turvas* (Switkes, 2008), em alguns capítulos na revisão do EIA pelo Ministério Público (Brasil, MPE-RO, 2006) e em outras fontes sobre os impactos da barragem (por exemplo, Vera-Diaz et al., 2007).

A contribuição para o desenvolvimento sustentável é vista por muitos observadores como um fracasso notável do MDL como um todo; uma pesquisa até constatou que menos de 1% dos projetos do MDL, contribuiu, na verdade, para o desenvolvimento sustentável (Sutter & Pereira da Silva, 2007), e outras avaliações mostram as dificuldades que enfrentam os esforços para assegurar uma contribuição para o desenvolvimento sustentável (Lecocq & Ambrosi, 2007; Olhoff et al., 2004; Tewari, 2012). Por outro lado, fortes benefícios para o desenvolvimento sustentável são apontados em um estudo encomendado pela UNFCCC (TERI, 2012) e por um painel de “diálogo político” da UNFCCC composta por indivíduos de alto nível, tais como o presidente do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), do Brasil (CDM Policy Dialogue, 2012; UNFCCC, 2011, 2012a,b).

Um regulamento interno do Brasil exige que os comentários públicos sejam solicitados para projetos propostos de MDL, e que as propostas incluam uma seção (“Anexo III”) que descreva as implicações para o desenvolvimento sustentável. Um estudo dos elementos sociais em projetos hidrelétricos do MDL no Brasil descobriu que a revisão da DNA de submissões do Anexo III e todas as respostas aos comentários convidados são relegadas a “uma avaliação qualitativa *ad hoc* relativamente ‘branda’” e que não há nenhuma “indicação que qualquer projeto tenha sido recusado ou obrigado a reforçar seus benefícios sobre SD [desenvolvimento sustentável]” (Cole & Roberts, 2011, p. 366). Embora a DNA do Brasil para o MDL teria trabalhado muito mais do que a maioria para garantir que projetos do MDL contribuíssem para o desenvolvimento sustentável (Friberg, 2009), isto obviamente não se estende em rejeitar propostas com alta prioridade política, tais como aquelas que estão alinhadas com o esforço do governo brasileiro para expandir centrais hidrelétricas na Amazônia. Na verdade, a DNA do Brasil tem “apenas uma autoridade questionável para rejeitar um projeto de MDL proposto, a menos que seja contrária à legislação brasileira existente ou regulamentos com força de lei” (Cole & Liverman, 2011, p. 148). Em setembro de 2013, o atual chefe da DNA brasileira disse a este autor que o Brasil não tem nenhuma definição operacional de desenvolvimento sustentável que lhe permita a rejeitar projetos,

alegando que eles não cumprem os critérios; o que existe é uma lista geral de áreas, tais como que um projeto deve criar emprego, mas que mesmo se um projeto alega criar apenas um único posto de trabalho o projeto não poderia ser rejeitado. Ele ofereceu o exemplo do Rio Madeira: mesmo se as barragens fossem afirmar nos seus projetos de MDL que os bagres gigantes do Rio Madeira seriam eliminados, o projeto não poderia ser rejeitado com base em não cumprir os critérios de desenvolvimento sustentável. Os subsídios de venda de créditos de carbono para barragens com fortes impactos ambientais e sociais corrompem a imagem pública da Convenção do Clima, com consequências negativas para os atuais e futuros esforços para atenuar a mudança climática global.

2 Um exemplo concreto: A hidrelétrica de Santo Antônio

2.1 O projeto hidrelétrico de Santo Antônio

A hidrelétrica de Santo Antônio, em construção desde 2008, está em fase de conclusão no Rio Madeira, no Estado de Rondônia na porção sudoeste da Amazônia brasileira (8° 48' 4,0" S; 63° 56' 59,8" O) (Figura 1). A barragem está sendo construída e operada pela Santo Antônio Energia, um consórcio de FURNAS, Odebrecht, CEMIG, Andrade Gutierrez e Caixa FIP. O Rio Madeira é um dos principais tributários do Rio Amazonas, drenando partes do Brasil, Bolívia e Peru. Quando concluída, em sua configuração inicialmente aprovada, a barragem terá uma capacidade instalada de 3.150,4 MW com 44 turbinas bulbo; a primeira turbina começou a operação comercial em fevereiro de 2012 e as turbinas restantes estão sendo instaladas em uma taxa de aproximadamente uma por mês. A configuração atual está prevista para ser concluída em 2015, a um custo de US\$ 9,3 bilhões (HydroWorld, 2012). Embora a barragem seja considerada para ser a fio d'água, a barragem sobe a uma altura de 55 m acima do leito do rio. Inicialmente (antes de perdas de sedimentação), a água no reservatório tinha uma profundidade de 46,3 m junto à barragem.

[Figura 1 aqui]

Em 02 de julho de 2013 foi concedida a permissão para elevar o nível de água em mais 0,8 m (de 70,5 m para 71,3 m acima do nível do mar; a proposta original era para um nível de água de 70 m); O nível de 71,3 m permitiria a instalação de seis turbinas adicionais totalizando 420 MW (Tavares & Fariello, 2013). Isto torna a suposta mitigação da barragem ainda menos provável de ser adicional, já que o nível de água mais alto significa que a barragem geraria mais energia, tornando-a mais rentável sem o MDL do que seria sob as especificações utilizadas no Documento de Concepção de Projeto (PDD) da proposta para o MDL. No entanto, mesmo com o nível atual de 70,5 m, uma vazão recorde em 2014 causou enchentes severas ao longo das margens do reservatório, incluindo o rompimento da rodovia BR-364, que liga o Estado do Acre com o resto do Brasil. Esta inundação lateral teria sido agravada pelo reservatório, sendo que o aumento do nível da água começou a partir de uma altitude maior do que teria sido o caso no rio natural (Fearnside, 2014a). Os impactos da inundação de 2014 fazem com que seja menos provável que a Santo Antônio Energia será capaz de elevar o nível do reservatório para 71,3 m sem enfrentar uma oposição política significativa. Os impactos sociais e ambientais da barragem levaram a oposição intensa de grupos ambientalistas e de direitos humanos durante e após o processo de licenciamento (Fearnside, 2014b).

O projeto de carbono de Santo Antônio foi aprovado (registrado) pelo Conselho Executivo do MDL, em novembro de 2013, retroativo a 28 de dezembro de 2012; a data oficial retroativa faz com que o crédito de carbono seja válido para o Regime de Comércio de Emissões da União Europeia (EU Emissions Trading Scheme), que havia estabelecido como limite o final de 2012. A concessão de CREs de Santo Antônio no contexto do MDL permitirá que os compradores desses certificados liberem 51 milhões de toneladas de CO₂-equivalente (CO₂e) para a atmosfera em outro lugar no mundo. A finalidade da presente análise do projeto de Santo Antônio é extrair lições deste exemplo em matéria de regulamentação do MDL referente a projetos hidrelétricos, não para julgar se este projeto específico esteja em conformidade com as normas vigentes.

2.2 As emissões da hidrelétrica de Santo Antônio

O Documento de Concepção de Projeto (PDD) da proposta da hidrelétrica de Santo Antônio para crédito de carbono do MDL (Santo Antônio Energia S.A., 2012) refere-se a vários documentos do governo brasileiro que oferecem suporte à promoção de hidrelétricas como forma de mitigação das emissões de gases do efeito estufa. Apesar das emissões por kWh de Santo Antônio possam ser esperadas como significativamente mais baixas do que no caso das barragens até então existentes na Amazônia, essas emissões não serão zero como é alegado pelo projeto. Apesar do documento usar o valor de zero como a emissão para o projeto no seu cálculo dos benefícios do clima, uma tabela foi incluída (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 10) na qual admite-se que a barragem produziria metano, embora as quantidades não sejam mencionadas. A mesma tabela também afirma que as emissões de dióxido de carbono e óxido nitroso (N₂O) são zero, cada um desses gases, sendo apenas uma "fonte menor de emissão". No entanto, criar um reservatório mata árvores da floresta na área inundada; algumas permaneceram com as partes projetadas fora da água (como na maioria das barragens da Amazônia), enquanto outras foram retiradas da área do reservatório; em ambos os casos, a madeira decompõe-se na presença de oxigênio, assim produzindo o CO₂. As maiores emissões ocorrem na primeira década. O óxido nitroso também é emitido por reservatórios tropicais (Guérin et al., 2008; de Lima et al., 2002). As emissões da construção da barragem e linha de transmissão não estão incluídas nos cálculos no PDD.

Com exceção das baías e afluentes ao longo das bordas do reservatório, a água do reservatório de Santo Antônio se move rápida o suficiente para evitar a estratificação. Tanto os cálculos com base no tempo de residência como aqueles com base na densidade de Froude não indicaram nenhuma estratificação no reservatório principal (FURNAS et al., 2005, Tomo B, Vol. 7, Anexo II, p. 3.8-3.9). No entanto, em áreas de borda, onde as velocidades da água são muito inferiores à média para o reservatório como um todo, espera-se a presença de água anóxica no fundo do reservatório, com resultado de formação do metano nos sedimentos (Forsberg & Kemenes, 2006). Em resposta às demandas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), os proponentes realizaram em maio de 2007 simulações da qualidade da água nos afluentes. As simulações indicaram que a água estratificaria o ano todo em dois afluentes que hoje já foram convertidos em ramos do reservatório de Santo Antônio. Uma parte do metano produzido nas áreas estratificadas seria lançada através de difusão e ebulição, mas a maior parte do metano dissolvido que não alcança a superfície seria impedida de atingir as turbinas porque o metano poderia ser oxidado quando a água

destes afluentes se mistura com a água rica em oxigênio no canal principal. As emissões de metano, portanto, serão menores do que em represas amazônicas típicas onde o corpo principal do reservatório estratifica. Uma medição elevada do fluxo de metano da superfície da água em dois afluentes entrando no reservatório de Santo Antônio (Hällqvist, 2012, p. 25) indica que a água nesses locais é, de fato, estratificada, enquanto uma concentração elevada de metano no ar, 3 km abaixo da barragem de Santo Antônio (Grandin, 2012, p. 28), indica que nem todo o CH₄ é oxidado em CO₂ antes de chegar às turbinas e aos vertedouros.

O PDD para o projeto de MDL da usina de Santo Antônio calcula a área do reservatório para fins de computação da densidade de potência, que é a capacidade instalada em Watts dividido pela área em metros quadrados. A área do reservatório usado é calculada como área no nível de água máximo normal de 70,5 m (354,4 km²), menos 164,0 km², descrito como o "curso do rio", deixando a área inundada como sendo de apenas 190,40 km² (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 6).

O PDD afirma que as emissões do reservatório são iguais a zero, com base na densidade de potência calculada. A superfície do reservatório é a única via de emissões atualmente considerada pelas metodologias do MDL. As emissões provenientes de outras fontes, tais como a decomposição de árvores mortas no reservatório, a jusante das emissões e a construção da barragem e da linha de transmissão não são consideradas.

A quantidade de emissões de gases de efeito estufa de Santo Antônio é muito incerta, uma vez que um estudo completo ainda não foi feito (especialmente das emissões a jusante). No entanto, algumas medidas dos fluxos de CH₄ e das concentrações no ar e água foram feitas em fevereiro de 2012 (Grandin, 2012; Hällqvist, 2012). O estudo de impacto ambiental (EIA) contém informações relevantes para a emissão de CO₂ da biomassa na área inundada e da construção da barragem e a linha de transmissão, que é usada na próxima seção para produzir estimativas das emissões de gases do efeito estufa durante o período de dez anos do projeto carbono.

Uma estimativa das emissões do projeto Santo Antônio

Emissões do desmatamento

As emissões de CO₂ da decomposição da biomassa podem ser calculadas em relação ao peso seco da biomassa presente, presumindo o teor de carbono de 50%, adotado no EIA. As estimativas no EIA são apenas para biomassa acima do solo, e a suposição otimista feita aqui que não há nenhuma emissão da decomposição das raízes, o que aumentaria o total em pouco mais de 20%. O EIA inclui uma estimativa dos estoques de liteira fina, mas é incerto sobre se as suas estimativas de biomassa incluem árvores com menos de 10 cm de diâmetro na altura do peito, componentes não-arbóreos (lianas, figueiras estranguladoras, etc.) e árvores mortas, seja em pé ou caídas. Aqui é conservadoramente presumido que esses componentes foram incluídos. Do outro lado, a estimativa de biomassa acima do solo, dada no EIA para o tipo de floresta predominante (floresta ombrófila aluvial) parece ser alta, com 364,67 t/ha em peso seco (FURNAS *et al.*, 2005, Tomo B, Vol. 3, p. IV-522). Uma estimativa para este tipo de floresta com base em 146 parcelas de um hectare no levantamento do Projeto RADAMBRASIL indica uma biomassa acima do solo de 298,4 ± 60,7 t/ha (Nogueira, 2008). O levantamento do Projeto RADAMBRASIL foi realizado antes que muita floresta fosse

degradada pela exploração madeireira, e, portanto, a biomassa média hoje seria um pouco menor. A Tabela 1 apresenta uma estimativa das emissões do desmatamento.

[Tabela 1 aqui]

O EIA contém estimativas das áreas de cada tipo de vegetação e uso do solo, bem como as estimativas de biomassa para os diferentes tipos de vegetação. Estes valores podem ser usados, juntamente com informações complementares, para calcular o estoque de carbono na área inundada. O período do projeto de dez anos é um tempo razoável para supor que esta biomassa iria decompor, liberando o carbono como CO₂ (por exemplo, Barbosa & Fearnside, 1996). A empresa enterrou parte da biomassa das árvores em covas rasas. Isso retardaria a liberação de carbono, mas provavelmente não impediria sua ocorrência em uma escala de tempo de décadas. Além das emissões a jusante, os cálculos no presente trabalho indicaram o desmatamento como o componente maior do impacto das emissões do projeto, com um pouco mais da metade do total sem incluir emissões a jusante.

Emissões de reservatório acima da barragem

As emissões de metano da superfície do reservatório podem ser estimadas com base em medições de fluxo existentes em Santo Antônio. A água no canal principal do reservatório libera muito pouco metano, mas, a situação é diferente nos afluentes, e em massas de macrófitas (plantas aquáticas) a emissão é muito alta. Medições das concentrações de CH₄ no ar e em águas superficiais em Santo Antônio fornecem uma indicação de um substancial fluxo de metano. Normalmente, a concentração na água é muito maior do que a concentração no ar, sendo que o CH₄ liberado no ar é rapidamente misturado com o grande volume de ar que é soprado pelo vento das áreas de influência do reservatório. A diferença de concentração (em base molar no ar no *headspace* – espaço livre) resultará na difusão da água para o ar. As medições em Santo Antônio (Grandin, 2012; Hällqvist, 2012) indicam a concentração no ar pelo menos 10 vezes menor do que na água em todas as sete estações de amostragem no reservatório e seus afluentes.

A emissão total aproximada da superfície do reservatório pode ser calculada como a seguir. O canal principal produz poucas emissões porque as velocidades da água são suficientes para evitar a estratificação, pelo menos, considerando valores médios por cada mês e trecho do rio. A velocidade da água na estação de vazante (com vazão de 5.000 m³/s) em diferentes trechos do reservatório estão na faixa de 0,11 a 0,27 m/s, para a vazão média (18.000 m³/s) variam de 0,38 a 0,90 m/s e em condições de cheia (48.600 m³/s) variam de 1,01 a 2,45 m/s (FURNAS & CNO, 2007, Anexo 1, p. 12-16).

A emissão do canal principal do reservatório com base no fluxo médio de CH₄ em quatro estações de medição, nesta parte do reservatório é de 0,16± 0,33 mmole/m²/dia (Grandin, 2012, p. 31). Isso é equivalente a 2,52 × 10⁻³ g/m²/dia e a área de 236,8 km² no qual isso se aplica no nível de água operacional de 70 m acima do nível do mar, portanto, libertaria 217,8 t/ano de metano. O nível de operação a 70 m acima do nível do mar é especificado no Estudo de Viabilidade e no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para a represa; o nível usado no Documento de Concepção de Projeto (PDD) para o projeto de carbono foi 70,5 m. Com o aumento recentemente aprovado para 71,3 m acima do nível do mar, a área iria ser 272,2 km² com base nas informações

do EIA (FURNAS *et al.*, 2005, Tomo A, Vol. 1, p. VII-54; FURNAS & CNO, 2007, p. 125-126), e a emissão seria 250,4 t/ano.

As áreas mencionadas acima não foram ajustadas pela perda da área do reservatório quando o local da barragem de Jirau foi deslocado 9 km rio abaixo, mas a diferença de emissão seria muito pequena em comparação com outras fontes. Note que o PDD para o projeto de carbono de Santo Antônio, que foi apresentado depois que o local da barragem de Jirau já havia sido movido, apresenta 354,4 km² para a área do reservatório no nível de água de 70,5 m (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 35), ou seja, 22,7% maior do que a área a este nível de água apresentado no EIA. O reservatório estava operando em 70,5 m a partir de abril de 2014, e as 17 turbinas que tinham sido instaladas até então não exigiriam a altura adicional do nível de 71,3 m.

Os afluentes são uma fonte muito maior de emissões do que o corpo do reservatório. Ao contrário do canal principal do rio, cálculos feitos pelos proponentes da barragem indicaram que os afluentes seriam estratificados durante todo ou parte do ano (FURNAS & CNO, 2007, p. 150-151). As áreas dos três afluentes são: Igarapé Mucuim (Teotônio) 4,55 km² para o nível de água de 70 m, 4,92 km² em 70,5 m e 5,43 km² em 71,3 m; Igarapé Jatuarana 11,11 km² em 70 m, 11,53 km² em 70,5 m e 12,28 km² em 71,3 m; Rio Jaci-Paraná 18,51 km² em 70 m, 20,11 km² em 70,5 m e 28,16 km² em 71,3 m (FURNAS & CNO, 2007, p. 125-126). Estas áreas totalizam 34,17 km² em 70 m, 38,56 km² em 70,5 m e 45,87 km² em 71,3 m. A percentagem desta área que estará coberta com macrófitas será um fator chave na determinação das emissões.

Macrófitas enraizadas representam uma fonte importante de emissões de metano, já que o xilema nos seus caules fornece um canal direto para a transferência de gás dos sedimentos anóxicos para a atmosfera. Reservatórios tropicais normalmente sofrem explosões de populações de macrófitas (tanto enraizadas como não) nos primeiros anos após o represamento, em Brokopondo no Suriname (Leentvaar, 1966), Balbina, no Estado do Amazonas (Walker *et al.*, 1999) e Tucuruí no Estado do Pará (de Lima *et al.*, 2000). Em Tucuruí, por exemplo, uma sequência de imagens de satélite indica que 39% do reservatório estavam cobertos por macrófitas dois anos após o represamento, e que a cobertura diminuiu e estabilizou em 11% do reservatório no décimo ano (de Lima *et al.*, 2000). Em Santo Antônio, um sobrevoo do reservatório logo após enchimento revelou uma cobertura muito extensa de macrófitas (Francisco Pereira, comunicação pessoal, 2012). É em afluentes e baías pouco profundas ao longo das bordas do reservatório que as macrófitas persistiriam mais depois de passar a explosão inicial da cobertura de macrófitas, e também é nesses locais onde as macrófitas são principalmente do tipo enraizado. Medições de fluxos de metano de uma mancha de macrófitas em um afluente ao reservatório de Santo Antônio (Rio Jaci-Paraná), em fevereiro de 2012, indicaram uma taxa de emissão de 127,12 mmol CH₄/m²/dia, considerando a concentração na câmara de fluxo 20 minutos após a sua instalação (Nota: concentrações de CH₄ em câmaras de fluxo aumentam ao longo de uma sequência padrão de 30 minutos de medição, mas, no caso desta medida, a concentração na câmara voltou a um nível correspondente a 36,44 mmol CH₄/m²/dia durante o próximo intervalo de 10 minutos devido a uma provável ruptura na vedação entre a água e a câmara: Grandin, 2012, p. 28; Hällqvist, 2012, p. 39). A medição comparável para uma amostra adjacente sem macrófitas foi de 7,56 mmole/m²/dia. A diferença de 119,56 mmole/m²/dia, representando a emissão das macrófitas, é 16 vezes maior do que a emissão da superfície da água.

Se for feita a suposição conservadora de que apenas 20% da área dos afluentes está coberta com macrófitas (ou seja, 2,5% do reservatório como um todo com a 70 m, 2,4% no nível de 70,5 m ou 2,9% a nível de 71,3 m), então a emissão medida de 127,12 mmol CH₄/m²/dia em macrófitas, descritas acima, implica na emissão de 5.073,4 t/ano a nível de 70 m, 5.725,2 t/ano em 70,5 m e 6810,5 t/ano em 71,3 m. Os 80% restantes da superfície dos afluentes emitindo em 21,1 mmole/m²/dia (df = 16,6, n = 3 estações) (Grandin, 2012, p. 31) implica uma emissão de 3.367,9 t/ano no nível de 70 m, 3.800,6 no nível de 70,5 m e 4.521,0 t/ano no nível de 71,3 m.

Emissões a jusante da barragem

No caso de uma estação de amostragem, localizada a aproximadamente 3 km rio abaixo da barragem (Hällqvist, 2012, p. 18), a concentração no ar foi de 8,4 ppmv, ou 5,5 vezes maior do que a concentração encontrada na água (Grandin, 2012, p. 28). As concentrações foram também medidas em duas estações de amostragem muito mais a jusante, com resultados mistos. Numa estação cerca de 29 km abaixo da barragem a concentração no ar era apenas 2 ppmv, enquanto que na água foi de 17,5 vezes maior, ou similar às concentrações em afluentes de Santo Antônio. A outra estação, localizada a aproximadamente 100 km abaixo da barragem, tinha concentrações similares às da estação localizada a 3 km abaixo da barragem, com uma concentração no ar de 13,3 ppmv, ou 8,6 vezes maior do que a concentração na água.

A emissão imediatamente abaixo da barragem é de um tipo de emissão diferente daquela da superfície da água em afluentes dentro do reservatório. No caso dos afluentes, a emissão é contínua, com a água de superfície tendo altas concentrações de CH₄ que é continuamente alimentada pela decomposição anaeróbica em sedimentos no fundo, e no ar à altura de 30 cm acima da água tem uma concentração de CH₄ muito inferior à da água. Na estação de amostragem a 3 km abaixo da barragem, no entanto, a relação é inversa, com uma concentração de CH₄ bastante reforçada no ar, mas pouco CH₄ na água. Isso indica que, em vez de um fluxo contínuo de CH₄ através da coluna d'água e difusão pela superfície, o gás foi lançado em uma única explosão (presumivelmente na forma de bolhas) quando a água emerge das turbinas e dos vertedouros. O gás permanece no ar sobre o rio para uma distância considerável a jusante, mas a taxa de fluxo na superfície enquanto a água continua a fluir a jusante seria pequeno, muito menos do que seria necessária para explicar a elevada concentração de CH₄ a 30 cm de altura.

Mesmo se a água no trecho logo a jusante da barragem não tenha condições para medições de fluxo direto com câmaras, as medições nos diria pouco sobre a quantidade de CH₄ que teria sido emitida no surto inicial. Da mesma forma, se dados estivessem disponíveis sobre a componente vertical do movimento do ar, a emissão total não poderia ser calculada a partir da concentração no ar porque a emissão, neste caso, não é um fluxo contínuo. No entanto, uma ideia muito aproximada pode ser adquirida de um valor mínimo para esse fluxo. É conhecido a partir de estudos de perfis de concentração de CO₂ na coluna de ar sobre pastagens na Amazônia, que durante a noite, se o ar estiver sem movimento (o que impossibilita a medição), a concentração do gás é aproximadamente constante até a altura da camada limite, que, com base em dois métodos de estimativa, está, em média, a 51 m acima da superfície (Acevedo *et al.*, 2004, p. 893). Isto se refere a um gás (CO₂) proveniente de uma fonte contínua, ou seja

a respiração da vegetação à noite, tornando-o diferente de um pulso único de emissão como no caso do CH₄ liberado de desgaseificação nas turbinas e vertedouros. A concentração a 30 cm de altura não pode ser extrapolada até uma altura de 51 m. No entanto, pode-se fazer uma suposição conservadora, como a que, em média, a coluna de ar contém esta concentração até uma altura de 5 m (ou seja, 10% da altura aproximada na qual a massa de ar pode ser presumida subir à noite).

O rio Madeira logo abaixo da represa tem uma largura de 2,2 km, estreitando para 1,4 km em frente de Porto Velho e a 0,8 km abaixo da cidade (medida do Google Earth). Se for suposto que a massa de ar que contém o metano permanece no rio ao longo de 6 km (ou seja, duas vezes a distância da primeira estação de amostragem abaixo da barragem, o metano medido acima da primeira estação de amostragem, portanto, representa o ponto a meio caminho em um presumível declínio linear a partir da barragem) e considerando a largura de rio de 1,4 km (correspondente na estação de medição 3 km abaixo da barragem) como mais relevante para a dissipação da emissão inicial da água que passa através da barragem, o volume da massa de ar que contém o metano é de $4,20 \times 10^7 \text{ m}^3$. Considerando a temperatura média do ar de 33° C nos locais de medição no reservatório (Grandin, 2012, p. 31), a altitude da superfície do rio de 55,3 m acima do nível do mar (FURNAS et al., 2005, Tomo A, Vol. 1, p. VII-50), a densidade do ar nesta altitude e temperatura é 0,68% inferior à densidade em condições normais de temperatura e pressão, que é equivalente a 0° C ao nível do mar (Engineering Toolbox, 2014).

A concentração média no ar em quatro locais sobre o reservatório principal de 1,4 ppmv CH₄ (Hällqvist, 2012, p. 27) pode ser tomada como a concentração de referência para o cálculo de enriquecimento. As medições de concentração no ar foram feitas ao nível da parte superior das câmaras de flutuação, ou a aproximadamente 30 cm acima da água (Hällqvist, 2012, p. 12-13).

Na temperatura e a altitude em Porto Velho, um mol de gás ocupa 22,55 litros, e a massa de ar acima do rio contém $1,86 \times 10^9$ moles de ar. O enriquecimento de metano de $8,4 - 1,4 = 7,0$ ppmv corresponde a $1,30 \times 10^4$ moles de metano na massa de ar, ou 208,6 kg de gás metano. No mês de fevereiro, quando as medições de metano foram feitas, os ventos predominantes no local são do Norte (Cortez, 2004, p. 17), ou seja, que o vento tem um ângulo de ataque de 35° em relação ao eixo do rio, que (ignorando irregularidades) flui em uma direção aproximadamente nordeste neste trecho em um ângulo de 35° (Google Earth). A velocidade média do vento no momento da medição na estação de amostragem a 3 km abaixo da barragem foi de 2,3 m/s (Hällqvist, 2012, p. 35). Ao longo do ano, a velocidade média do vento em Porto Velho é de 1,4 m/s (Cortez, 2004, p. 16). A velocidade do vento medida em cada local e a direção presumida implicam que o vetor que representa o movimento de um lado para o outro lado do rio tinha uma velocidade de 1,3 m/s. O ar sobre o rio, portanto, estava sendo renovado a cada 18 minutos, e a quantidade total de CH₄ emitido correspondia a 27 t/dia ou $1,67 \times 10^4$ t/ano.

A emissão total estimada de fluxos acima e abaixo da barragem é de $1,48 \times 10^4$ t/ano para o nível de água (cota) de 70 m, $1,59 \times 10^4$ t/ano no nível de 70,5 m e $1,77 \times 10^4$ t/ano no nível de 71,3 m. Deste total, 41,3% representam emissões a jusante no nível 70 m, as percentagens correspondentes sendo 38,3% em 70,5 m e 34,5% em 71,3 m. A emissão a jusante é, provavelmente, em grande parte o resultado de liberação

imediate, na hora que a água passa através da barragem, e presume-se que não continuaria a um nível significativo a partir da superfície da água além do ponto de medição 3 km abaixo da barragem.

Algumas verificações da realidade são factíveis com base na quantidade de metano que iria ser transportado através da barragem em diferentes concentrações possíveis. Considerando o escoamento médio anual de 18.806 m³/s no período 1931-2005, as emissões calculadas a jusante de 175.024 t de CH₄ representam 15,4% dos 1,14 × 10⁶ t/ano de metano transportado através da barragem, se a água contém a alta concentração média encontrada em águas superficiais nos afluentes. Porém, representaria um percentual impossível de 410% do metano que passaria pela barragem (42.730 t/ano) se a água contivesse a concentração medida em águas superficiais no rio principal na estação de medição mais próxima acima da barragem. No entanto, as concentrações de metano medidas na superfície não representam a concentração média da coluna de água, especialmente se a água for estratificada, uma vez que as concentrações de metano na parte inferior do reservatório sob essas condições são muito maiores do que na superfície. A concentração na água de superfície abaixo da barragem, uma vez sendo essencialmente igual à concentração acima da barragem significa que o enriquecimento de metano do ar não é explicado pela liberação de metano transportado conforme o cálculo da concentração de superfície e, portanto, a liberação de metano deve ser a partir da água com maior concentração, na parte inferior do rio. No momento da medição, quase todo o fluxo do rio estava passando pelos vertedouros, que tiram água do fundo da coluna de água e que produzem forte turbulência abaixo da barragem. Um lançamento desta magnitude, portanto, não parece razoável, mas a incerteza é elevada.

Outra verificação é a porcentagem das emissões totais de metano que é estimada para ocorrer a jusante, neste caso 34,5% para o nível de água de 70,5 m. Essa porcentagem é bem inferior aos percentuais em outras barragens na América do Sul tropical: Balbina na idade de 18 anos emitia 52,7% do seu CH₄ a jusante (Kemenes et al., 2007), Petit Saut na idade de 9 anos emitia 78,6% a jusante (Abril et al., 2005) e Tucuruí na idade de 6 anos emitia 88,2% a jusante (Fearnside, 2002a). Estas outras barragens apresentam diferenças significativas em relação à Santo Antônio, incluindo áreas de reservatório substancialmente maiores que levariam a uma menor importância esperada das emissões a jusante, quando expressa como uma porcentagem do total. A maior vazão do Rio Madeira, em comparação com os rios em outras barragens sul-americanas, também faria o percentual esperado de emissões a jusante ser maior em Santo Antônio. A menor porcentagem de emissão a jusante calculada para Santo Antônio é, portanto, uma característica que sugere que a estimativa das emissões a jusante é conservadora.

Enfatizo que a estimativa apresentada acima para Santo Antônio é um cálculo muito grosseiro, mas dá uma idéia da magnitude envolvida com base nas melhores informações disponíveis. A estimativa acima contém vários pressupostos conservadores. Talvez o maior seja que a concentração de metano no ar de uma medição feita cerca de 3 km abaixo da barragem representa o valor a ser aplicado para a massa de ar acima do rio. Sendo que a maior parte das emissões normalmente ocorre muito rapidamente quando a água passa através da barragem (veja Fearnside & Pueyo, 2012), o valor usado aqui é provavelmente subestimado, porque muito do metano do

surto inicial de emissão teria já sido deslocado lateralmente pelos ventos, levando o metano para longe do rio antes de chegar ao ponto de medida 3 km abaixo da barragem.

Emissões da construção da barragem e da linha de transmissão

As emissões da construção da barragem e da linha de transmissão são mostradas na Tabela 2. A estimativa das emissões da construção da barragem é conservadora, sendo que a falta de informação resultou na não inclusão de várias fontes de emissão, tais como o uso de diesel combustível e eletricidade. Na estimativa para a linha de transmissão, as emissões na produção das 63.000 t de alumínio utilizadas nos cabos, sem dúvida, é subestimada, uma vez que as emissões do processo de energia-intensivos de produção de alumínio são calculadas a partir de estimativas da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL, 2011) que considera a energia hidrelétrica como energia "verde", livre de emissões.

[Tabela 2 aqui]

As emissões da construção de barragem podem ser estimadas a partir das quantidades de aço, cimento e outros materiais (Tabela 2). As quantidades de materiais utilizados na construção de uma usina hidrelétrica são muito maiores do que aquelas para uma usina termelétrica a gás equivalente. Uma estimativa para uma usina termelétrica a gás equivalente é incluída com base no aço nas turbinas (Tabelas 3 & 4). As emissões da construção representam 14% do impacto de Santo Antônio, excluindo as emissões a jusante (Tabela 4). A escolha de um horizonte de tempo pressupõe que dez anos é um tempo razoável sobre o qual alocar as emissões de construção. Esta é uma decisão política e ética, não uma decisão científica. A indústria hidrelétrica está ansiosa para ter todas as comparações feitas em uma base de 100 anos sem nenhum desconto por tempo (por exemplo, Fearnside, 1996, Goldenfum, 2012); isto faria as hidrelétricas aparecerem relativamente mais atraentes, por vários motivos, mas vai contra os interesses da sociedade em evitar níveis perigosos de aquecimento global (e.g., Fearnside, 2002b). As emissões estimadas de Santo Antônio (incluindo as emissões a jusante) são comparadas com as emissões de linha de base na Tabela 3. A Tabela 4 faz a mesma comparação omitindo as emissões a jusante por serem muito incertas.

[Tabelas 3 & 4 aqui]

As emissões de construção da linha de transmissão podem ser estimadas conservadoramente com base nos materiais utilizados, ignorando outras fontes de emissão (Tabela 2). Apenas metade das emissões de construção é atribuída à empresa Santo Antônio, a outra metade sendo imputáveis à Jirau.

O projeto de carbono conta a eletricidade produzida no ponto onde entra o Sistema Interconectado Nacional (SIN), em uma junção, localizada apenas a 5 km da barragem. Na realidade, a grande maioria da eletricidade será usada em São Paulo depois de passar pela linha de transmissão de 2.362 km que foi construída para servir às represas do Rio Madeira. O projeto considera a perda de transmissão até a junção com o SIN sendo de apenas 3,2% (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 34). No entanto, a perda média na transmissão no Brasil é de 20% (Rey, 2012), e a linha de transmissão muito longa até São Paulo, uma das mais longas do mundo (Moreira, 2013), sugere que

as perdas seriam maiores que a média nacional. Não só é a linha de transmissão que é omitida dos cálculos de emissão no PDD, mas isso também afeta a quantidade de crédito de carbono reivindicado. Porque o PDD alega crédito com base no número de megawatts-hora no ponto de entrega para o SIN, a quantidade de eletricidade chegando em São Paulo seria, na realidade, pelo menos 20% menos. Se usinas termelétricas a gás fossem usadas para substituir a barragem, seriam construídas perto da cidade onde a eletricidade é usada, assim eliminando perda de transmissão. As emissões de CO₂ de uma usina a gás que teoricamente está sendo eliminada pela barragem seriam, portanto, pelo menos 20% menos do que alegado no PDD.

As medições de fluxo logo a jusante da barragem não são possíveis devido à turbulência excessiva para o uso das câmaras de flutuação. No entanto, é possível uma estimativa muito aproximada de emissão, baseado no enriquecimento de CH₄ observado do ar. A estimativa envolve informações incertas sobre as dimensões da massa de ar ao qual se aplicam os valores do enriquecimento de concentração e a direção do vento que, juntamente com a velocidade do vento, determina a taxa na qual se renova o ar sobre o rio. Estes são baseados em valores médios e poderiam ter sido diferentes no momento da medição. A medição em si poderia sempre ser atípica. No entanto, o raciocínio da melhor informação disponível, a jusante as emissões representam 34,5% do total se calculado com o nível de água em 70,5 m. Com emissões a jusante incluídas a este nível da água, o impacto da gama de emissões do projeto hidrelétrico estaria numa faixa de 30% a 59% das emissões do cenário de linha de base, dependendo do valor do GWP usado para converter CH₄ em CO₂e (Tabela 3). Ambas as estimativas a jusante e a montante presumem que os valores usados, que foram medidos no primeiro ano do reservatório após o enchimento, aplicam-se ao período total de 10 anos. Isto é incerto, sendo que reservatórios têm emissões que oscilam ao longo do ciclo anual e sendo que, geralmente, há uma tendência para que as emissões diminuam ao longo dos primeiros dez anos (por quantidades amplamente variáveis). Uma característica positiva é o plano de manejo de Santo Antônio com um nível de água constante, embora sujeito a variações, tais como as inundações de 2014. Um fator negativo é a grande quantidade de carbono alóctone no Rio Madeira. Um resumo das emissões de Santo Antônio em relação ao fornecimento da mesma quantidade de energia para São Paulo a partir de centrais térmicas a gás é apresentado na Tabela 5.

[Tabela 5 aqui]

Mesmo se não se fossem consideradas as emissões a jusante devido à alta incerteza, o total das emissões restantes variariam entre 27% e 43% das emissões do cenário de linha de base para produzir a mesma quantidade de eletricidade (Tabela 4). A emissão, portanto, não é "insignificante", mesmo quando uma das principais fontes de metano é ignorada.

2.3 Carbono não adicional

O PDD calcula um benefício de 51.464.028 t de CO₂e ao longo dos 10,5 anos do projeto, de junho de 2012 a dezembro de 2022 (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 35). A venda deste montante de crédito de carbono contribuirá para mais mudanças climáticas, se não for adicional.

O PDD justifica a alegação de adicionalidade calculando a taxa interna de retorno (IRR) do projeto sem as receitas da venda de crédito de carbono, e então comparando esse valor com um valor de referência que supostamente representa uma IRR mínima que poderia ser considerada rentável. O projeto de Santo Antônio optou pelo método Custo Médio Ponderado de Capital (WACC), que é a média entre o custo de dívida e o custo de capital. O WACC é um dos dois índices admissíveis para testes de investimento. O WACC é uma referência que representa a IRR do projeto ao invés da IRR de capital próprio (“*equity IRR*”), que é representado pelo outro método permitido, o Modelo de Avaliação de Preços de Capital (CAPM), que foi usado, por exemplo, para o projeto de MDL da hidrelétrica de Jirau. O valor de referência (WACC) calculado para Santo Antônio foi de 10,35% e a IRR calculada sem crédito de carbono foi de 5,63% (Santo Antônio Energia, SA, 2012, p. 14 & 16).

A metade do valor do Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) é representada pelo custo da dívida (calculado para ser 3,39%) e a outra metade é o custo de capital, que é calculado em 17,31%, ajustando uma taxa livre de risco de 4,88% aplicando um “prêmio” para o risco líquido patrimonial de 6,57%, que é aumentada pela multiplicação por um valor do risco setorial (β) de 1,34%, um “prêmio” para o “risco país” de 6,06% e um percentual de inflação esperada nos EUA de 2,39% (Santo Antônio Energia, S.A., 2012, p. 14).

O PDD (Santo Antônio Energia, S.A., 2012, p. 13-14) calcula o WACC do setor hidrelétrico de 2007 usando a Equação 1.

$$\text{WACC} = (\text{Wd} \times \text{Kd}) + (\text{We} \times \text{Ke}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

We = peso do capital próprio “tipicamente observado” no setor da energia hidrelétrica: 50%

Wd = peso da dívida “tipicamente observado” no setor da energia hidrelétrica: 50%

KD = o custo da dívida no mercado de energia hidrelétrica; isto inclui ajustes para os benefícios fiscais de contrair dívidas. KD é calculado a partir da Equação 2.

$$\text{KD} = [1 + (a + b + c) \times (1-t)] / [(1+d) - 1] \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

(a) = custo financeiro: 9,28%

(b) = taxa BNDES: 0,90%

(c) = *spread* (diferença entre os preços de compra e venda): 2,00%

(a + b + c) = pré-custo de dívida: 12,18%

(t) = Taxa de imposto marginal: 34,00%

(d) = previsão de inflação: 4,50%

Da Equação 2, o custo de dívida após impostos (Kd) é de 3,39% ao ano.

Ke (custo de capital próprio) representa a taxa de retorno de investimentos de capital. Com base no PDD (Santo Antônio Energia, S.A., 2012, p. 14), como esclarecido a partir de planilhas, estima-se com a Equação 3:

$$K_e = ((R_f + (\beta \times R_m) + R_c)) \times (I / d) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

(R_f) = taxa livre de risco: 4,88%

(R_m) = prêmio de risco do capital próprio = 6,57%

(R_c) = prêmio de risco de país estimado = 6,06%

(B) = Risco setorial = 1,34

(I) = inflação esperada nos EUA: 2,39%

(d) = previsão de inflação brasileira: 4,50%

Da equação 3 é o custo de capital próprio com o risco-país brasileiro:

$$K_e = (0,0488 + (1,34 \times 0,0657) + 0,0606) \times (0,0239 / 0,0450) = 0,1731$$

ou 17,31% ao ano.

Da Equação 1, o Custo Médio Ponderado de Capital (WACC) é:

$$WACC = (50\% \times 3,39\%) + (50\% \times 17,31\%) = 10,35\%$$

Alguma dose de bom senso é necessária. A metade do valor calculado no PDD WACC é o custo da dívida (calculado para ser 3,39%) e a outra metade é o custo de capital, que é calculado em 17,31%. Este último valor representa um IRR de capital próprio (*equity IRR*) que serve como uma indicação da rentabilidade do empreendimento do ponto de vista de um investidor. Poucas empresas ou investidores podem esperar para obter um retorno sobre o investimento de 17% ao ano, depois de descontado os impostos, para além da inflação e mantido ao longo de um período de dez anos. A justificativa para permitir a alegação de que um retorno tão alto é necessário para tornar Santo Antônio atraente se baseia em uma série de ajustes, representando supostos riscos como o "risco Brasil". Enquanto a série de ajustes nos cálculos pode legitimar a prática em termos legais sob a atual regulamentação do MDL, não conduzem a decisões que fazem sentido do ponto de vista da luta contra o aquecimento global. Se o valor de referência for muito alto, projetos que aconteceriam de qualquer forma serão classificados como "adicionais" e será concedido crédito de carbono sem merecimento.

O indicador mais evidente que o comportamento de empresas que investem no projeto, não coincide com a rentabilidade calculada do empreendimento sem crédito de carbono é o fato de que as empresas estavam dispostas a investir somas enormes, antes mesmo que o projeto de carbono fosse entregue ao MDL, muito menos aprovado. A probabilidade de um projeto de MDL de energia hidráulica ser rejeitado, se calculado a partir da primeira apresentação, é de 16,6% (ver Seção 1.1), o que seria um alto risco de perder as somas investidas. Além disso, o mercado para CREs caiu, com os preços caindo em mais de 70%, antes que muitos dos grandes investimentos sejam feitos, indicando que o risco adicional de que o preço não iria recuperar até os valores de 2008 usados no PDD. Isso representaria outro fator inibidor importante se o projeto fosse realmente tão pouco rentável como alega o PDD sem as receitas de venda de CREs. A conclusão da "navalha de Occam" é que as empresas estavam investindo no projeto com plena expectativa de obter lucro sem qualquer ajuda adicional do MDL, e que nenhuma das 51 milhões de toneladas de CO₂-equivalente de crédito de carbono reivindicado é adicional.

2.4 Licenciamento ambiental

O PDD do licenciamento ambiental diz que "este processo consistia em 64 reuniões públicas com a participação de 2.000 pessoas das comunidades locais que habitam a área de influência direta da usina hidrelétrica" (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 46-47). Esqueceu-se de mencionar o conteúdo dessas reuniões, ou seja, que praticamente 100% do que foi dito foram duras críticas à barragem (e.g., Baraúna & Marin, 2011). Os meios de subsistência da população local eram pesadamente dependentes dos extraordinários recursos pesqueiros do Rio Madeira, que hoje foram sacrificados, em grande parte, para as barragens de Santo Antônio e Jirau (veja Fearnside, 2014b).

O formulário do PDD solicita "conclusões e todas as referências para apoiar a documentação de uma avaliação de impacto ambiental realizada em conformidade com os procedimentos conforme exigido pela parte anfitriã" (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 47). O PDD de Santo Antônio responde a isso afirmando que "o projeto tem todas as licenças ambientais necessárias emitidas pelo IBAMA" e listando as licenças. Não são mencionadas as muitas irregularidades no processo de licenciamento. A irregularidade mais grave foi a substituição do chefe do setor de licenciamento do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis) logo antes da licença prévia ser aprovada (o chefe anterior do setor havia apoiado seu pessoal técnico se recusando a aprovar a licença). O novo chefe do departamento de licenciamento foi promovido para ser o presidente do IBAMA como um todo e aprovou a licença de instalação nessa função. Estas aprovações passaram por cima da equipe técnica do IBAMA, que havia tomado posição formal contra a aprovação de ambos, a licença prévia (Deberdt et al., 2007) e a licença de instalação (Brasil, IBAMA, 2008). O licenciamento e os impactos das barragens do Rio Madeira foram revisados em detalhe em outras publicações (Fearnside, 2013b, 2014b,c).

2.5 Impactos ambientais e sociais

Os leitores da seção do PDD sobre os impactos ambientais e sociais (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 42-47) terão pouca idéia da severidade dos impactos de Santo Antônio. O PDD afirma ainda que "o projeto terá um impacto global positivo sobre os ambientes locais e globais" (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 47). Infelizmente, a barragem terá vários impactos negativos, incluindo bloqueio da migração dos bagres gigantes do Rio Madeira (*Brachyplatystoma rouxeauxii* e *platynemum Brachyplatystoma*), que, até agora, têm sido um recurso econômico vital, não só no Brasil em Rondônia, mas também no Peru e na Bolívia (e.g., Barthem & Goulding, 1997). Antes das barragens, estes peixes subiam o Rio Madeira na piracema (migração em massa) cada ano para procriarem nas cabeceiras dos afluentes formadores do Rio Madeira no Peru e na Bolívia; as larvas, então, desciam o Rio Madeira à deriva para crescerem até a fase adulta no Rio Amazonas. As passagens de peixe instaladas nas barragens de Santo Antônio e Jirau não foram bem sucedidas em atrair os bagres adultos que ascendem o rio, uma vez que o instinto dos peixes é de seguir a correnteza principal do rio. A barragem de Santo Antônio também afetará os lagos de várzea que são importantes locais de reprodução de outras espécies de peixes a jusante da barragem (não incluído no EIA). O reservatório irá liberar mercúrio metilado e destruir os meios de subsistência da população humana que tem sido tradicionalmente dependente do Rio

Madeira (Fearnside, 2014b). As barragens do Rio Madeira, incluindo o Santo Antônio, certamente estão entre os projetos hidrelétricos mais controversos atualmente no mundo por causa de seus impactos e por causa da história do licenciamento.

3 O significado global de Santo Antônio.

O caso do projeto de carbono de Santo Antônio tem implicações importantes para o mundo. Claramente é "apenas" uma represa, mas é adicionado aos casos documentados onde projetos de carbono para barragens tropicais foram aprovados pelo MDL apesar de ser de adicionalidade questionável. Pela sua natureza, a questão de se "todas" as barragens tropicais são não-adicionais, e também a questão mais relevante de se as represas tropicais devem ser tratadas como se todas fossem não-adicionais, é abordada através de raciocínio indutivo – não por dedução a partir de um princípio universal. Os dois outros projetos de carbono para hidrelétricas examinadas na Amazônia: Teles Pires (Fearnside, 2012) e Jirau (Fearnside, 2013a) são não-adicionais. Ativistas ambientais têm compilado informações menos detalhadas sobre uma longa lista de barragens em todo o mundo, sugerindo que a não adicionalidade é muito generalizada, inclusive na China e na Índia (Yan, 2013). Um estudo de projetos de MDL na China e na Índia tem mostrado várias maneiras que os “*benchmarks*” têm sido manipulados para permitir a aprovação de projetos não adicionais (Haya, 2009).

As decisões às quais esta informação é relevante são decisões de política. Como tal, são decisões que precisam ser tomadas, e isso é feito com base nas melhores informações disponíveis, ao invés de apenas em informações que atendem um critério como o de ter uma significância estatística a nível de 5%. Na verdade, a maioria das decisões de política, tais como a escolha de medidas econômicas para conter a inflação ou para aumentar o emprego, são baseadas em informações com níveis de incerteza muito maiores do que as informações sobre os benefícios climáticos (ou a falta desses benefícios) associados à concessão de crédito de carbono para represas tropicais. Atrasar a ação sobre a suspensão desse tipo de crédito em razão da excessiva incerteza é, na verdade, um endosso da prática. Todos os dias que nada mudou, uma decisão está sendo feita para não fazer nada. A possibilidade teórica de algumas barragens serem adicionais não justifica a continuação da concessão de créditos pelo MDL para barragens tropicais (Fearnside, 2013a). A hidrelétrica de Santo Antônio, sendo uma grande represa a fio d’água, representa uma boa escolha que deveria ser um projeto modelo a partir do ponto de vista das emissões por MWh, mas, em uma análise mais aprofundada, este benefício encontra-se menor do que foi alegado.

Cada barragem tropical não precisa ser não-adicional para que a melhor decisão seja de parar a concessão de crédito de carbono para barragens tropicais. O crédito de carbono é uma ferramenta na luta contra o aquecimento global, não um direito a qual as empresas ou os governos têm qualquer tipo de direito moral. Se, na prática, a concessão de crédito para barragens está fazendo mais mal do que bem, ou mesmo se barragens verdadeiramente adicionais fossem frequentes o bastante para resultar em um benefício líquido modesto, mas utilizando os fundos para subsidiar barragens que tivessem menos ganho para o clima do que seria o caso gastando esse dinheiro em uma categoria diferente de medida de mitigação, então o crédito para barragens deve ser descontinuado imediatamente. O projeto de carbono de Santo Antônio adiciona mais um caso que aponta para isso como a conclusão lógica.

4 Conclusões

As regras do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), na prática, concedem crédito às barragens que não são adicionais àquelas que seriam construídas sem o subsídio. O crédito concedido para tais barragens, portanto, permite que os países que compram o crédito emitam gases de efeito estufa sem que haja uma compensação real correspondente de emissões evitadas. Além disso, as hidrelétricas tropicais emitem mais gases de efeito estufa do que são reconhecidas nos procedimentos do MDL. O exemplo de Santo Antônio adiciona uma evidência à conclusão de que a prática de concessão de crédito de carbono para barragens tropicais deve ser interrompida imediatamente.

Agradecimentos

As pesquisas do autor são financiadas exclusivamente por fontes acadêmicas: Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: proc. 305880/2007-1; 575853/2008-5 304020/2010-9; 573810/2008-7), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM: proc. 708565) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA: PRJ15.125). Agradeço ao P.M.L.A. Graça pelos comentários.

Referências

- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). 2011. Sustainability Report of the Brazilian Aluminum Industry 2010. ABAL, São Paulo, SP. 60 p. Disponível em: http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/rel_sustentabilidade_ind_aluminio_2010.asp
- Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A., Matvienko, B. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). *Global Biogeochem Cycles* 19: GB 4007. doi:10.1029/2005GB002457
- Abril, G., Parize, M., Pérez, M.A.P., Filizola, N. 2013. Wood decomposition in Amazonian hydropower reservoirs: An additional source of greenhouse gases, *Journal of South American Earth Sciences* 44: 104-107. doi:10.1016/j.jsames.2012.11.007
- Acevedo, O.C., Moraes, O.L.L., da Silva, R., Fitzjarrald, D.R., Sakai, R.K., Staebler, R.M., Czikowsky, M.J. 2004. Inferred nocturnal surface fluxes from vertical profiles of scalars in an Amazonian pasture. *Global Change Biology* 10: 886-894. doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00755.x
- Baraúna, G.M.Q., Marin, R.E.A. 2011. O “fator participativo” nas audiências públicas das hidrelétricas de Jirau, Santo Antônio e Belo Monte. In: Zhouri, A. (ed.) *As Tensões do Lugar: Hidrelétricas, Sujeitos e Licenciamento ambiental*. Editora UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais. p. 93-125.
- Barbosa, R.I., Fearnside, P.M. 1996. Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of aboveground carbon. *Journal of*

Geophysical Research (Atmospheres) 101(D20): 25.847-25.857.
doi:10.1029/96JD02090

Barthem, R., Goulding, M. 1997. *The Catfish Connection: Ecology, Migration, and Conservation of Amazon Predators*. Columbia University Press, New York, NY, E.U.A. 184 p.

Barrieu, P., Fehr, M. 2011. Integrated EUA and CER price modeling and application for spread option pricing. Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment working papers, 40. Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London, Reino Unido.
http://eprints.lse.ac.uk/37576/1/Integrated_EUA_and_CER_price_modeling_and_application_for_spread_option_pricing%28lsero%29.pdf

Barros, N., Cole, J.J., Tranvik, L.J., Prairie, Y.T., Bastviken, D., Huszar, V.L.M., del Giorgio, P., Roland, F. 2011. Carbon emission from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude, *Nature Geoscience* 4: 593-596.
doi:10.1038/NGEO1211.

Bragança, D. 2012. Ibama libera linha de transmissão das Usinas do Madeira. *OECO* 09 de fevereiro de 2012. <http://www.oeco.org.br/salada-verde/25709-ibama-libera-linha-de-transmissao-das-usinas-do-madeira>

Brasil, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2008. Parecer Técnico No. 45/2008-COVID/CGENE/DILIC/IBAMA de 08 de agosto de 2008. Assunto: Análise da solicitação da emissão da Licença de Instalação do Aproveitamento Hidrelétrico de Santo Antônio. IBAMA, Brasília, DF. Disponível em:
http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/IBAMA_parecer_tecnico_45_2008_li_st_antonio%5b-08-08-08.pdf

Brasil, MPE-RO (Ministério Público do Estado de Rondônia). 2006. Pareceres Técnicos dos Especialistas Setoriais—Aspectos Físicos/Bióticos. Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau no Rio Madeira, Estado de Rondônia. MPE-RO, Porto Velho, Rondônia. 2 Vols. Disponível em:
http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeira_COBRAPE/11118-COBRAPE-report.pdf

CDM Methodologies Panel. 2006. Draft thresholds and criteria for the eligibility of hydroelectric reservoirs as CDM projects. CDM Meth Panel Nineteenth Meeting Report, Annex 10, UNFCCC, Bonn, Alemanha. 2 p.
http://cdm.unfccc.int/Panels/meth/meeting/06/Meth19_repan_10_Hydro.pdf

CDM Policy Dialogue. 2012. *Climate Change, Carbon Markets and the CDM: A Call to Action*. Report of the High-Level Panel on the CDM Policy Dialogue. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn,

- Alemanha. 86 p. Disponível em:
<http://www.cdmpolicydialogue.org/report/rpt110912.pdf>
- Chu, S. 2013. Spreadsheet of hydro projects in the CDM project pipeline [até março de 2013]. *International Rivers*, Berkeley, Califórnia, E.U.A.
<http://www.internationalrivers.org/resources/spreadsheet-of-hydro-projects-in-the-cdm-project-pipeline-4039>
- Cole, J.C. 2012. Genesis of the CDM: the original policymaking goals of the 1997 Brazilian proposal and their evolution in the Kyoto protocol negotiations into the CDM. *International Environmental Agreements* 12: 41–61. doi 10.1007/s10784-010-9132-8
- Cole, J.C., Liverman, D.M. 2011. Brazil's Clean Development Mechanism governance in the context of Brazil's historical environment–development discourses. *Carbon Management* 2(2): 145-160. doi:0.4155/CMT.11.11
- Cole, J.C., Roberts, J.T. 2011. Lost opportunities? A comparative assessment of social development elements of six hydroelectricity CDM projects in Brazil and Peru. *Climate and Development* 3(4): 361-379. doi:10.1080/17565529.2011.623831
- Cortez, M. 2004. *Climatologia de Rondônia*. Primeira Versão 11(171): 1-19.
http://www.primeiraversao.unir.br/atigos_pdf/numero171MarcosCortez.pdf
- Deberdt, G., Teixeira, I., Lima, L.M.M., Campos, M.B., Choueri, R.B., Koblitz, R., Franco, S.R., Abreu, V.L.S. 2007. Parecer Técnico No. 014/2007 de 21 de março de 2007. Assunto: Análise técnica do EIA/RIMA e de documentos correlatos referentes ao AHE de Santo Antônio e AHE de Jirau, ambos no rio Madeira, visando emissão de parecer quanto à viabilidade ambiental dos empreendimentos. FCOHID/CGENE/DILIC/IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), Brasília, DF. Disponível em:
http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeiraparecer.pdf
- de Lima, I.B.T., Novo, E.M.L.M., Ballester, M.V.R., Ometto, J.P.H.B. 2000. Role of the macrophyte community in the CH₄ production and emission in the tropical reservoir of Tucuruí, Pará State, Brazil. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie* 27: 1437-1440.
- de Lima, I.B.T., Victoria, R.L., Novo, E.M.L.M., Feigl, B.J., Ballester, M.V.R., Ometto, J.M. 2002. Methane, carbon dioxide and nitrous oxide emissions from two Amazonian reservoirs during high water table. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie* 28: 438-442
- Demarty, M., Bastien, J. 2011. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emission measurements. *Energy Policy* 39: 4197-4206. doi:10.1016/enpol.2011.04.033

- dos Santos, M.A. 2014. Trabalho técnico sobre GEEs de hidrelétricas. E-mail de 16 de janeiro de 2014, 10:08 h., de Marco Aurélio dos Santos a Philip M. Fearnside. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Hydro-GHG/dos%20Santos%20email-2014.pdf
- dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Matvienko, B., dos Santos, E.O., D'Almeida Rocha, C.H.E., Sikar, E., Silva, M.B., Ayr Júnior, M.P.B. 2008. Emissões de gases de efeito estufa por reservatórios de hidrelétricas. *Oecologia Brasiliensis* 12(1):116-129.
- dos Santos, M.A., Rosa, L.P., Nassi, C.D. 2009. Emissões de gases de efeito estufa do reservatório hidrelétrico de Belo Monte – Fase de pré-enchimento do reservatório, In: *Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte: Estudo de Impacto Ambiental*. Fevereiro de 2009. Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRÁS), Rio de Janeiro, RJ. Volume 8, Appendix 7.1.3.1. 141 p. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BM/DocsOf/EIA-09/Vol%2008/ANEXO%207.1.3-1%20-%20EFEITO%20ESTUFA/Ap%C3%AAndice%207.1.3-1.pdf
- Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Queiroz, A.G., Almeida, D.C., Pereira, H.C. Dezincourt, J. 2000. Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir with those of other reservoirs worldwide. *Verhandlungen Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie* 27: 1391-1395.
- Duchemin, É., Lucotte, M., St-Louis, V., Canuel, R. 2002. Hydroelectric reservoirs as an anthropogenic source of greenhouse gases. *World Resource Review* 14: 334-353.
- du Monceau, T., Brohé, A. 2011. Briefing paper “Baseline Setting and Additionality Testing within the Clean Development Mechanism (CDM)”. ED56638 Ref: CLIMA.B.3/ETU/2010/0020r. AEA Technology plc., London, Reino Unido. 42 p. http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/linking/docs/additionality_baseline_en.pdf
- Ecopart (Ecopart Assessoria em Negócios Empresariais Ltda.). 2011. Project design document form (CDM PDD) - Version 03. Disponível em: http://cdm.unfccc.int/filestorage/G/Y/E/GYE0D3RQV8K9I4S1WCO2JTFHANLU7M/Teles_Pires_PDD_24012012.pdf?t=NUx8bHp4NjY2fDCy286b2TU-8uLt2EV00sA6
- Engineering Toolbox. 2014. The Engineering Toolbox. http://www.engineeringtoolbox.com/air-density-specific-weight-d_600.html
- Fearnside, P.M. 1989a. Brazil's Balbina Dam: Environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia. *Environmental Management* 13(4): 401-423. doi:10.1007/BF01867675

- Fearnside, P.M. 1989b. Ocupação Humana de Rondônia: Impactos, Limites e Planejamento. Relatórios de Pesquisa No. 5, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasília, DF. 76 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. Montreal meeting on 'greenhouse' gas impact of hydroelectric dams. *Environmental Conservation* 23(3): 272-273. doi:10.1017/S0376892900038935
- Fearnside, P.M. 1997. Greenhouse-gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoirs: The example of Brazil's Tucuruí Dam as compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation* 24(1): 64-75. doi:10.1017/S0376892997000118
- Fearnside, P.M. 1999. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. *Environmental Management* 24(4): 483-495. doi:10.1007/s002679900248
- Fearnside, P.M. 2001. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Management* 27(3): 377-396. doi:10.1007/s002670010156
- Fearnside, P.M. 2002a. Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air and Soil Pollution* 133(1-4): 69-96. doi:10.1023/A:1012971715668
- Fearnside, P.M. 2002b. Time preference in global warming calculations: A proposal for a unified index. *Ecological Economics* 41(1): 21-31. doi:10.1016/S0921-8009(02)00004-6
- Fearnside, P.M. 2004. Greenhouse gas emissions from hydroelectric dams: Controversies provide a springboard for rethinking a supposedly "clean" energy source. *Climatic Change* 66(2-1):1-8. doi:10.1023/B:CLIM.0000043174.02841.23
- Fearnside, P.M. 2005a. Brazil's Samuel Dam: Lessons for hydroelectric development policy and the environment in Amazonia. *Environmental Management* 35(1): 1-19. doi:10.1007/s00267-004-0100-3
- Fearnside, P.M. 2005b. Do hydroelectric dams mitigate global warming? The case of Brazil's Curuá-Una Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10(4): 675-691. doi:10.1007/s11027-005-7303-7
- Fearnside, P.M. 2009. As hidrelétricas de Belo Monte e Altamira (Babaquara) como fontes de gases de efeito estufa. *Novos Cadernos NAEA* 12(2): 5-56.
- Fearnside, P.M. 2011. Gases de Efeito Estufa no EIA-RIMA da Hidrelétrica de Belo Monte. *Novos Cadernos NAEA* 14(1): 5-19.

- Fearnside, P.M. 2012. Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: The example of Brazil's Teles Pires Dam. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 18(5): 691-699. doi:10.1007/s11027-012-9382-6
- Fearnside, P.M. 2013a. Credit for climate mitigation by Amazonian dams: Loopholes and impacts illustrated by Brazil's Jirau Hydroelectric Project. *Carbon Management* 4(6): 681-696. doi: 10.4155/CMT.13.57
- Fearnside, P.M. (2013b) Decision-making on Amazon dams: Politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. *Water Alternatives* 6(2):313-325
- Fearnside, P.M. 2014a. As barragens e as inundações no rio Madeira. *Ciência Hoje*. 53(314): 56-57.
- Fearnside, P.M. 2014b. Impacts of Brazil's Madeira River dams: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. *Environmental Science & Policy* 38: 164-172 doi: 10.1016/j.envsci.2013.11.004
- Fearnside, P.M. 2014c. Brazil's Madeira River dams: A setback for environmental policy in Amazonian development. *Water Alternatives* 7(1): 156-169.
- Fearnside, P.M., Pueyo, S. 2012. Underestimating greenhouse-gas emissions from tropical dams. *Nature Climate Change* 2(6): 382–384. doi:10.1038/nclimate1540
- Fearnside, P.M., Righi, C.A., Graça, P.M.L.A., Keizer, E.W.H., Cerri, C.C., Nogueira, E.M., Barbosa, R.I. 2009. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. *Forest Ecology and Management* 258: 1968-1978. doi: 10.1016/j.foreco.2009.07.042
- Flues, F., Michaelowa, A., Michaelowa, K. 2008. UN approval of greenhouse gas emission reduction projects in developing countries: The political economy of the CDM Executive Board. *Proceedings of the German Development Economics Conference, 2008 (Zürich)*. <http://www.econstor.eu/handle/10419/39896>
- Forsberg, B.R., Kemenes, A. 2006. Pareceres dos consultores sobre o Estudo de Impacto Ambiental do Projeto para aproveitamento hidrelétrica de Santo Antônio e Jirau, Rio Madeira-RO. Parecer Técnico sobre Estudos Hidrobiogeoquímicos, com atenção específica à dinâmica do Mercúrio (Hg). Parte B, Volume 1, Parecer 2. In: Pareceres Técnicos dos Especialistas Setoriais—Aspectos Físicos/Bióticos. Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau no Rio Madeira, Estado de Rondônia. Ministério Público do Estado de Rondônia (MPE-RO), Porto Velho, Rondônia. 2 Vols., p. 1-32. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeira_COBRAPE/11118-COBRAP-report.pdf

- Forster, P. & 50 outros. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and Radiative Forcing. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 129-234.
- Friberg, L. 2009. Varieties of carbon governance: The Clean Development Mechanism in Brazil, a success story challenged. *Journal of Environment and Development* 18(4): 395-424. doi:10.1177/1070496509347092
- FURNAS (Furnas Centrais Elétricas S.A.), CNO (Construtora Noberto Odebrecht S.A.). 2007. Respostas às Perguntas Apresentadas pelo IBAMA no Âmbito do Processo de Licenciamento Ambiental do Complexo Madeira. Informações Técnicas Nos 17, 19 E 20/2007 COHID/CGENE/DILIC/IBAMA. FURNAS and CNO, Rio de Janeiro, RJ. 239 p.
http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/respostas%20empresas.pdf
- FURNAS (Furnas Centrais Elétricas S.A.), CNO (Construtora Noberto Odebrecht S.A.). 2008. Relatório atendimento of. 1116-2007 SGH-A. Ficha Técnica TCU - AHE Santo Antônio - Relatório Complementar. USINA HIDRELÉTRICA: AHE Santo Antônio. FURNAS & CNO, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em:
http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/Madeira_-_ompl/Rel%20atendimento%20of%201116-2007%20SGH-ANEEL/MADEIRA%20-%20RELATORIO%20COMPLEMENTAR/Ficha%20Técnica%20TCU%20-%20AHE%20Santo%20Antônio%20-%20Relatório%20Complement.doc
- FURNAS (Furnas Centrais Elétricas S.A.), CNO (Construtora Noberto Odebrecht S.A.), Leme Engenharia. 2005. EIA-Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, Rio Madeira-RO. 6315-RT-G90-001. FURNAS, CNO, Leme Engenharia. Rio de Janeiro, RJ. 8 Vols. Paginação irregular. Disponível em:
http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/Documentos%20Oficiais/EIA/10978-EIA%20Sto%20Antonio%20&%20Jirau%20Tomo%20A%20Vol%201.pdf
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S., Gosse, P. 1997. Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: A case study in French Guyana. *Global Biogeochemical Cycles* 11(4): 471-483.
- Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, J., Richard, S., Gosse, P. 1999). Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions. *Global Biogeochemical Cycles* 13(2): 503-517.
- Goldenfum, J.A. 2012. Challenges and solutions for assessing the impact of freshwater reservoirs on natural GHG emissions. *Ecology & Hydrobiology* 12: 115-122. doi: 10.2478/v10104-012-0011-5

- Grandin, K. 2012. Variations of Methane Emissions within and between Three Hydroelectric Reservoirs in Brazil. Department of Ecology and Evolution, Limnology, Uppsala University, Uppsala, Suécia. 71 p.
http://www.ibg.uu.se/digitalAssets/130/130865_172grandin.pdf
- Guérin, F., Abril, G., Tremblay, A., Delmas, R. 2008. Nitrous oxide emissions from tropical hydroelectric reservoirs. *Geophysical Research Letters* 35: L06404, doi:10.1029/2007GL033057
- Hällqvist, E. 2012. Methane emissions from Three Tropical Hydroelectrical Reservoirs. Committee of Tropical Ecology, Uppsala University, Uppsala, Suécia. 46 p.
http://www.ibg.uu.se/digitalAssets/122/122484_hallqvist-emma-report.pdf
- Haya, B. (2009). Measuring Emissions Against an Alternative Future: Fundamental Flaws in the Structure of the Kyoto Protocol's Clean Development Mechanism. Energy and Resources Group Working Paper ERG09-001. University of California, Berkeley, California, E.U.A. http://bhaya.berkeley.edu/docs/Haya-ER09-001-Measuring_emissions_against_an_alternative_future.pdf
- HydroWorld. 2012. First turbine operational at Brazil's Santo Antonio hydro plant. HydroWorld 28 de fevereiro de 2012.
http://www.hydroworld.com/index/display/article-display/9697375374/articles/hrhrw/hydroindustrynews/newdevelopment/2012/02/first-turbine_operational.html?cmpid=EnlHydroMarch62012
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydroelectric dam. *Geophysical Research Letters* 34: L12809. doi:10.1029/2007GL029479. 55
- Kemenes, A., Forsberg, B.R., Melack, J.M. 2011. CO₂ emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil). *Journal of Geophysical Research (atmospheres)* 116: G03004. doi:10.1029/2010JG001465
- Lecocq, F., Ambrosi, P. 2007. The Clean Development Mechanism: History, status, and prospects. *Review Environmental Economics and Policy* 1(1): 134–151. doi:10.1093/reep/rem004
- Leentvaar, P. (1966) The Brokopondo Lake in Surinam. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 16: 680-684.
- Marheineke, T. s/d [C. 1996]. FENCH analysis of electricity generation: Greenhouse gas emission factors for hydropower. Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany. In: Working Material: Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Full Energy Chain for Hydropower, Nuclear Power and other Energy Sources. Papers presented at an IAEA Advisory Group Meeting jointly organized by Hydro-Québec and the International Atomic Energy Sources, Hydro-Québec Headquarters, Montréal (Canada) 12-14 March 1996. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Áustria. Paginação irregular.

- Michaelowa, A., Purohit, P. 2007. Additionality determination of Indian CDM projects: Can Indian CDM project developers outwit the CDM Executive Board? Discussion Paper CDM-1.
http://www.researchgate.net/publication/244483594_Additionality_determination_of_Indian_CDM_projects/file/5046351d3dd4219661.pdf
- Moreira, R. 2013. Brasil terá uma das maiores linhas de transmissão do mundo. O Estado de São Paulo, 06 de dezembro de 2013.
<http://economia.estadao.com.br/noticias/economia,brasil-tera-uma-das-maiores-linhas-de-transmissao-do-mundo,172205,0.htm>
- Myhre, G. & 37 outros. 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 661-740. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Nogueira, E.M. 2008. Wood density and tree allometry in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and emission of carbon from land-use change in Brazilian Amazonia. Tese de doutorado em ciências de florestas tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 148 p.
- Olhoff, A., Markandya, A., Halsnaes, K., Taylor, T. 2004. CDM Sustainable Development Impacts. UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development, Risø National Laboratory, Roskilde, Dinamarca. 88 p.
<http://cd4cdm.org/publications/cdm%20sustainable%20development%20impacts.pdf>
- Pueyo, S., Fearnside, P.M. 2011. Emissões de gases de efeito estufa dos reservatórios de hidrelétricas: Implicações de uma lei de potência. *Oecologia Australis* 15(2): 114-127. doi: 10.4257/oeco.2011.1502.02.
- Rey, O. 2012. Um olhar para as grandes perdas de energia no sistema de transmissão elétrico brasileiro. p. 40-44 In: Moreira, P.F. (ed.). *Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios*. 2ª ed. Rios Internacionais, Brasília, DF. 100 p. Disponível em:
<http://www.internationalrivers.org/node/7525>
- Santo Antônio Energia S.A. 2012. Santo Antonio Hydropower Project. PDD version: 01.1 (27/10/2011) Clean Development Mechanism Project Design Document Form (CDM-PDD) Version 03. Santo Antônio Energia S.A., Porto Velho, Rondônia. 53 p.
http://cdm.unfccc.int/filestorage/E/9/C/E9CIR7WM1SUB4X5QPVHA6KG0ZJLTFO/Santo%20Antonio_PDD_20022012.pdf?t=NHI8bjNxeWdxDD80ZqBJV6OAqLeVCB6tBCq

- Schimel, D. & 75 outros. 1996. Radiative forcing of climate change. In: Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 65-131.
- Schneider L 2007. Is the CDM fulfilling its environmental and sustainable development objectives? An evaluation of the CDM and options for improvement. Öko-Institut, Berlin, Alemanha. 75 p. <http://www.oeko.de/oekodoc/622/2007-162-en.pdf>.
- Schöngart, J., Wittmann, F., Worbes, M. 2010. Biomass and net primary production of central Amazonian floodplain forests. In: Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Wittmann, F., Schöngart, J., Parolin, P. (eds.) *Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*. Ecological Studies 210. Springer Science Business Media B.V., Amsterdam, Países Baixos. p 347–388.
- Sethi, R. 2014. Re: Request for report on hydroelectric dam emissions cited in EB-15. Ref. 2014 342-S INQ-01469. [carta do Comitê Executivo do MDL a Philip M. Fearnside datada 28 de março de 2014]. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/stakeholder/submissions/index.html>
- Shindell, D. & 24 outros. 2012. Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security. *Science* 335: 183-189. doi: 10.1126/science.1210026
- Sterk, W. 2006. Hi all. E-mail de Wolfgang Sterk a International Rivers. 05 de março de 2006. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Hydro-GHG/Wolfgang_sterk_email.pdf
- St Louis, V.L., Kelly, C.A., Duchemin, E., Rudd, J.W.M., Rosenberg, D.M. (2000) Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases to the atmosphere: A global estimate. *BioScience* 50(9): 766-775.
- Sutter, C., Parreño, J.C. (2007) Does the current Clean Development Mechanism (CDM) deliver its sustainable development claim? An analysis of officially registered CDM projects. *Climatic Change* 84: 75-90. doi:10.1007/s10584-007-9269-9
- Switkes G (ed.) (2008) *Águas Turvas: Alertas sobre as Consequências de Barrar o Maior Afluente do Amazonas*. International Rivers, São Paulo, SP. 237 p. <http://www.internationalrivers.org/pt-br/resources/%C3%A1guas-turvas-alertas-sobre-as-conseq%C3%BC%C3%A2ncias-de-barrar-o-maior-afluente-do-amazonas-3967>
- Tavares, M., Fariello, D. (2013) Aneel autoriza mudança na hidrelétrica de Santo Antônio. *O Globo* 02 de julho de 2013. <http://oglobo.globo.com/economia/aneel-autoriza-mudanca-na-hidreletrica-de-santo-antonio-8894944?service=print>

- TERI (The Energy and Resources Institute). (2012) Assessing the Impact of the Clean Development Mechanism on Sustainable Development and Technology Transfer. TERI, New Delhi, Índia. 148 p. Disponível em: http://www.cdmpolicydialogue.org/research/1030_impact_sdm.pdf
- Tewari, R. (2012) Mapping of Criteria set by DNAs to Assess Sustainable Development Benefits of CDM Projects. CDM Policy Dialogue, The Energy and Resources Institute (TERI), New Delhi, Índia. 34 p. http://www.cdmpolicydialogue.org/research/1030_mapping.pdf
- UNEP (United Nations Environment Programme) Risø Centre. (2013) Risoe CDM/JI Pipeline Analysis and Database. UNEP Risø Centre, Risø, Dinamarca. <http://www.cdmpipeline.org/>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (1997) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Document FCCC/CP/1997/7/Add1 UNFCCC, Bonn, Alemanha. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2011) Benefits of the Clean Development Mechanisms 2011. UNFCCC, Bonn, Germany, 52 pp. Available at: http://cdm.unfccc.int/about/dev_ben/ABC_2011.pdf
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2012a) Benefits of the Clean Development Mechanisms 2012. UNFCCC, Bonn, Alemanha, 102 p. Disponível em: http://cdm.unfccc.int/about/dev_ben/ABC_2012.pdf
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2012b) Synthesis Report of the call for input on the CDM Policy Dialogue. UNFCCC, Bonn, Alemanha, 28 p. Disponível em: http://www.cdmpolicydialogue.org/public_input/SYNTHESIS%20REPORT.pdf
- Van de Vate, J.F. (1995) The IAEA investigations into studies on comparative assessment of FENCH emissions of GHGs of different energy sources: An update. Assessment of Greenhouse Gas Emission from the Full Energy Chain for Nuclear Power and Other Energy Sources. IAEA, Vienna. 26-28 September 1995. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Áustria. Paginação irregular.
- Vera-Diaz, M.C., Reid, J., Soares-Filho, B., Kaufmann, R., Fleck, L. (2007) Effects of Energy and Transportation Projects on Soybean Expansion in the Madeira River Basin. CSF Series number 7. Conservation Strategy Fund, Lagoa Santa, Minas Gerais. 26 p. <http://conservation-strategy.org/en/publication/effects-energy-and-transportation-projects-soybean-expansion-madeira-river-basin>
- Walker, I., Miyai, R., de Melo, M.D.A. (1999) Observations on aquatic macrophyte dynamics in the reservoir of the Balbina hydroelectric power plant, Amazonas state, Brazil. *Acta Amazonica* 29: 243-265.

WCD (World Commission on Dams). (2000) Dams and Development – A New Framework for Decision Making – The Report of World Commission on Dams. WCD & Earthscan, London, Reino Unido. 404 p.
http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/world_commission_on_dams_final_report.pdf

Wheeler, B. (2012) Follow me down the Tennessee: Alstom ships first gas turbine from Chattanooga. Power Engineering. 01 de julho de 2012. <http://www.power-eng.com/articles/print/volume-116/issue-7/features/follow-me-down-the-tennessee-alstom-ships-first-gas-turbine-from-chattanooga.html>

Yan, K. (2013) The global CDM hydro hall of shame. International Rivers, Berkeley, Califórnia, E.U.A. <http://www.internationalrivers.org/resources/hydro-cdm-hall-of-shame-7465>

Legenda da Figura

Fig. 1. Locais mencionados no texto.

Tabela 1: Emissões a partir de desmatamento

Barragem	Biomassa peso seco. (t/ha)	Carbono (t/ha)	Área (ha)	Estoque carbono (t)	Referência biomassa	Referência área
Floresta ombrófila aluvial (Fal)						
Árvores	364,7	182,3	9.077,0	1.654.730,0	(a)	(b)
Serapilheira	15,0	7,5	9.077,0	68.168,0	(c)	(b)
Formações pioneiras (<i>várzea</i>) (Fpv)	18,0	9,0	1.371,7	12.345,0	(d)	(b)
Pasto	1,5	0,8	1.698,7	1.274,0	(e)	(b)
Ocupação humana ribeirinha, áreas urbanas e desmatamento	5,0	2,5	107,6	269,0	(f)	(g)
Desmatamento estimulado no entorno da barragem			Não incluído			
Total para a barragem			21.332	1.736.786		
CO ₂ e (h)				6.368.215		
Linha de transmissão						
Floresta cortada para a linha de transmissão	259,0	129,5	531,0	68.765,0	(i)	(j)
CO ₂ e (h)				252.137,0		

(a) FURNAS et al., 2005, Tomo B, Vol. 3, p. IV-522.

(b) FURNAS et al., 2005, Tomo B, Vol. 3, p. IV-267.

(c) FURNAS et al., 2005, Tomo B, Vol. 7, Anexo II, p. 4.4.

(d) Schöngart et al., 2010.

(e) Fearnside, 1989b, p. 45: média em dois pastos em Ouro Preto d'Oeste, Rondônia para novembro, o mês em que ocorreu o

enchimento de Santo Antônio.

(f) FURNAS et al., 2005, Tomo B, Vol. 7, Anexo II, p. 4.12.

(g) biomassa para ocupação humana ribeirinha, zonas urbanas e o desmatamento é uma suposição.

(h) presume que todo o carbono é liberado em forma de CO₂. Conversão de carbono em CO₂e é feito multiplicando pelo peso molecular de CO₂ (44), dividindo pelo peso atômico de carbono (12) e multiplicando pelo GWP de CO₂ (1 por definição).

(i) Fearnside et al., 2009 para florestas de Rondônia.

(j) Bragança, 2012.

Tabela 2: Emissões da construção da barragem de Santo Antônio e da linha de transmissão

Categoria	Item	Nº de Itens	Quantidade por item	Total quantidade	Unidades	Emissão por unidade (t de CO ₂ e)	Emissão total (t de CO ₂ e)	Referência quantidade	Referência Emissão
Aço									
	Vergalhões reforçados			167.837	t			(a)	
	Turbinas	44	899,36	39.572	t			(a)	
	Geradores	44	234,53	10.319	t			(a)	
	Comportas do vertedouro	21	234,53	4.925	t			(b)	
	Outros itens de aço			2.500	t			(b)	
	Aço total			225.153	t	2.200	495.336		(c)
Concreto									
	Concreto convencional			3.311.150	t			(a)	
	Concreto rolo-comprimido			408.000	t			(a)	
	Total de concreto			3.719.150	t				
	Areia e cascalho em concreto			2.769.688	t	0,009	25.758	(d)	(e)
Cimento									
				949.462	t	1,004	953.545	(a)	(e)
Escavação e preenchimento									
	Escavação comum			74.364.110	m ³			(a)	(d, f)
	Rocha acima da água			21.554.760	m ³			(a)	(d, f)
	Rocha abaixo da água			400.000	m ³			(a)	(d, f)
	Preenchimento de terra			6.164.780	m ³			(a)	(d, f)
	Preenchimento de rocha			5.852.870	m ³			(a)	(d, f)
	Rip-rap			1.534.566	m ³			(a)	(d, f)

Total de preenchimento e escavação	109.871.086 m ³	0,0006	68.197	(f)
Subtotal de barragem			1.542.836	
Linha de transmissão				
Aço	52.000 t	2,200	114.400	(g) (c)
Alumínio	63.000 t	4,250	267.750	(g) (h)
Total da linha de transmissão			382.150	
Fração da linha de transmissão atribuída à Santo Antônio	0,5			
Subtotal da linha de transmissão atribuído à Santo Antônio			191.075	
Total atribuído à Santo Antônio			1.733.911	

(a) FURNAS & CNO, 2008.

(b) baseado em Belo Monte (Fearnside, 2009).

(c) Van Vate, 1995.

(d) concreto menos cimento.

(e) Marheineke, s/d [1996].

(f) As emissões para "terra transportada", aplicadas a todas as escavações e operações de preenchimento.

(g) Moreira, 2013.

(h) ABAL, 2011, p. 38.

Tabela 3: Estimativa das emissões de Santo Antônio (reservatório em 70,5 m + a jusante) em comparação com as emissões da linha de base

		Emissões da linha de base (t de CO ₂ e) (a)	Energia a ser gerada (MWh)	Emissão estimada de Sto. Antônio			
				CH ₄ (t/ano)	GWP = 25 (t de CO ₂ e)	GWP = 34 (t de CO ₂ e)	GWP = 86 (t de CO ₂ e)
Emissões de CO ₂ da construção da barragem (Tabela 2)					1.542.836	1.542.836	1.542.836
Emissões de CO ₂ do desmatamento para o reservatório (Tabela 2)					6.368.215	6.368.215	6.368.215
Emissões de CO ₂ da construção da linha de transmissão atribuídas à Santo Antônio (Tabela 2)					191.075	191.075	191.075
Emissões de CO ₂ do desmatamento para a linha de transmissão (Tabela 1)					252.137	252.137	252.137
Emissões de gás CO ₂ da construção da usina		2.157,8	(b)				
0	2012	518.205	1.893.741	15.911	397.782	540.984	1.368.371
1	2013	2.720.189	9.940.726	15.911	397.782	540.984	1.368.371
2	2014	4.953.586	18.102.507	15.911	397.782	540.984	1.368.371
3	2015	5.830.126	21.305.757	15.911	397.782	540.984	1.368.371
4	2016	5.846.099	21.364.129	15.911	397.782	540.984	1.368.371
5	2017	5.830.126	21.305.757	15.911	397.782	540.984	1.368.371
6	2018	5.830.126	21.305.757	15.911	397.782	540.984	1.368.371

7	2019	5.830.126	21.305.757	15.911	397.782	540.984	1.368.371
8	2020	5.846.099	21.364.129	15.911	397.782	540.984	1.368.371
9	2021	5.830.126	21.305.757	15.911	397.782	540.984	1.368.371
10	2022	2.429.219	8.877.398	15.911	397.782	540.984	1.368.371
	Total	51.466.185	188.079.300	175.024	12.729.868	14.305.086	23.406.345
	Perda em transmissão até São Paulo (c)	10.293.237	(d) 37.615.860				
	Energia transferida até São Paulo	41.172.948	150.463.440				
	Emissão por MWh entregue ao São Paulo (t CO ₂ e/MWh)	0,27		0,08	0,10		0,16

(a) Emissões de linha de base (Santo Antônio Energia, S.A., 2012, p. 35) baseiam-se no fator de emissões de margem combinada de 0,31, que é 50% do fator de emissões operacionais de margem da rede (0,4796) e 50% do fator de emissões de construção de margem da rede (0,1404) (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 34).

(b) Com base em turbinas a gás Alstom GT24 a 230-t, considerado o estado-da-arte; Esta turbina de 700 MW de capacidade opera com um fator de potência de 60% (Wheeler, 2012). Isto forneceria um total de 62.362.000 MWh durante um período de 10 anos, e 4,1 destas turbinas supriria a eletricidade que a Santo Antônio vai entregar para São Paulo.

(c) Pressupõe perda de transmissão de 20%, que é a média para perdas brasileiras (Rey, 2012). Isto é uma percentagem conservadora para uma linha desta extensão.

(d) Apesar de centrais a gás serem construídas onde a eletricidade é usada, evitando assim a perda de transmissão, a quantidade de eletricidade usada para o cálculo das emissões da linha de base no PDD é baseada na energia entregue à rede em um ponto localizado a 5 km da hidrelétrica de Santo Antônio.

Tabela 4: Cálculo das emissões de Santo Antônio (apenas do reservatório; nível da água =70,5 m) em comparação com as emissões da linha de base

	Emissões de linha de base (t CO ₂ e) (a)	Energia a ser gerada (MWh)	Emissão estimada de Sto. Antônio				
			CH ₄ (t/ano)	GWP = 25 (t de CO ₂ e)	GWP = 34 (t de CO ₂ e)	GWP = 86 (t de CO ₂ e)	
Emissões de CO ₂ da construção da barragem (Tabela 2)				1.542.836	1.542.836	1.542.836	
Emissões de CO ₂ do desmatamento para o reservatório (Tabela 2)				6.368.215	6.368.215	6.368.215	
Emissões de CO ₂ da construção da linha transmissão atribuídas à Santo Antônio (Tabela 2)				191.075	191.075	191.075	
Emissões de CO ₂ do desmatamento para a linha de transmissão (Tabela 1)				252.137	252.137	252.137	
Emissões de gásde CO ₂ da construção da usina	2.157,8	(b)					
0	2012	518.205	1.893.741	9.816	245.409	333.756	844.207
1	2013	2.720.189	9.940.726	9.816	245.409	333.756	844.207
2	2014	4.953.586	18.102.507	9.816	245.409	333.756	844.207
3	2015	5.830.126	21.305.757	9.816	245.409	333.756	844.207
4	2016	5.846.099	21.364.129	9.816	245.409	333.756	844.207
5	2017	5.830.126	21.305.757	9.816	245.409	333.756	844.207

6	2018	5.830.126	21.305.757	9.816	245.409	333.756	844.207
7	2019	5.830.126	21.305.757	9.816	245.409	333.756	844.207
8	2020	5.846.099	21.364.129	9.816	245.409	333.756	844.207
9	2021	5.830.126	21.305.757	9.816	245.409	333.756	844.207
10	2022	2.429.219	8.877.398	9.816	245.409	333.756	844.207
	Total	51.466.185	188.079.300	107.980	11.053.763	12.025.583	17.640.543
	Perda em transmissão para São Paulo (c)	10.293.237 (d)	37.615.860				
	Energia transferida para São Paulo	41.172.948	150.463.440				
	Emissão por MWh entregue a São Paulo (t CO ₂ e/MWh)	0,27		0,07	0,08	0,12	

(a) Emissões de linha de base (Santo Antônio Energia, S.A., 2012, p. 35) baseiam-se o fator de emissões de margem combinada de 0,31, que é 50% do fator de emissões operacionais de margem da rede (0,4796) e 50% do fator de emissões de construção de margem da rede (0,1404) (Santo Antônio Energia S.A., 2012, p. 34).

(b) Com base em turbinas a gás Alstom GT24 a 230-t, considerado o estado-da-arte; Esta turbina de 700 MW de capacidade opera com um fator de potência de 60% (Wheeler, 2012). Isto forneceria um total de 62.362.000 MWh durante um período de 10 anos, e 4,1 destas turbinas supriria a eletricidade que Santo Antônio vai entregar para São Paulo.

(c) Pressupõe perda de transmissão de 20%, que é a média para perdas brasileiras (Rey, 2012). Isto é conservadora para uma linha desta extensão.

(d) Apesar de centrais a gás serem construídas onde a eletricidade é usada, evitando assim a perda na transmissão, a quantidade de eletricidade usada para o cálculo das emissões da linha de base no PDD é baseada na energia entregue à rede em um ponto a 5 km da hidrelétrica de Santo Antônio.

Tabela 5: Resumo das emissões estimadas de Santo Antônio em comparação com as emissões da linha de base

	Emissão estimada			Fonte
	GWP = 25 (t CO ₂ e)	GWP = 34 (t CO ₂ e)	GWP = 86 (t CO ₂ e)	
Emissões de CO ₂ da construção da barragem	1.542.836	1.542.836	1.542.836	Tabelas 1 e 3
Emissões de CO ₂ do desmatamento para o reservatório	6.368.215	6.368.215	6.368.215	Tabelas 1 e 3
Emissões de CO ₂ da construção da linha de transmissão ^a	191.075	191.075	191.075	Tabelas 1 e 3
Emissões de CO ₂ do desmatamento da linha de transmissão	252.137	252.137	252.137	Tabelas 1 e 3
Emissões de metano barragem ^b	12.729.868	14.305.086	23.406.345	Tabela 3
Total do projeto de Santo Antônio	21.084.131	22.659.349	31.760.608	Tabela 3
Construção de base de gás	2.158	2.158	2.158	Tabela 3
Operação de base de gás	51.464.027	51.464.027	51.464.027	Tabela 3
Total de gás da linha de base	51.466.185	51.466.185	51.466.185	Tabela 3
Emissão de Santo Antônio por MWh (t CO ₂ -e) ^c	0,08	0,10	0,16	Tabela 3
Emissão de gás de base por MWh (t CO ₂ -e)	0,27	0,27	0,27	Tabela 3

^a Parte atribuída à Santo Antônio apenas.

^b Emissão a montante+ a jusante, total dos 10 anos de projeto.

^c Emissão por MWh entregue a São Paulo.

