

Determinação de Benefícios e Impactos Ambientais Relevantes Causados pela Hidroelétrica Balbina na Amazônia

Douglas Wittmann
Silvia H. Bonilla



Maio de 2009



2nd
INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"



O PROBLEMA

Enquanto o Brasil explora menos de 30% de seu potencial hidrológico para geração de eletricidade (MME, 2007), o sistema de geração hidroelétrica opera próximo ao limite da capacidade (CNI, 2007)

Em paralelo, mais de uma dezena de projetos, somando cerca de 2.500 MW (megawatts), encontram-se entravados, alguns a cerca de 20 anos, sem gerar eletricidade, devido a questões judiciais e ambientais (OESP, 2008)

Existe incerteza em termos de novos investimentos, e polêmica quanto a benefícios e perdas ambientais (OESP, 2008), este o ponto central



SITUAÇÃO

80% da geração elétrica (hidro, termo e nuclear) é proveniente de hidroenergia (MME, 2007).

O atual saldo positivo entre oferta e demanda pode cruzar o ponto de equilíbrio a partir de 2011, a um crescimento do PIB de 4,0% ao ano no período (CNI, 2007).

A oferta interna de energia *per capita* é baixa, quando comparada a outros países.

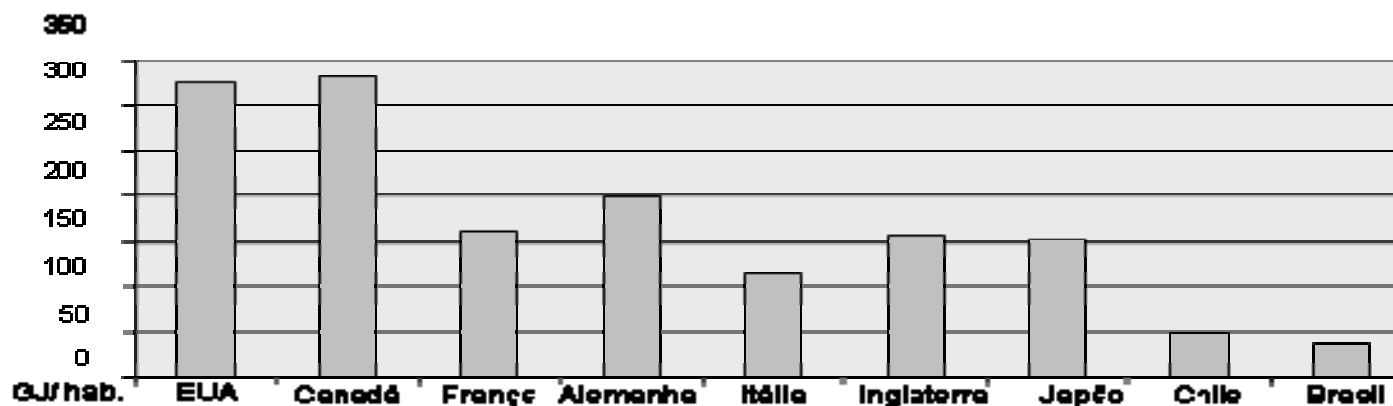


Fig. 1: Gráfico da oferta interna de energia per capita (Giga Joule/ habitante), de vários países, em 1990 (Fonte: elaboração própria. Dados: A. Kamimura - IEE USP)



OBJETIVO

Contabilizar os principais aspectos sociais, econômicos e ambientais, apontando pontos relevantes que possam ser utilizados por pesquisadores, ambientalistas e tomadores de decisão, em suas avaliações e decisões.

Metas:

- A sustentabilidade
- Os principais benefícios
- Os principais danos
- Analogia com outros sistemas



JUSTIFICATIVA

Além dos aspectos sócio-técnico-econômicos referentes à expansão do sistema hidroelétrico, existem outros aspectos, relativos tanto a prejuízos como a ganhos, e de natureza ambiental, a serem considerados.

O crescimento do sistema hidroelétrico provoca uma maior pressão ambiental a ecossistemas naturais. O aumento da infra-estrutura tem como consequência uma maior carga ambiental, não somente observada diretamente (relacionada a impactos como alagamento de áreas e emissão de gases de efeito estufa), mas também decorrente da extração de recursos naturais na implantação e operação da hidroelétrica.

Um aspecto importante a ser considerado é o da Sustentabilidade Ambiental no sentido de avaliar a disponibilidade e o uso eficiente de recursos, tanto renováveis como não renováveis, assim como estudar os fluxos de energia da região.



METODOLOGIA: OBJETO

É estudada a UHE (usina hidroelétrica) Balbina, apontada por ambientalistas e pela classe científica, como possivelmente o pior exemplo, no Brasil, em termos de resultados ambientais (A pior usina brasileira, na avaliação de Luiz Pinguelli Rosa).

Selecionada:

- primeiro por ser considerada o pior exemplo em termos de resultados ambientais;
- segundo porque a região norte do Brasil é a que mais revela potencial a ser explorado



METODOLOGIA: FERRAMENTA

Adota-se a contabilidade em energia (ODUM, 1996). Existe um requisito lógico: a avaliação ambiental, além de complexa, é multimétrica.

A avaliação por meio de energia permite transformar todas as variáveis em mesma base de unidade comum (o joule de energia solar, sej) a fim de possibilitar a contabilização, tarefa não passível de sucesso por meio de outras metodologias conhecidas.

A avaliação ambiental com base na contabilidade em energia considera a taxa de exploração de reservas naturais, o uso eficiente dessas reservas e a capacidade de suporte do meio ambiente (ODUM, 1996).

Da análise em energia resultam indicadores que refletem tanto a contribuição do sistema econômico como a do meio ambiente (ODUM, 1996; BROWN & ULGIATI, 2002).



FUNDAMENTO TEÓRICO

Energia

Energia (Y) é a quantidade de energia necessária, de forma direta ou indireta, para obtenção de um produto ou serviço em um determinado sistema, setor ou processo

(energia incorporada, *embody energy* = energia).



FUNDAMENTO TEÓRICO...

Transformidade

A Transformidade (Tr) é a chave do processo. É definida como a quantidade de energia solar empregada, direta e ou indiretamente, na obtenção de 1 joule de um determinado produto ou serviço. Sua unidade é expressa em sej/J

(J de energia solar por J de energia de outro tipo).



FUNDAMENTO TEÓRICO...

Fontes de recursos

As fontes de recursos são divididas em três classes:

- renováveis (R),
- não renováveis (N),
- provenientes da economia (F).

Abaixo um diagrama simplificado com a representação dos fluxos de entrada R, N e F, e o fluxo de saída de um produto em energia, E.

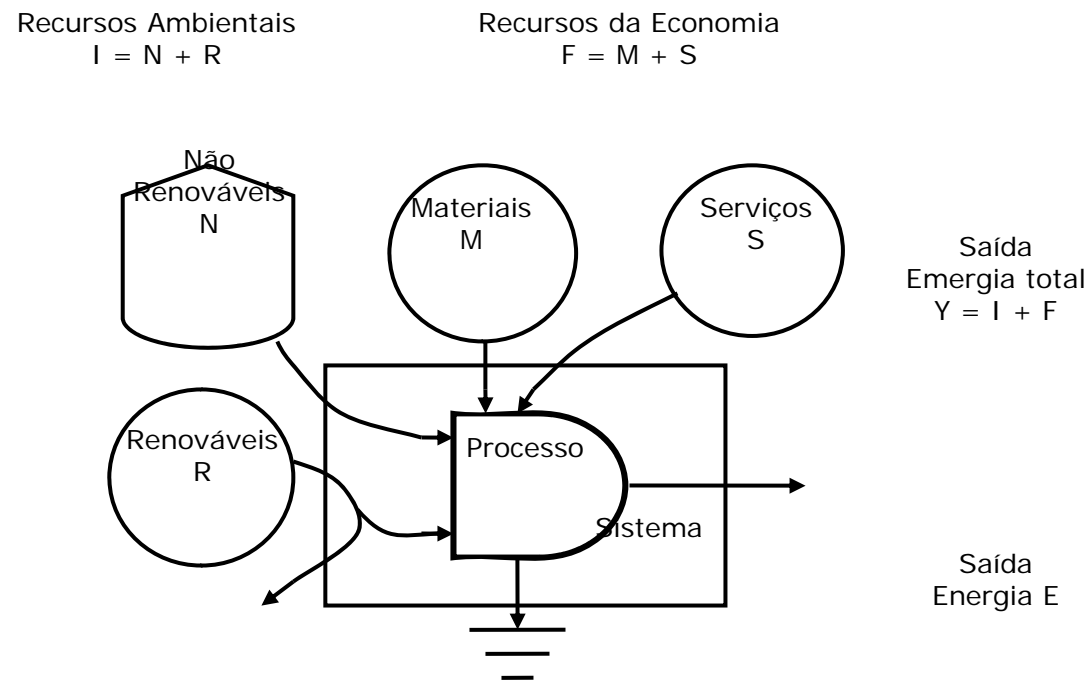


Fig. 2. Diagrama sumário representativo dos fluxos de um sistema típico. Para configuração da representação existe normalização de simbologia, disponibilizada por ODUM (1996). Fonte: elaboração própria.



FUNDAMENTO TEÓRICO...

Completando o raciocínio sobre a transformidade:

$$\text{Tr de } Y \text{ (em sej/J)} = \frac{I+F}{E} = \frac{R+N+F}{E} = \frac{R+N+M+S}{E} \quad \begin{array}{l} \text{(Todos em energia, sej)} \\ \text{(Em energia, J)} \end{array}$$



FUNDAMENTO TEÓRICO...

Contabilização

A partir dos fluxos em energia, um processo ou sistema pode ser avaliado, analisado ou monitorado por meio do cálculo de diferentes índices ou indicadores, que irão definir razões de relação entre qualidades (tipos) e quantidades, de entradas (custos) e saídas (benefícios).

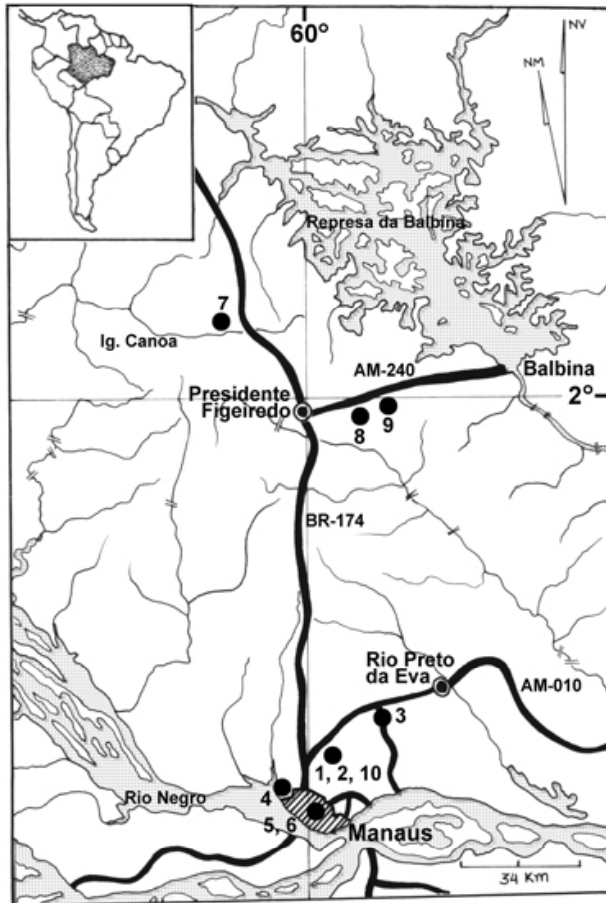
Tal avaliação ocorre por meio da contabilização ambiental em energia, que é estruturada em quatro etapas principais (GIANNETTI et al., 2007):

- (1) Descrição, investigação e delimitação do sistema;
- (2) Construção do diagrama de fluxos de energia;
- (3) Execução de Tabela com inventário dos dados;
- (4) Cálculo e análise de indicadores em energia, obtidos.



Apresentação do sistema em estudo

A UHE Balbina



Está localizada no rio Uatumã, distrito de Balbina, município de Presidente Figueiredo, estado do Amazonas, região norte do Brasil

Foi inaugurada em 1989, com custo estimado em US\$ 1,0 Bilhão.

Possui 250 MW de capacidade geradora de eletricidade, com área alagada de 2.360 km².

É criticada por seu baixo rendimento, alto custo, e ter causado grande prejuízo ambiental.

Fig. 3. Localização da UHE Balbina (Fonte: SciELO - Scientific Electronic Library)



Apresentação do sistema em estudo...

A UHE Balbina...

É citada como um erro histórico pela classe científica, devido à baixa geração em relação à área alagada (0,1 MW/km²), e pelas consequências disso.

É apontada como problemática também no que diz respeito à emissão de gases de efeito estufa (3,0 t CO₂ equivalente/MWh), considerados causadores do aquecimento global.

A liberação de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) é estimada como superior à de uma usina térmica de mesmo potencial energético.

Alexandre Kemenes, pesquisador do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) considera que os altos níveis podem ser explicados por três motivos principais:

- a grande e rasa área do reservatório;
- o não-desmatamento da área antes do alagamento (Só 8% da área da represa foi desmatada)
- e a característica climática da região amazônica, que cria extratos de diferentes temperaturas na água, com diferentes concentrações de gases (LOURENÇO, 2007; ROCHA, 2008).



Metodologia: Apresentação do sistema em estudo...

O entorno

O rio Uatumã tem sua nascente na divisa dos estados do Amazonas e de Roraima, no maciço das Guianas. É afluente da margem norte do rio Amazonas, com curso navegável de 295 km, até a usina. Drena uma área de 70.600 Km². Sua vazão apresenta médias mensais de 30 a 1.730 m³/s.

O município de Presidente Figueiredo tem população estimada em cerca de 25 mil habitantes e está situado a 107 km de Manaus. A ela é ligado por rodovia, que a liga também com Boa Vista, capital de Roraima, e de lá com a Venezuela.

A região vem se despontando para o turismo ecológico em razão da exuberância de seus recursos naturais, como selva bem preservada, águas abundantes, cavernas, cachoeiras e corredeiras, havendo razoável estrutura turística em desenvolvimento.



Resultados

A investigação do sistema e o levantamento dos seus fluxos de energia permitem inventariar os dados, resultando na tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Fluxos de energia anual na região da UHE Balbina. Observações: Itens 6; 9 e 10 = rateados por 50 anos. @ Baseline da Tr em a, b e c, original anterior a 2000; a: BROWN (1986); b: BROWN & McCLANAHAN (1996); c: LEEIA (2002). * Unidade = sej/US\$.

#	Fluxo	Tipo	Energia (J)	Tr		Energia (sej)
				(sej/J)	@	
1	Energia química da chuva	R	5,47 E17	1,5 E4	a	8,21E+21
2	Energia do sol	R	5,76 E20	1,0	a	5,76 E20
3	Energia geopotencial do rio	R	3,54 E15	2,36 E4	a	8,35 E19
4	Operação e manutenção	F	\$ 1,0 E7	3,0 E12*	c	3,0 E21
5	Aço estrutural consumido	F	4,23 E12	1,97 E7	a	8,32 E19
6	Recursos da economia	F	\$ 2,0 E7	3,0E12*	c	6,0 E19
7	Combustíveis consumidos	F	1,02 E15	5,3 E4	a	5,41 E19
8	Concreto consumido	F	1,92 E12	1,0 E7	a	1,92 E19
9	Perda de solo fértil	N	1,45 E16	6,2 E4	a	9,25 E20
10	Perda de floresta	N	1,34 E16	3,2 E4	a	4,29 E20
11	Perda de produção p/ inundação	N	1,98 E17	7,58 E2	a	1,50 E20
12	Perda por sedimentação	N	1,02 E13	6,3 E4	b	6.46 E17
13	Produção de eletricidade	Y	6,31E+15	1,74 E5	c	1,10 E21
14	Produção aquática	Y	4,87 E16	4,4 E2	a	2,14 E19

(Memorial de cálculos pode ser fornecido, se solicitado)



Resultados...

Verifica-se com os dados obtidos, que os valores mais elevados dos recursos contabilizados são de origem renovável, sendo a distribuição da origem dos recursos representada por:

R (recursos renováveis) = 65,3 %

N (recursos não renováveis) = 11 %

F (recursos da economia) = 23,7 %

Os recursos "R" (renováveis) estão representados por:

- perda de floresta,
- perda de sedimentos,
- energia do rio,
- energia solar,
- e o maior deles, a energia da chuva.



Discussão – Cálculo de indicadores

A partir dos dados obtidos da Tabela 1, calcula-se uma série de indicadores para o sistema Balbina:

Tabela 2: Indicadores, em energia, das características do sistema (valores calculados a partir da Tabela 1).

Sigla	Indicador	Equação	Valor
EIR	Investimento em Energia	$F / (N + R)$	0,31
EYR	Rendimento em Energia	$(R + N + F) / F$	4,22
ELR	Carga Ambiental	$(N + F) / R$	0,53
ESI	Índice de Sustentabilidade	EYR / ELR	7,96
%R	Percentual de Renováveis	$R \times 100 / R+N+F$	65,3 %
Tr	Transformidade	Ver Eq. 2	2,04 E5



Discussão – Análise dos indicadores

EIR - Indicador de Investimento em Energia (0,31): exprime a relação entre recursos pagos (vindos da economia) e não pagos (vindos do meio ambiente). O ideal seria a obtenção de valores mais baixos, (UHE Tucuruí = 0,05), observa-se de moderada a baixa eficiência.

EYR - Indicador de Rendimento em Energia (4,22): reflete a relação entre o valor em energia do produto e os recursos pagos. De acordo com Ulgiati e Brown (ULGIATI & BROWN, 2002), recursos primários (matérias primas) têm um EYR < 5; e recursos energéticos secundários (no caso, eletricidade), um valor próximo a este, para maior. No caso de Balbina, o resultado mostra bom aproveitamento dos recursos da economia.

ELR - Indicador de Carga Ambiental (0,53): exprime a carga que o sistema impõe ao meio ambiente para efeito de mitigação dos impactos. valores representados por $3 < ELR < 10$; indicam uma carga ambiental moderada. Aqui, a razão de moderada carga ambiental é devida à dispersão na grande área de influência.

ESI - Índice de Sustentabilidade (7,96): representa a relação entre o rendimento em energia e a carga ambiental. O valor obtido indica sustentabilidade para o sistema, inclusive na projeção de longo prazo.

%R - Percentual de energia renovável (65,3%): exprime a relação entre o uso dos recursos renováveis e os não renováveis. O valor obtido indica excelente relação de uso de recursos renováveis, quando comparada a plantas térmicas (gás = 8%, carvão = 9% e óleo = 7% (BROWN, M. T.; ULGIATI, S., 2002))

Tr - Transformidade (2,04 E5): representa a relação entre a energia empregada no sistema e a energia obtida na forma de produto. O valor obtido é maior do que o verificado (x E4) em outras UHE's. A razão do alto valor de Tr é resultante da baixa relação de energia obtida em forma de produto, frente à energia dos recursos empregados.



Discussão - Comparativos

Para estabelecer uma conclusão mais ampla sobre a representatividade dos resultados obtidos, a seguir é levantado um comparativo, analisando os dados da UHE Balbina frente aos de outras opções de produção de energia elétrica.

Tabela 3: Comparativo da UHE Balbina, com a UHE Tucuruí, também na Amazônia, e também com dados da ENEL - Ente Nazionale per l'Energia eLettrica^(), referentes a processos hidráulicos (UHE), eólicos e térmicos (UTE) a gás, óleo e carvão, na produção de energia elétrica na Itália. (*): BROWN, M. T.; ULGIATI, S., 2002.*

		UHE			Eólica	UTE - ENEL		
		Balbina	Tucuruí	ENEL	ENEL	Gás	Óleo	Carvão
Tr	Transformidade	2,04E5	6,90E4	6,23E4	6,21E4	1,7E5	2,0E5	1,71E5
EYR	Rendimento em Energia	4,22	20,86	7,65	7,47	6,60	4,51	5,48
ELR	Carga Ambiental	0,53	0,06	0,45	0,15	11,78	14,24	10,37
%R	Percentual de Renováveis	65,3%	93%	68,9%	86,7%	7,8%	6,6%	8,8%
ESI	Índice de Sustentabilidade	7,96	347	16,90	48,3	0,56	0,30	0,53



Conclusão

Da tabela 3, permite-se extrair que:

TR: Balbina apresenta, em relação a todas as opções listadas, a pior relação de energia obtida frente ao total dos recursos empregados.

EYR: Balbina apresenta, em relação a todas as opções listadas, o melhor aproveitamento dos recursos vindos da economia.

ELR: Balbina, as demais UHE's e a Eólica, denotam carga ambiental moderada quando em função do estresse causado (no caso de Balbina e de Tucuruí sabe-se que devido à dispersão na grande área de influência que ocupam). A carga ambiental verificada nas UTE's é bastante superior, para elas indicando insuficiência de recursos renováveis.

%R: Balbina, as demais UHE's e a Eólica, apresentam excelente relação de uso dos recursos renováveis frente aos não renováveis; contrariamente às opções térmicas.

ESI: Balbina, as demais UHE's e a Eólica, apresentam favorável sustentabilidade ambiental, inclusive na projeção de longo prazo; o que pode não ser o caso das opções térmicas.



Conclusão...

Liberação de gases

Balbina é apontada (FEARNSIDE, 1990), como produtora de alta liberação de gases (CO₂; CH₄) causadores do efeito estufa, em razão principalmente de três componentes:

- o primeiro a grande e rasa área alagada;
- o segundo a indevida preparação da área para o alagamento sem a necessária retirada da vegetação;
- e o terceiro a natural condição climática da região amazônica.



Os gases têm origem na eutrofização da vegetação submersa, ocorrendo a liberação quando da passagem pelas turbinas, devido à abrupta queda de pressão. Ainda que os valores não sejam lineares, reduzindo-se em períodos entre 20 a 30 anos; o fato é um importante alerta, posto que cerca de 70% do potencial hidroelétrico a ser explorado no país está localizado na região norte, área como já colocado, de alta complexidade ambiental. A seguir a tabela 4 apresenta um comparativo de valores:

Tabela 4: Comparativo da emissão de CO₂ equivalente da UHE Balbina, com dados da ENEL (BROWN, M. T.; ULGIATI, S., 2002) referentes a geração hidráulica, eólica e térmica na Itália.

CO ₂ liberado/eletricidade produzida	UHE		Eólica	UTE		
	Balbina	ENEL	ENEL	Gás	Óleo	Carvão
(g/kWh)	3,0E3	1,2E1	3,6E1	7,6E2	9,2E2	1,1E3

Da tabela 4 extrai-se que a liberação de gases causadores do efeito estufa da UHE Balbina é comparativamente superior a todas as citadas opções.



Conclusão...

Aspecto socioeconômico

Hidroelétricas são instáveis quanto à capacidade de produção por dependerem da variação do ciclo geológico (meteorologia) para a regulação de seus reservatórios, quesito que extrapola o benefício da hidro-geração, cumprindo também benefício ao abastecimento de água às populações.

Nesse tocante a UHE Balbina cumpre relevante papel social, dada a regulação obtida para o fluxo altamente instável do rio Uatumã (mínima = 1,7% da máxima).

Há controvérsia, ODUM (1996), no entanto, entende que a estabilização impede o espalhamento dos sedimentos.

Há de se citar que sócio-economicamente, o município de Presidente Figueiredo apresentou melhoria no IDH - Índice de Desenvolvimento Humano, do início da década de 1990 (0,692 em 1991), época do início de atividade da usina (1989), até o ano 2000 (0,741), em percentual acima da média do país no mesmo período (0,696 para 0,699).

Não há dados suficientes para definir se a variação é consequência única da UHE.



Conclusão...

Extraí-se deste trabalho que a UHE Balbina apresenta favorável sustentabilidade ambiental.

Há sinais aparentes, mas sobram dúvidas quanto ao benéfico papel sócio-econômico.

O mais representativo dano ambiental é o representado pela emissão de gases causadores do efeito estufa, CO₂ e CH₄, devido basicamente à extensa e rasa área alagada, bem como à sua imprópria preparação para o alagamento; em combinação com a natural e complexa condição climática da Amazônia.

Se em lugar da UHE Balbina, tivesse-se optado por uma UTE, a liberação, ao menos nos 20 a 30 anos iniciais, teria sido consideravelmente menor.



Considerações finais

- Não é lógico, todavia, ser contrário às hidroelétricas. O que se deve ser contrário é quanto à forma como muitas UHE's são criticamente implantadas, onde neste estudo a UHE Balbina se caracteriza como exemplo.
- Agradecimento à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por aporte financeiro em forma de bolsa de estudo. (Portaria 129/ 2006).



Referências

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética., 2007. Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006. Relatório final / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, EPE.
- BROWN, M. T., 1986. Energy analysis of the hydroelectric dam near Tucuruí. P. 82-91 de Energy Systems Overview of the Amazon Basin., editado por Howard T. Odum, Mark T. Brown e Robert A. Christianson. Relatório para a Fundação Cousteau. Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville.
- BROWN, M. T.; McCLANAHAN, T. R., 1996. Energy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. Ecological Modelling 91, p. 105-130.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S., 2002. Energy evaluations and environmental loading of electricity production systems. Journal of Cleaner Production 10, p. 321-334.
- FEARNSIDE, P. M., 1990. Balbina, lições trágicas na Amazônia. Ciência Hoje 11 (64), p. 34-40.
- GIANNETTI, B. F.; NEIS, A. M.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B., 2007. Decisões e Sustentabilidade Ambiental, cap. 19, p. 315-336. Qualidade e Competência nas decisões. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto, coordenador. São Paulo: Editora Blucher.
- GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D., 2003. Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. São Paulo, EDUSP.
- LEEIA – Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada, 2002. *Tabela de transformidades*. Arquivo eletrônico: Tabela – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp. Campinas. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/index.htm>>. Acesso em: 08.05.2008.
- LOURENÇO, L., 2007. Agência Brasil de Notícias. Disponível em: <<http://www.agenciabrasil.gov.br/noticias/2007/10/19/materia.2007-10-19.7107889370/view>>. Acesso em 14.11.2008.
- ODUM, H. T., 1996. Environmental Accounting – EMERGY and Environmental Decision Making. New York, Ed. John Wiley & Sons Ltd.
- OESP, Redação, 2008. Jornal O Estado de São Paulo, edição 13.07.2008, p. B7.
- ULGIATI, S.; BROWN, M. T., 2002. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions, the case of electricity production. Journal of Cleaner Production 10, p 335-348.
- ROCHA, D., 2008. Estadão on Line. Disponível em: <<http://www.ambienteemfoco.com.br/?p=4640>>. Acesso em 17.11.2008
- ROSA, L. P., 2007. Geração hidrelétrica, termelétrica e nuclear. Estudos Avançados 21 (59).
- WITTMANN, D.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANETTI, B. F., 2008. Em pauta: “Energy Analysis of a Hydroelectric Dam near Tucuruí”, duas décadas depois. XV Simpósio de Engenharia de Produção, UNESP, Bauru.