



# INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

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

## Determination of Relevant Environmental Impacts and Benefits Caused by Balbina Hydropower at Amazon

D. Wittmann <sup>a</sup>, S. H. Bonilla <sup>b</sup>

a. Universidade Paulista, São Paulo, [dwit@terra.com.br](mailto:dwit@terra.com.br)

b. Universidade Paulista, São Paulo, [bonilla@unip.br](mailto:bonilla@unip.br)

---

### Resumo

Enquanto o Brasil explora menos de 30% de seu potencial hidrológico para geração de eletricidade, o sistema de geração hidroelétrica opera próximo ao limite da capacidade. Em paralelo, mais de uma dezena de projetos, somando cerca de 2.530 MW (megawatts), encontram-se entretidos, alguns a cerca de 20 anos, sem gerar eletricidade, devido a questões ambientais. Existe incerteza em termos de novos investimentos, e polêmica quanto a perdas e benefícios ambientais, este o ponto central. O presente trabalho se ocupa em determinar fatores ambientais relevantes e benefícios além da geração em si, empregando a metodologia de contabilidade em energia (Odum, 1996), a qual com base na ecologia, na termodinâmica e na análise de sistemas, é capaz de reunir numa unidade comum (joule de energia solar), valores tanto físicos, como sociais e econômicos. Para tanto é estudada a UHE (usina hidroelétrica) Balbina, na Amazônia, selecionada; primeiro por ser considerada o pior exemplo em termos de resultados ambientais; segundo por que a região norte do Brasil é a que mais revela potencial a ser explorado. É apresentado que 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, CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (metano), 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.

*Palavras-Chave: Produção de Energia hidroelétrica; Energia; Sustentabilidade Ambiental; UHE Balbina; Amazônia.*

---

### 1 Introdução

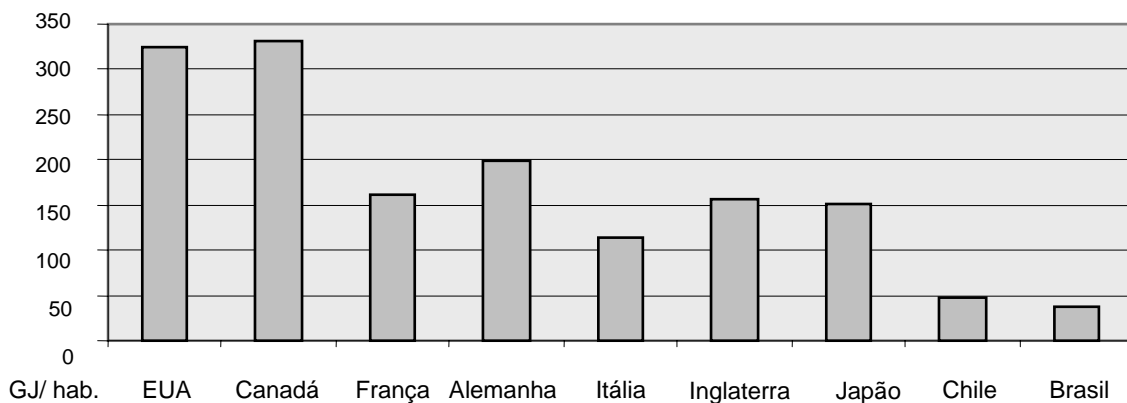
Mais de uma dezena de hidroelétricas de médio e grande porte encontram-se empacadas no território brasileiro algumas há até 20 anos sem nunca ter produzido devido a indefinições dos órgãos ambientais e decisões judiciais. Conforme dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), em Junho de 2008 esses projetos somavam 2.530 MW (megawatts) de potência instalada (OESP, 2008). A situação apontada acarreta, evidentemente, incerteza para os investidores, podendo prejudicar a expansão do setor.

As classes científica e empresarial têm levantado frente ao governo e à sociedade, o risco iminente representado pelo fato de que o setor hidroelétrico está operando muito próximo ao limite de sua capacidade de geração, e com baixa capacidade de

manobra visto questões climáticas e de incremento térmico.

No Brasil, cerca de 80% da geração elétrica (hidro, termo e nuclear) é proveniente de hidroenergia (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2007). A CNI (Confederação Nacional da Indústria) projeta que 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). Dados da EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas estimam a capacidade instalada de geração em cerca de 30% da disponibilidade total (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2007).

A oferta interna de energia *per capita* do Brasil é significativamente baixa, quando comparada a outros países (Veja Fig. 1). É evidente que isso se atrela a aspectos sócio-econômicos, contudo há de se atentar também ao fato de que a maior parte dos países estrangeiros necessita direcionar substancial parcela da energia primária à transformação em eletricidade, visto não possuírem os recursos hidrológicos no Brasil disponibilizados de forma gratuita pela natureza.



*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 - Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo).*

Fica clara a importância estratégica da definição urgente de investimentos para o setor elétrico, e para tanto, se faz necessária a eliminação das questões ambientais existentes em aberto na área de hidroeletricidade.

Além dos aspectos sócio-técnico-econômicos referentes aos benefícios da 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 entre as regiões.

O objetivo deste estudo é contabilizar esses principais aspectos, apontando pontos relevantes que possam ser utilizados por pesquisadores, ambientalistas e tomadores de decisão, em suas avaliações e decisões.

Para tanto, é aqui 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 Pingueli Rosa).

## 2 Metodologia

Adota-se a contabilidade em energia por 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).

### 2.1 Fundamento teórico

A metodologia em Energia se fundamenta na Termodinâmica, na Teoria de Sistemas e na Ecologia. Sua mais completa descrição pode ser encontrada na obra de H. T. Odum (ODUM, 1996). Alguns principais conceitos, utilizados neste estudo, são a seguir apresentados.

O ponto central da metodologia consiste em possibilitar o uso de uma única unidade comum, o joule de energia solar (*sej*), para o qual são convertidos os diversos tipos de fluxos de entrada de um sistema. Dessa forma, todas as parcelas utilizadas na obtenção de um determinado produto ou serviço podem ser somadas.

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). A equação da energia é representada como a soma dos produtos da energia ( $E_i$ ) das várias entradas (*I*) com a transformidade correspondente (Ver Eq. 1):

- $(Tr_i): Y(sej) = \sum(E_i(J) \times Tr_i(sej/J))$  (Eq. 1)

A Transformidade 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).

As fontes de recursos são divididas em três classes: renováveis (R), não renováveis (N), e provenientes da economia (F).

A seguir 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 (Ver Fig. 2).

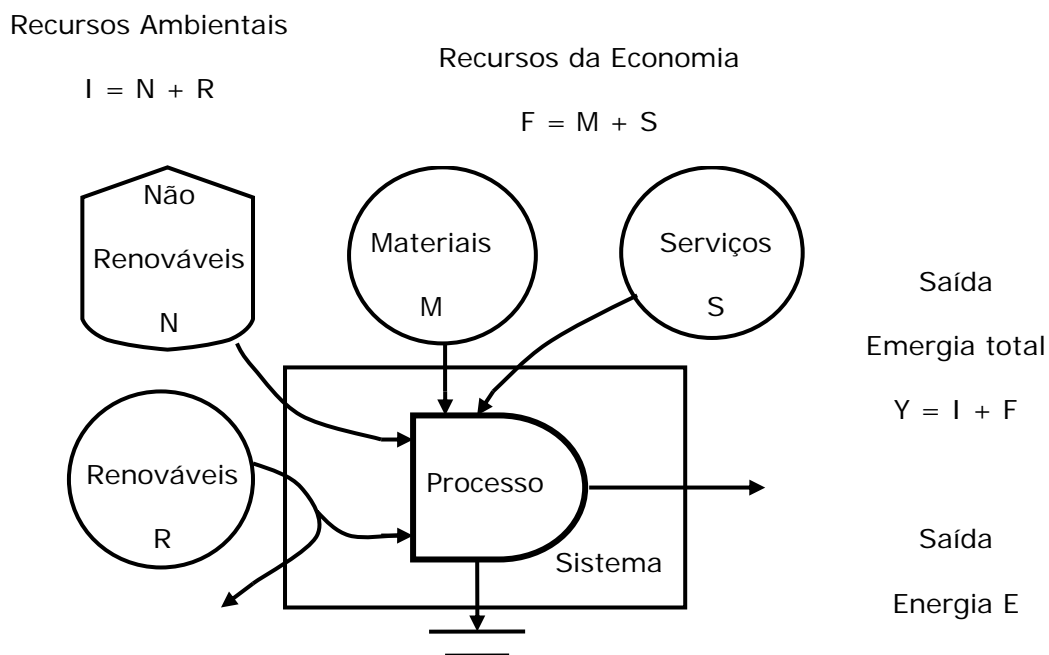


Fig. 2. Diagrama sumário representativo dos fluxos de um sistema típico. Para configuração da representação existe normalização de simbologia, disponibilizada por ODUM (1996). Fonte: elaboração própria.

O diagrama da fig.2 permite visualizar o raciocínio, já citado, de obtenção da transformidade (Ver Eq. 2):

$$\bullet \quad Tr \text{ de } Y \text{ (em sej/J)} = \frac{I+F}{E} = \frac{R+N+F}{E} = \frac{R+N+M+S}{E} \quad \begin{array}{l} \text{(Todos em energia, sej)} \\ \text{(Em energia, J)} \end{array} \quad \text{(Eq. 2)}$$

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 e investigação do sistema. Compreende delimitar o sistema, conhecer as interfaces com os ambientes físico, social e econômico, identificar área, características da região, fontes de recursos materiais, de energia, de serviços e financeiros, geração de produtos e serviços, e principais impactos. Os fluxos de entradas e saídas são quantificados (balanço de massa e energia com normalização de dados).

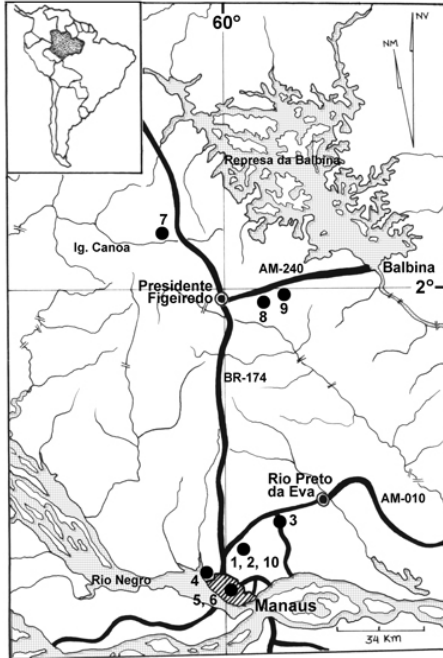
(2) Construção do diagrama de fluxos de energia. Nele símbolos específicos (vide Fig. 2) correspondendo a cada elemento e interação, possibilitam da integração das partes que o compõem.

(3) Execução da Tabela. A construção de tabela permite a organização dos dados (obtidos por mensuração, cálculo ou literatura) que resultam no inventário da energia. Cada fluxo do sistema compõe uma linha da tabela, onde sua unidade de é convertida em unidade de sej por multiplicação pelo fator adequado (transformidade (sej/J) ou energia/unidade).

(4) Cálculo e análise (interpretação) dos indicadores em emergia, obtidos.

## 2.2 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 (Ver Fig. 3). 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 km<sup>2</sup>. É criticada por seu baixo rendimento, alto custo, e ter causado grande prejuízo ambiental.



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 Km<sup>2</sup>. Sua vazão apresenta médias mensais de 30 a 1.730 m<sup>3</sup>/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.

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

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.

A UHE Balbina é citada como um erro histórico pela classe científica, devido à baixa geração em relação à área alagada (0,1 MW/km<sup>2</sup>), e pelas consequências disso. É apontada como problemática também no que diz respeito à emissão de gases de efeito estufa (3,0 t CO<sub>2</sub> equivalente/MWh), considerados causadores do aquecimento global. A liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) 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 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).

## 3 Resultados

A partir do diagrama dos fluxos de energia do sistema em estudo, o qual é um detalhamento do já apresentado no fundamento teórico (Ver Fig. 2) e que pode ser fornecido, se solicitado, são calculados os fluxos em emergia. Por meio dos fluxos de energia que atravessam o sistema, levantados no diagrama, e com amparo de memorial de cálculos que pode ser fornecido, se solicitado, é elaborada a tabela (Ver Tabela 1), que fornece o inventário da emergia do sistema, onde:

- os itens 1 a 3 representam aplicações de recursos ambientais renováveis;

- os itens 4 a 8 representam aplicações de recursos da economia;
- os itens 9 a 12 representam perdas de recursos não renováveis;
- e os itens 13 e 14 representam ganhos obtidos.

*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

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) = 11,0 %
- F (recursos da economia) = 23,7 %

A partir dos dados obtidos da Tabela 1, calcula-se uma série de indicadores para o sistema Balbina. Esses indicadores são apresentados a seguir (Ver Tabela 2):

*Tabela 2: Indicadores, em energia, das características do sistema Balbina (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

O capítulo a seguir analisa os indicadores obtidos.

## 4 Discussão

O caminho para a discussão da questão energética, relata José Goldemberg, deve englobar sua conexão com o meio ambiente e com o que se entende por desenvolvimento, com atenção às desuniformidades de cada país, suas regiões e grupos sociais. Daí é que surgem respostas técnicas e econômicas em benefício da sociedade (GOLDEMBERG & VILLANUEVA, 2003). Nesse sentido, uma breve exposição da análise dos resultados, comparativamente aos de outro sistema similar, a UHE Tucuruí, por meio de dados apurados em estudo anterior dos mesmos autores (WITTMANN et al 2008), permite discutir que o sistema apresenta:

EIR - Indicador de Investimento em Energia (0,31): Esse indicador exprime a relação entre recursos pagos (vindos da economia) e não pagos (vindos do meio ambiente). As medidas de EIR não representam apenas a energia para exploração de recursos locais, mas também o desenvolvimento da economia e o carregamento ambiental. O ideal seria a obtenção de valores mais baixos, principalmente e no mínimo, semelhantes aos de outros sistemas concorrentes. Quando comparado o valor ao de Tucuruí (0,05), observa-se menor eficiência, ainda que com favorável relação entre o sistema econômico e o meio ambiente.

EYR - Indicador de Rendimento em Energia (4,22): O indicador 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; inferior em relação a Tucuruí (20,89), no caso desta, em razão da maior participação de recursos renováveis.

ELR - Indicador de Carga Ambiental (0,53): O indicador exprime a carga que o sistema impõe ao meio ambiente para efeito de mitigação dos impactos. Ainda de acordo com Ulgiati e Brown, valores representados por  $3 < ELR < 10$ ; indicam uma carga ambiental moderada. Abaixo disso a possibilidade de uma grande área para diluição dos impactos, e acima disso a sugestão de que os insumos locais renováveis não são suficientes para o abastecimento exigido pelo processo. Tanto Balbina, como Tucuruí (0,06), denotam carga ambiental moderada quando em função do estresse causado devido à dispersão na grande área de influência que ocupam, com vantagem de diminuição de carga ambiental para Tucuruí, mas indicação para ambas de favorável sustentabilidade ambiental.

ESI - Índice de Sustentabilidade (7,96): O indicador 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%): O indicador 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)); ainda que bastante inferior à apresentada por Tucuruí (93%).

Tr - Transformidade (2,04 E5): A transformidade representa a relação entre a energia empregada no sistema e a energia obtida na forma de produto. O valor aqui obtido para o sistema Balbina é maior do que o verificado ( $\times E4$ ) em outros artigos correlatos, referentes a outras UHE's (não se encontrou trabalho similar específico a Balbina), e também maior que o da UHE Tucuruí (6,90 E4). 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.

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 (Ver Tabela 3):

*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<sup>(\*)</sup>, 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

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.

Balbina é apontada por pesquisadores como Alexandre Kemenes e Philip M. Fearnside (FEARNSIDE, 1990; LOURENÇO, 2007; ROCHA, 2008), como produtora de alta liberação de gases (CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>) causadores do efeito estufa, em razão principalmente de três componentes: o primeiro a grande 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 dados variem de uma para outra fonte, e 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 (Veja Tabela 4):



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

CO <sub>2</sub> liberado/eletricidade produzida (g/kWh)	UHE		Eólica	UTE		
	Balbina	ENEL	ENEL	Gás	Óleo	Carvão
	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 é comparativamente superior a todas as citadas opções.

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 benéfico papel social, dada a regulação obtida para o fluxo altamente instável do rio Uatumã, originalmente apresentando altíssima variação de vazão, com mínima equivalente a somente 1,7% da máxima; há, no entanto controvérsia, ODUM (1996) apresenta que a variação é benéfica no sentido de movimentar 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); há insuficiência de dados que determinem se a melhoria é consequência direta da usina, ou do próprio desenvolvimento da região.

## 5 Conclusão

Neste estudo 14 principais fatores representativos de aplicações, perdas e contribuições foram avaliados com uso de contabilidade em emergia. O cálculo da eficiência termodinâmica via indicadores em emergia apontou resultados, bem como propiciou análises e comparações. Pelo apresentado extrai-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, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, 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.

Todavia, por todo o exposto não há como 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.

Deixam-se como menção para prosseguimento de pesquisas; no caso das UHE's, as usinas sem reservatório (a fio d'água), com redução dos danos ambientais devida ao não alagamento; e no caso das UTE's, a geração *off-shore*, com a combustão ocorrendo no oceano diretamente na plataforma de extração de gás.

Agradecimento à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por aporte financeiro em forma de bolsa de estudo (Portaria 129/ 2006).

## 6 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.; GIANNETTI, B. F., 2008. Em pauta: "Energy Analysis of a Hydroelectric Dam near Tucuruí", duas décadas depois. XV Simpósio de Engenharia de Produção, UNESP, Bauru.