

USINAS HIDRELÉTRICAS E O SEU PAPEL SOCIOAMBIENTAL NO SETOR ELÉTRICO

Frederico Fabio Mauad ¹
Renato Billia de Miranda ²
Gustavo D'Almeida Scarpinella ³

Introdução

A energia sempre esteve presente na evolução humana, sendo essencial para o desenvolvimento da civilização. Entre as diversas formas de consumo de energia, a elétrica é uma das mais importantes e utilizadas no mundo. É sabido também que toda fonte de energia, ao ser consumida, gera impactos de alguma magnitude ao meio ambiente. Até as fontes tidas como limpas (hidrelétrica, eólica e solar) causam impactos de magnitudes diferentes, dependendo da escala e características contextuais adotadas.

De acordo com informações da *International Energy Agency* (IEA) apresentadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2013a), a quantidade de energia gerada no mundo em 2010 correspondeu a 20.225,3 TWh. A evolução na geração de energia, bem como a sua distribuição nas diferentes regiões do globo, são apresentadas no Quadro 1.

Conforme pode ser observado no Quadro 1, as regiões da Ásia, Oceania, América do Norte e Europa se destacam na geração de energia elétrica, representando praticamente 80% deste montante. A última coluna desta tabela mostra a participação de cada região, em porcentagem, referente ao ano de 2010.

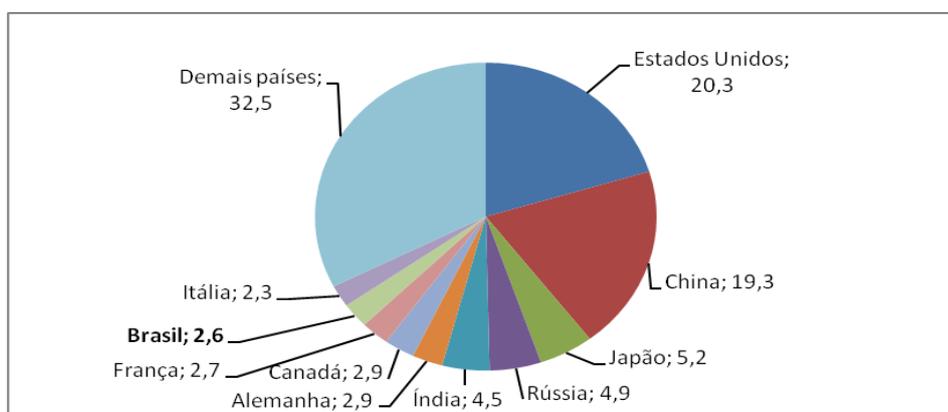
Quadro 1. Geração mundial de energia elétrica, por regiões (TWh).

	2006	2007	2008	2009	2010	Part. (%) 2010
Ásia e Oceania	6.037,5	6.568,2	6.773,3	7.073,0	7.689,3	38,0
América do Norte	4.885,2	5.009,9	4.980,1	4.784,1	4.961,4	24,5
Europa	3.548,5	3.590,0	3.620,6	3.454,4	3.610,3	17,9
Eurásia	1.377,8	1.409,6	1.429,5	1.358,9	1.423,5	7,0
América do Sul e Central	960,0	1.004,6	1.038,5	1.043,6	1.096,2	5,4
Oriente Médio	640,2	679,2	729,0	763,4	813,2	4,0
África	555,9	580,4	586,3	594,1	631,5	3,1
Mundo	18.005,1	18.842,1	19.157,5	19.071,3	20.225,3	100,0

Fonte: EPE (2013a).

Tal participação pode ser também ilustrada através do Gráfico 1, que destaca a geração de energia desta vez por países.

Gráfico 1. Principais países com relação à geração de energia elétrica em 2010 (Total de 20.225,3 TWh).



Fonte: EPE (2013a).

Como é possível observar através do Gráfico 1, o Brasil está entre os principais países geradores de energia elétrica. Porém, se observada a sua participação em âmbito global, o valor de energia gerada é expressivamente inferior a países como os Estados Unidos e China.

No entanto, o Brasil se destaca quando são apresentados os valores de geração de energia baseada em hidrelétricas (Quadro 2).

Quadro 2. Tendência da geração de energia hidrelétrica de alguns países, de 2006 a 2010 (TWh).

	2006	2007	2008	2009	2010	Part. (%) 2010
China	431,4	480,4	579,3	609,5	713,8	21,0
Brasil	345,3	370,3	369,6	389,9	403,3	11,9
Canadá	349,3	363,9	370,6	365,0	348,0	10,2
Estados Unidos	289,2	247,5	254,8	273,4	260,2	7,6
Rússia	171,6	175,3	163,1	172,4	164,8	4,8
Noruega	118,2	132,3	137,7	124,0	116,4	3,4
Índia	112,6	119,4	109,1	103,2	113,3	3,3
Japão	86,6	73,3	75,7	76,1	81,4	2,4
Venezuela	80,8	82,2	86,0	85,1	76,0	2,2
Suécia	61,1	65,5	68,4	65,2	65,7	1,9
Outros	959,7	934,7	955,0	957,8	1059,5	31,1
Mundo	3.005,9	3.044,8	3.169,2	3.221,7	3.402,3	100,0

Fonte: EPE (2013a).

Deve ser dado destaque novamente à China, que apresentou a maior variação positiva, seguida pelo Brasil. Países desenvolvidos como Canadá e Estados Unidos apresentaram valores inferiores.

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG), a capacidade atual de geração do Brasil é de aproximadamente 134.050 MW agrupada em 3.043 empreendimentos, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2014). O quadro 3 apresenta a distribuição destes empreendimentos por tipo de operação.

De acordo com o quadro 3 é possível observar uma divisão entre as fontes de energia hidrelétrica. Segundo classificação da ANEEL (2008), centrais geradoras hidrelétricas são empreendimentos que apresentam potência instalada de até 1 MW. Já as pequenas centrais hidrelétricas possuem potência instalada entre 1,1 MW e 30 MW e as usinas hidrelétricas apresentam valores de potência maiores que 30 MW.

Quadro 3. Empreendimentos em Operação (consulta em 10, fev. 2014).

Tipo	Empreendimentos	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	435	266.089	0,21
Central Geradora Eólica	109	2.259.569	1,78
Pequena Central Hidrelétrica	463	4.649.139	3,64
Central Geradora Solar Fotovoltaica	54	9.915	0
Usina Hidrelétrica	194	86.708.205	64,05
Usina Termelétrica	1.786	38.167.318	28,74
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1,57
Total	3.043	134.050.235	100

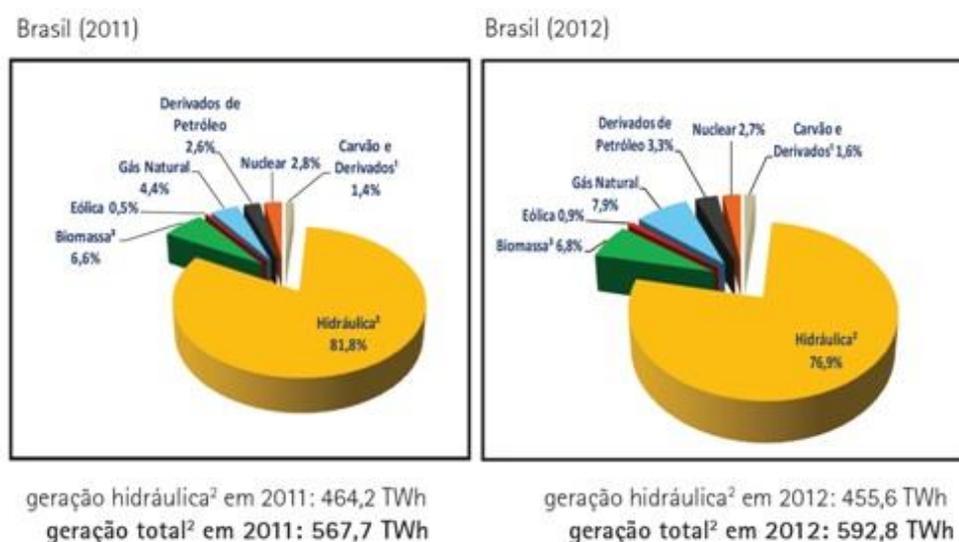
Fonte: ANEEL (2014).

O quadro anterior evidencia um volume muito maior de empreendimentos geradores de energia baseados na hidreletricidade, onde a potência instalada é de até 30 MW. No entanto, estas representam somente 5,6% da produção hidrelétrica e aproximadamente 3,7% do total gerado em todas as suas formas. Em números absolutos este quadro mostra que empreendimentos hidrelétricos de até 30 MW representam 29,5% do total e são aproximadamente 5 vezes mais numerosos que as usinas hidrelétricas.

Cabe destacar que alguns empreendimentos hidrelétricos apresentados no quadro anterior estão sendo construídos por meio de incentivos e financiamentos governamentais do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), principalmente as centrais localizadas na última fronteira energética nacional ainda não explorada como as demais: a região amazônica. Usinas bastante controversas como Belo Monte, Jirau e Santo Antônio se enquadram na lista de empreendimentos constituintes do PAC.

Apesar de uma maior diversificação da matriz energética nos últimos anos (Gráfico 2), com o aumento de fontes de energias fotovoltaicas, eólicas e termelétricas (predominantemente), a geração de energia no país é, em sua maior parte, baseada em aproveitamentos hidrelétricos, justificada, dentre outros motivos, pela grande disponibilidade hídrica superficial.

Gráfico 1. Matriz elétrica brasileira de 2011 e 2012.



¹Inclui gás de coqueria

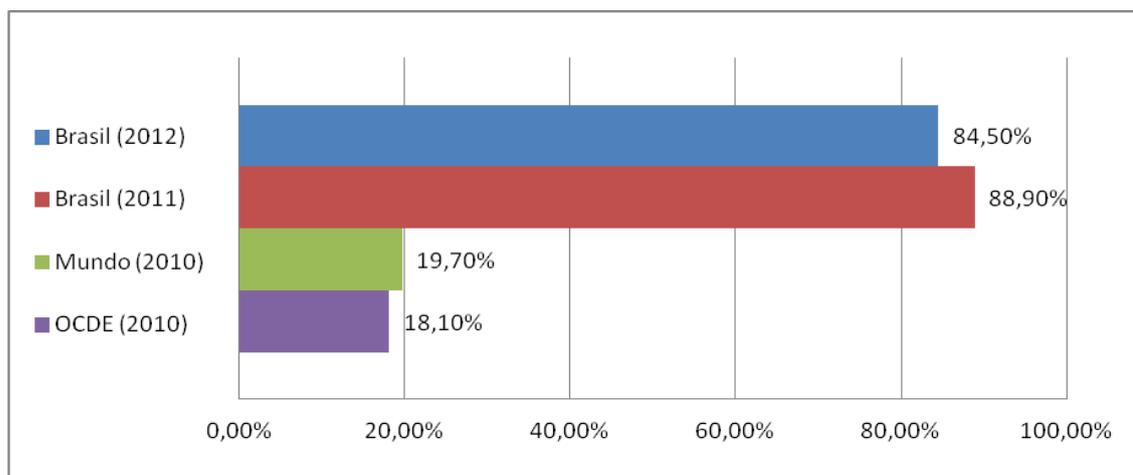
²Inclui importação

³Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

Fonte: EPE (2013b).

No Brasil, mais de 80% da potência instalada em hidrelétricas estão nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, sendo que 88% do consumo também se concentram nestas regiões (BRASIL, 2008). A matriz energética nacional tem grande participação de fontes renováveis diferentemente de grande parte das demais nações mundiais, ainda bastante dependentes de derivados de petróleo, gás natural e carvão (Gráfico 3).

Gráfico 2. Participação das fontes renováveis na matriz elétrica nacional e mundial.



Fonte: Adaptado de EPE (2013b).

Conforme Bermann (2012a), a humanidade vive em uma extrema dependência em relação aos combustíveis fósseis para a geração de energia. De acordo com o autor, baseado em informações da *International Energy Agency* de 2011, de 20.055 TWh da energia gerada no mundo em 2009, 80,5% tiveram origem em combustíveis fósseis, contabilizando a energia nuclear obtida a partir do urânio. Ou seja, apenas 19,5% correspondiam a fontes renováveis (sendo que somente uma parcela de 3,3% deste valor foi originada a partir do sol, vento e biomassa, entre outros).

Segundo a ANEEL (2008), o Brasil busca uma maior diversificação da matriz energética nacional, além de fontes que sejam limpas. Tais resultados seriam obtidos a partir de iniciativas para o aumento da eficiência dos processos e redução de custos das fontes renováveis como o vento, sol, maré e a biomassa, tornando-as comercialmente viáveis e competitivas. Esta diversificação tem como meta uma redução na dependência entre a geração de energia e as condições hidrológicas, que influenciam diretamente o nível pluviométrico dos rios nas usinas hidrelétricas (UHEs).

O Brasil apresenta um sistema de geração e transmissão de energia peculiar, com aproveitamentos hidrelétricos constituídos de grandes reservatórios e muitas vezes distantes dos principais centros consumidores. Estes reservatórios desempenham um papel muito importante, pois possibilitam a regularização de vazões naturais para a geração de energia, principalmente em períodos de estiagem, além de atender a outras demandas e atividades, como abastecimento, irrigação, navegação, pesca e lazer.

Segundo a *International Hydropower Association* (IHA, 2003) e Yuksel (2010), a energia hidrelétrica apresenta uma série de vantagens quando comparada a outras fontes de energia como: a ampla disponibilidade de recursos pelo mundo, conversão eficiente de energia com tecnologia avançada, fonte geralmente não sujeita a flutuações devido às condições de mercado, baixo custo operacional e longa vida útil. Além disso, os reservatórios formados para tal função podem também ser aproveitados para pesca esportiva, navegação, atividades de lazer e contemplação, passando a contribuir com o desenvolvimento social da região de entorno.

O outro lado da moeda

Apesar das vantagens, os reservatórios de usinas hidrelétricas também apresentam impactos socioambientais nos locais em que são instalados. A construção e a operação de reservatórios envolvem uma série de potenciais impactos negativos ao meio ambiente e às comunidades próximas a estes empreendimentos (BRASIL, 2005). Da mesma autoria, há a referência de que os principais impactos que ocorrem com a instalação de uma barragem (e que devem ser analisados), são: alteração do regime hídrico, riscos de eutrofização e salinização da água, interferência em áreas de interesse ecológico e unidades de conservação, reassentamento involuntário da população, áreas indígenas e de valor histórico, cultural ou arqueológico e risco de mudança da ictiofauna.

Braga, Rocha e Tundisi (1998) mencionam que muitos projetos de UHEs nacionais ignoraram as consequências ambientais das suas implantações. A UHE de Balbina, por exemplo, localizada em um afluente do rio Amazonas, é citada como exemplo de um planejamento inadequado, tendo em vista a relação da potência instalada e a grande área inundada pelo reservatório. Fearnside (1990) também discute a construção da UHE de Balbina, denominando este empreendimento como um “faraonismo irreversível”.

O quadro 4 apresenta alguns outros exemplos de aproveitamentos hidrelétricos nacionais e a relação das suas potências com as áreas inundadas.

Quadro 4. Potência hidrelétrica produzida em função da área inundada de algumas usinas.

Usina	Potência gerada (MW)	kW/hectare
Balbina	250	1,1
Sobradinho	1050	2,5
Manso	210	5,4
Porto Primavera	1800	8,4
Três Irmãos	640	9,0
Tucuruí	3900	13,9
Machadinho	1200	45,8
Itaipu	12600	93,6
Segredo	1260	152,7
Xingó	5000	588,2

Fonte: Goldemberg (1998).

Neste quadro fica clara a falta de planejamento, tendo em vista a grande variação de casos com áreas alagadas e baixa produção. Tão grave quanto esta baixa produção, são os reservatórios com baixa potência instalada e baixo potencial de geração, caso das usinas de Manso e Três Irmãos.

Segundo Goldemberg (1998), a UHE de Balbina pode ser caracterizada como um desastre ecológico. O autor destaca que o alagamento é um indicador importante para avaliar o impacto ambiental de hidrelétricas, mas não é o único. Ele

cita que outros impactos devem ser avaliados, como a população deslocada (inclusive comunidades indígenas), a alteração no regime a jusante do rio, a proliferação das algas (eutrofização), a extinção de espécies, a perda de patrimônio histórico, o assoreamento a montante da barragem e os riscos associados ao rompimento da barragem.

Para a construção da barragem da UHE de Tucuruí (citada no Quadro 4) foram deslocadas 23.000 pessoas para algumas áreas que posteriormente apresentaram problemas relacionados a agricultura, saúde e infraestrutura (FEARNSIDE, 1999). Outro impacto causado pela construção desta barragem foi apresentado por Cintra (2009) e Fearnside (2001), onde os autores relatam que a coleta de peixe diminuiu em 82%, e de camarão em 65%, entre 1985 e 1987, em Cametá (PA), uma das cinco maiores cidades ribeirinhas ao reservatório (localizada a 180 km abaixo da UHE de Tucuruí).

Esta não foi a única barragem a provocar o realocamento de pessoas. Como exemplo internacional, são citados neste artigo dois casos. O primeiro deles é o Lago Volta, situado em Gana, na África. Trata-se do maior reservatório artificial criado até hoje, com 8.502 km². Para o enchimento deste reservatório tiveram de ser realocadas aproximadamente 78.000 pessoas.

O outro caso refere-se ao reservatório de Brokopondo, no Suriname, América do Sul. O início da operação deste reservatório ocorreu em 1964 e sua capacidade instalada era de 189 MW, embora somente 120 MW estivessem disponíveis para geração de energia. Uma grande área de floresta tropical foi inundada (1560 km²) sem a devida retirada da cobertura vegetal, resultando na impossibilidade de aproveitamento da madeira submersa. Tal evento provocou a produção de gás sulfídrico, proveniente da decomposição orgânica. Cerca de 6.000 pessoas de 34 vilas tiveram de ser realocadas por conta do enchimento do reservatório, e somente 34 anos depois, as comunidades assentadas à beira do Brokopondo tiveram acesso

à energia elétrica, embora tal direito estivesse garantido em contrato de concessão (BERMANN et al., 2010).

Voltando aos casos nacionais, o Rio Madeira é o principal tributário do Rio Amazonas e nele estão sendo construídas duas hidrelétricas: Jirau e Santo Antônio. Com capacidade instalada de 3.750 MW e 3.150 MW respectivamente, e com início das obras em dezembro de 2008, estas hidrelétricas foram estimadas em 15 bilhões de dólares e vêm recebendo diversas críticas pelos desdobramentos negativos que provavelmente provocarão. Quatro povos indígenas deverão ser afetados, além da vulnerabilidade do local com o desmatamento e as obras, que propiciarão a aparição de madeireiros, garimpeiros e grileiros. Além disso, com a água parada há um maior risco de reprodução de insetos, como o mosquito transmissor da malária. Outra questão delicada é a migração de peixes que ocorre para a desova nas áreas de cabeceiras e o provável desaparecimento de 33 espécies endêmicas de mamíferos que correm risco de extinção (INTERNATIONAL RIVERS, 2014).

Talvez o exemplo brasileiro que melhor retrate a agressividade contemporânea do mercado, além do descaso ao meio ambiente e às populações tradicionais ribeirinhas que vivem à margem de um reservatório, seja o caso da Usina de Belo Monte. Projetada no Rio Xingu, estado do Pará, esta hidrelétrica é um exemplo de megaobra em construção na bacia amazônica. Iniciada em abril de 2010, após uma Licença Ambiental Prévia concedida (forçadamente) em fevereiro de 2010, pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e com previsão para início de funcionamento em 2015, Belo Monte terá capacidade de geração de energia de 11.233 MW (potência instalada).

Sendo comparada à UHE de Itaipu (maior usina hidrelétrica em energia gerada do mundo, em operação), que gera 14.000 MW, e é responsável pela oferta de 17% da energia consumida no Brasil, pode-se perceber o vulto de Belo Monte. No entanto, esta geração de energia para a hidrelétrica amazonense ocorrerá durante apenas 3 meses ao ano (correspondentes ao período da cheia). No restante

do ano (de setembro a outubro), com a seca do rio Xingu, a produção deverá cair em aproximadamente 90%, ou seja, 1.172 MW (BERMANN, 2012b).

A explicação para esta redução estaria no recuo do governo em diminuir a área do reservatório da usina (que originalmente seria de 1.200 km²), a qual passou a ser de 516 km², de acordo com o Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto do Meio Ambiental (EIA/RIMA) do projeto. Assim, deixando de armazenar água, e trabalhando no regime de fio d'água, há como consequência uma variação do volume hídrico que acompanha o regime hidrológico natural dos períodos de cheia e seca da região. Para o restante do período, a média assegurada será de 4.428 MW_{med}, ou 39% da capacidade de geração da hidrelétrica.

Ainda, para regularizar a vazão de Belo Monte no sentido de torná-la operacional, será necessária a construção de mais três usinas a montante – Altamira (somente esta barragem poderia ocupar, de acordo com o plano original, cerca de 6.140 km² – ou o dobro inundado pela hidrelétrica de Balbina (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL – BRASIL, 2011), Pombal e São Félix – o que comprometeria definitivamente a manutenção de 19 etnias indígenas existentes naquela região (BERMANN, 2012b). De acordo com a Conservação Internacional - Brasil (2011), cerca de 28 etnias (ou 20.000 índios) serão afetadas direta ou indiretamente pela megaobra de Belo Monte. A mesma fonte estima que o realocamento humano poderá chegar a 40.000 pessoas.

Segundo Gleick (1992), apesar da percepção geral de as hidrelétricas apresentarem inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais, há ainda certa escassez de informações sobre os impactos destes empreendimentos no meio ambiente. Segundo o autor, os impactos são geralmente resumidos em função do tipo e do tamanho do empreendimento. Considerando o fator de área inundada, há diversas centrais de pequeno porte que impactam áreas muito maiores se comparadas a grandes aproveitamentos.

Moreira (2012) menciona que apesar da matriz energética nacional ser considerada uma das mais limpas do mundo, o País tem buscado fontes de energia cada vez mais distantes dos centros consumidores e onde se encontra a diversidade cultural e a biodiversidade mais preservada. Como consequência desta expansão, está ocorrendo a perda da biodiversidade, a artificialização das bacias hidrográficas, além de estímulo à formação de intensos fluxos migratórios e explosão demográfica.

Neste sentido, Bermann (2007) também cita alguns problemas ambientais ocasionados pelos aproveitamentos hidrelétricos brasileiros, como: alteração do regime hidrológico, comprometimento da qualidade da água, emissão de gases de efeito estufa e problemas de saúde pública. O autor ainda destaca algumas questões sociais que envolvem estes empreendimentos, como a inundação de mais de 34.000 km² e o “deslocamento compulsório” (expulsão) de aproximadamente 200 mil famílias (populações ribeirinhas) que foram atingidas diretamente com a construção destes empreendimentos.

Apesar de apontar estes problemas, Bermann (2007) ressalta que:

[...] não se trata de demonizar os empreendimentos hidrelétricos, mas de apontar as restrições sociais e ambientais que estão presentes e que devem ser efetivamente consideradas para que a expansão da hidreletricidade no país seja conduzida de forma socialmente justa e ambientalmente sustentável. (BERMANN, 2007, p. 148).

Goldsmith e Hildyard (1984) também destacam algumas recomendações interessantes para amenizar os impactos ocasionados pela construção de uma barragem, sendo elas: avaliação ambiental, benefício para grandes setores da população, culturas para consumo local, proteção de áreas e espécies, e aprimoramento de recurso sustentável a longo prazo.

Estudos e boas práticas

Liu et al. (2013) discutem a questão da sustentabilidade associada aos empreendimentos hidrelétricos, citando o caso do projeto da UHE de Três Gargantas (China), em que eles utilizaram um quadro fornecido pela *International Hydropower Association* (IHA) para avaliar algumas questões relacionadas à sustentabilidade em aproveitamentos hidrelétricos. Os autores concluíram que o projeto da UHE proporcionou benefícios consideráveis, principalmente com relação ao controle de inundação e navegação. Destacaram também alguns pontos críticos do projeto que estariam relacionados, por exemplo, ao reassentamento da população retirada dos seus locais de origem.

Ribeiro et al. (2011) afirmam que os aspectos sociais devem ser considerados no planejamento do setor de energia e resumiram mais de 100 indicadores de sustentabilidade de projetos.

Nos EUA, o *Low Impact Hydropower Institute* (LIHI, 2014) desenvolveu um processo de certificação de baixo impacto de hidrelétricas para auxiliar na redução dos problemas ambientais associados aos empreendimentos hidrelétricos. Para obter esta certificação, as UHEs devem atender a alguns critérios determinados pelo instituto, que são apresentados na forma de questionário.

O *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology* (EAWAG), em 2014, na Suíça, desenvolveu um procedimento denominado Certificação de Energia Hidrelétrica Verde (*Green Hydropower Certification*). Trata-se de uma matriz de gestão ambiental elaborada para avaliar diversos critérios relacionados como a dimensão ambiental (hidrologia, morfologia, paisagem, material sólido) e a dimensão de gestão (gerenciamento de reservatórios, projeto da usina e normas mínimas de fluxo, dentre outros).

O Protocolo de Avaliação de Sustentabilidade da Energia Hídrica – *Hydropower Sustainability Assessment Protocol*, elaborado pela *International Hydropower Association* (IHA, 2010), define alguns critérios para avaliação da sustentabilidade em aproveitamentos hidrelétricos. Este protocolo recomenda uma abordagem integrada (perspectiva ambiental, social, técnica e financeira) para avaliação da sustentabilidade de uma UHE nas suas diversas fases de projeto (fase inicial, preparação, implementação e funcionamento).

Além dos estudos citados anteriormente, há outros trabalhos que apresentam indicadores quantitativos para energia hidrelétrica sustentável, como Larson e Larson (2007), Carrera e Mack (2010), Onat e Bayar (2010), Begic e Afgan (2007). Ainda neste sentido, Harada e Yasuda (2004) citam que é impossível eliminar completamente todos os impactos sociais e ambientais causados pela construção de um reservatório. Porém, a questão mais importante é fazer todos os esforços para minimizar os efeitos negativos associados a estes empreendimentos.

Expansão do setor elétrico

É importante destacar que apesar dos impactos ocasionados pelos empreendimentos hidrelétricos, existem indicadores e ferramentas idealizados para reduzir a interferência destas obras que serão essenciais para auxiliar no atendimento da crescente demanda por energia.

Segundo previsões da EPE (2013c), disponível no Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2022, a taxa média de crescimento do consumo de energia elétrica será de 4,7 % ao ano, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 1. Previsão do consumo de energia elétrica no Brasil.

Ano	Consumo (TWh)
2013	520,0
2017	625,8
2022	785,1
Período	Varição (% a.a.)
2013-2017	4,7
2018-2022	4,6
2013-2022	4,7

Fonte: EPE (2013c).

Para suprir parte deste aumento a ANEEL (2014) cita que estão sendo construídos 220 empreendimentos e mais 478 estão outorgados (não iniciaram sua construção), o que irá possibilitar um aumento de mais de 36 mil MW à capacidade instalada no País nos próximos anos (Quadro 6 e 7).

Quadro 2. Empreendimentos em construção - consulta em 17 fev. 2014.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	1	848	0
Central Geradora Eólica	163	4.213.639	19,37
Pequena Central Hidrelétrica	31	344.073	1,58
Usina Hidrelétrica	7	14.060.800	64,64
Usina Termelétrica	17	1.783.230	8,2
Usina Termonuclear	1	1.350.000	6,21
Total	220	21.752.590	100

Fonte: ANEEL (2014).

Quadro 3. Empreendimentos outorgados - consulta em 17 fev. 2014.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	53	34.351	0,24
Central Geradora Undi-elétrica	1	50	0
Central Geradora Eólica	131	3.409.396	23,65
Pequena Central Hidrelétrica	142	1.976.316	13,71
Usina Hidrelétrica	14	2.930.442	20,33
Usina Termelétrica	137	6.066.477	42,08
Total	478	14.417.032	100

Fonte: ANEEL (2014).

A partir das informações apresentadas nos quadros anteriores, é possível observar que o aumento da demanda está baseado em centrais de sistemas hidrotérmicos. Outras fontes renováveis como a energia eólica também devem contribuir com o aumento da oferta de energia. No entanto, a energia solar fotovoltaica, por exemplo, deve seguir subaproveitada, apesar do potencial apresentado existente no território brasileiro.

Outro ponto a ser discutido refere-se à construção de aproveitamentos hidrelétricos com *reservação* (capacidade de regularização) ou a fio d'água. Segundo o PDE 2022 (EPE, 2013c), o acréscimo na evolução da capacidade de armazenamento do Sistema Interligado Nacional (SIN) de 2013 a 2022 será da ordem de 2% ou 7 GWmed (Gráfico 4).

Como se pode observar no gráfico 4, quase 70% da capacidade de regularização dos reservatórios em 2013 estão concentrados nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Já as regiões Nordeste, Sul e Norte apresentam, respectivamente, 18%, 7% e 5% da capacidade de energia armazenável máxima do País.

Gráfico 3. Evolução da capacidade de armazenamento do SIN - Regiões do Brasil.



Fonte: EPE (2013c).

Dados oriundos do EPE (2013c) apontam para um aumento da capacidade de armazenamento de 2% até 2022, valor inferior ao crescimento da capacidade instalada de usinas hidrelétricas. Ainda segundo o relatório, grande parte dos aproveitamentos hidrelétricos viáveis no horizonte decenal está localizada em bacias ainda inexploradas, em que não há previsão de instalação de centrais com reservatórios de regularização das vazões afluentes. Este fato deve-se principalmente às dificuldades encontradas nas obtenções de licenças ambientais para estes empreendimentos.

Eficiência energética e outras alternativas

Em entrevista à Conservação Internacional-Brasil (2011), Philip Fearnside relata que as empresas brasileiras produtoras de alumínio são grandes consumidoras de energia. Bermann (2011) também chama atenção ao alto consumo energético de produtos primários e sua expressiva exportação. Dentre estes produtos, pode-se citar, além do alumínio, ferro-liga, cimento, papel e celulose. Tais produtos primários geram um grande ônus (com impactos ambientais baseados na extração de matéria-prima e consumo energético para sua fabricação) e poucos

bônus, uma vez que a maior parte da produção é exportada. Outra questão que Fearnside coloca é a da eficiência energética. Os chuveiros elétricos, por exemplo, são responsáveis por 5% de todo o consumo da energia brasileira, mais do que o potencial médio de produção estimado para a Usina de Belo Monte. A terceira questão levantada é a necessidade de diversificação de fontes energéticas, como a solar e a eólica.

Segundo a ANEEL (2008), o potencial eólico brasileiro apresenta divergências entre instituições e pesquisadores, principalmente devido à falta de informações e padrão nas metodologias adotadas. Porém, estima-se que o mesmo apresenta valores superiores a 60 GW. Em estimativas mais otimistas, como o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), o valor apresentado para o potencial eólico brasileiro é de 143 GW (CRESESB, 2001).

Com relação ao potencial solar brasileiro, Baitelo (2012) afirma que com apenas 1% da radiação solar incidente no País, e o emprego de tecnologias atuais, seria possível atender a toda a demanda energética nacional. O Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006) e o CRESESB (2014) também apresentam dados interessantes que incentivam a utilização desta fonte de energia, tanto para aquecimento de água, quanto para a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos.

Cabe destacar também que a Resolução nº 482/2012 (ANEEL, 2012) representa um importante marco para a micro geração distribuída e para a utilização de fontes renováveis (sistemas fotovoltaicos e/ou eólicos) no atendimento à demanda local.

Outro fato que deve ser destacado é que além do aumento da oferta deve-se analisar o lado da demanda, reduzindo o desperdício e otimizando o uso da energia (eficiência energética), que pode ser obtido a partir de políticas públicas e do aperfeiçoamento de equipamentos, tecnologias e processos. Para exemplificar estes

fatos, pode-se citar as perdas de energia no sistema de transmissão e distribuição do setor elétrico brasileiro que, segundo Moreira (2012), apresenta perdas (técnicas e comerciais) na ordem de 20%.

Cabe ressaltar que os valores de perdas no sistema podem apresentar variações de acordo com os institutos e pesquisadores e os seus papéis e interesses nestas análises de perdas. No entanto, independente da sua magnitude, este desperdício merece atenção e pode contribuir para reduzir a necessidade de novas fontes de energia. Há também a possibilidade de melhoria na eficiência energética do sistema de geração de energia. Além da repotenciação das centrais hidrelétricas e possível motorização de alguns aproveitamentos que não operam atualmente com a sua capacidade máxima, os órgãos públicos e privados podem dar uma maior atenção aos reservatórios de hidrelétricas que operam atualmente.

A Resolução Conjunta nº 003 (BRASIL, 2010) elaborada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela ANEEL, vem ao encontro desta preocupação em monitorar e melhorar a gestão e o planejamento no setor de geração de energia. A partir da instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas é possível atualizar as informações pluviométricas, fluviométricas e sedimentométricas, entre outros. Estes dados são importantes para o acompanhamento das características operacionais dos reservatórios (como a curva cota x área x volume) que muitas vezes são alteradas por processos de sedimentação.

Considerações Finais

Hoje é sabido que qualquer fonte energética, ao ser consumida, pode apresentar impactos ambientais. Até a energia solar, considerada a fonte mais limpa e inesgotável do planeta, causa impactos. Suas placas são constituídas de vidro, metal e silício, todos retirados da natureza e processados, demandando energia para sua produção antes mesmo de sua utilização. As usinas hidrelétricas usam

como fonte energética o represamento ou aproveitamento da água, recurso natural abundante no Brasil. No entanto, surgiu um horizonte finito na geração de energia baseada em hidrelétricas, uma vez que as regiões sul e sudeste apresentam seus potenciais hidrelétricos praticamente saturados.

Mais recentemente, a Região Norte (onde se situa a floresta amazônica) desponta como a alternativa brasileira a novos megaprojetos hidrelétricos. O mais recente deles – UHE de Belo Monte – possui um potencial interessante, mas por ser operado em regime de fio d'água terá uma geração muito aquém dos 55% de fator de capacidade apresentados pela média das hidrelétricas brasileiras. Neste sentido, cabe destacar, que apesar dos inúmeros problemas socioambientais causados pelas grandes centrais hidrelétricas, existem metodologias e procedimentos para minimização destes problemas, como citado por Bermann (2007), IHA (2010), LIHI (2014) e EAWAG (2014).

As PCHs, por serem mais compactas, em um primeiro momento podem aparentar uma alternativa de produção pontual e menos impactante. Porém, sua multiplicação no território brasileiro vem trazendo riscos às áreas *hotspots* e comprometendo a vazão de pequenos cursos d'água. Além disso, sua geração energética é deficitária, se comparada ao parque produtivo das UHEs. A repotenciação ou aumento da eficiência energética das turbinas surgem como uma alternativa à instalação de novas UHEs. Tal melhoria poderia trazer ao parque energético nacional um ganho às usinas já existentes e em operação. Aliado a estas ações seria interessante intensificar campanhas sobre o uso racional da energia elétrica, dado, por exemplo, o grande consumo energético de alguns aparelhos elétricos, tais como o chuveiro.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de Informações de Geração**, 2014. Disponível em: <

<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >. Acesso em: 10 fev. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, 2012**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >. Acesso em: 15 abr. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf >. Acesso em: 15 abr. 2014.

BAITELO, R. Energias Renováveis: Eólica e Solar, In: MOREIRA, P. F. (org). **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios**. 2ª edição. Brasília: Rios Internacionais - Brasil, 2012, p.67-75. Disponível em:< http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/o_setor_eletrico_brasileiro_e_a_sustentabilidade_no_sec_21-opportunidades_e_desafios_-pdf_leve.pdf >. Acesso: 07 abr., 2014.

BEGIC, F.; AFGAN, N.H. Sustainability assessment tool for the decision making in selection of energy system - Bosnian case. **Energy**, 32, 2007, p. 1979-85.

BERMANN, C. O setor elétrico brasileiro no Século 21: cenário atual e desafios. In: MOREIRA, P. F. (org). **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios**. 2ª edição. Brasília: Rios Internacionais - Brasil, 2012a, p.17-22. Disponível em:< http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/o_setor_eletrico_brasileiro_e_a_sustentabilidade_no_sec_21-opportunidades_e_desafios_-pdf_leve.pdf >. Acesso: 07 abr., 2014

BERMANN, C. O projeto da usina hidrelétrica Belo Monte: a autocracia energética como paradigma. **Novos Cadernos NAEA**, v. 5, n. 1, p. 5-23, 2012b.

BERMANN, C. Notas sobre la energia incorporada en la exportación de bienes primários en Brasil. **Energia Y Equidad**. Ano 1, n. 1, 2011. Disponível em: < <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2011/Artigos%20de%20Periodicos/bermannnotassobre.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

BERMANN, C. Impasses e controvérsias da hidreletricidade. **Estudos Avançados**, v. 21, 2007, p. 139-153. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a10v2159.pdf> >. Acesso em: 07 de abr. 2014.

BERMANN, C. et al. Usinas Hidrelétricas na Amazônia - O Futuro sob as Águas. In: **Seminário Políticas Públicas e Obras de Infra-Estrutura na Amazônia. Cenários e desafios para a governança socioambiental**. Brasília: Inesc. v. 1, 2010. p. 01-37.

BRAGA, B., ROCHA, O., TUNDISI, J. Dams and the Environment: The Brazilian Experience. **International Journal of Water Resources Development**, 14:2, 1998, pp. 127-140, DOI: 10.1080/07900629849358.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica e Agência Nacional de Águas. **Resolução Conjunta nº 3 – 10 de agosto de 2010**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2010003cj.pdf> >. Acesso em: 07 abr. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2008. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_3.pdf >. Acesso em: 10 abr. 2014.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. Unidade de Gerenciamento do Proágua/Semiárido. **Diretrizes ambientais para projeto e construção de barragens e operação de reservatórios**. Brasília: Bárbara Bela Editora Gráfica e Papelaria Ltda., 2005. Disponível em: < <http://www.integracao.gov.br/iretrizes-ambientais-reservatorios> >. Acesso em: 07 de abr. 2014.

CARRERA, D.G., MACK, A. Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: results of a survey among European energy experts. **Energy Policy**, 38, 2010, p. 1030-9.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB. **Informações sobre fontes de energia solar e eólica**. 2014. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/principal.php> >. Acesso em: 15 abr. 2014.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001. Disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf >. Acesso em: 15 abr. 2014.

CINTRA, I.H.A. **A pesca no reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, Estado do Pará, Brasil**. 2009. Tese (Doutorado em engenharia de pesca) 2009. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. Brasil.

CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL - BRASIL. **Política Ambiental – A usina hidrelétrica de Belo Monte em pauta**, Belo Horizonte, n.7, 2011. Disponível em: < <http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/politicaambiental7.pdf> >. Acesso em: 07 de abr. 2014.

EAWAG. **Green Hydropower Certification**. 2014. Disponível em: < http://www.eawag.ch/index_EN >. Acesso em: 07 abr. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: Brasil, 2013a. Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx> >. Acesso em: 07 de abr. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 013 – Ano base 2012**: Relatório Síntese. Rio de Janeiro: Brasil, 2013b. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/> >. Acesso em: 07 abr. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, v. 2, 2013c.

FEARNSIDE, P.M. Environmental impacts of Brazil's Tucuruí Dam: Unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Management**, 27(3), 2001, pp. 377-396.

FEARNSIDE, P.M. Social impacts of Brazil's Tucuruí Dam. **Environmental Management**, 24(4), 1999, pp. 485-495.

FEARNSIDE, P.M. **A Hidrelétrica de Balbina**: o faraonismo irreversível versus o meio ambiente na Amazônia. São Paulo: Instituto de Antropologia e Meio Ambiente, 1990.

GLEICK, P.H. (1992). Environmental consequences of hydroelectric development: the role of facility size and type. **Energy**, Great Britain, v. 17, n. 8., 1992, pp. 735-747.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1998.

GOLDSMITH, E.; HILDYARD, N. **The social and environmental effects of large dams**. San Francisco: Sierra Club Books, 1984.

HARADA, J.; YASUDA, N. Conservation and improvement of the environment in dam reservoirs, **International Journal of Water Resources Development**, 20:1, 2004, pp. 77-96, DOI: 10.1080/07900620310001635629.

INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION – IHA. **Hydropower sustainability assessment protocol**. International Hydropower Association. November, 2010. Disponível em: < <http://www.hydrosustainability.org/Protocol.aspx> >. Acesso em: 12 abr. 2014.

INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION – IHA. **The role of hydropower in sustainable development**. International Hydropower Association. February, 2003.

INTERNATIONAL RIVERS. **Madeira River**. 2014. Disponível em: < <http://www.internationalrivers.org/campaigns/madeira-river> >. Acesso em: 16 abr. 2014.

LARSON, S., LARSON, S. Index-based tool for preliminary ranking of social and environmental impacts of hydropower and storage reservoirs. **Energy**, 32, 2007, p. 943-7.

LIU, J., ZUO, J., SUN, Z., ZILLANTE, G., CHEN, X. (2013). Sustainability in hydropower development - A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 19, pp. 230-237, 2013. ISSN 1364-0321. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211200648X>. Acesso em: 07abr. 2014.

LOW IMPACT HYDROPOWER INSTITUTE – LIHI. **Low Impact Hydropower Certification**. 2014. Disponível em: < <http://www.lowimpacthydro.org> >. Acesso em: 07abr. 2014.

MOREIRA, P. F. (org). **O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios**. 2ª edição. Brasília: Rios Internacionais - Brasil, 2012, p.17-22. Disponível em:< http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/o_setor_eletrico_brasileiro_e_a_sustentabilidade_no_sec_21-opportunidades_e_desafios_-pdf_leve.pdf >. Acesso: 07 de abril, 2014.

ONAT, N.; BAYAR, H. The sustainability indicators of power production systems, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14, 2010, p. 3108-15.

PEREIRA, E.B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

RIBEIRO, F.; FERREIRA P.; ARAUJO, M. The inclusion of social aspects in power planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 15, 2011, p. 4361-4369.

YUKSEL, I. Hydropower for sustainable water and energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**,14, 2010, p. 462-9.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Sobre os autores:

¹Frederico Fábio Mauad – <http://lattes.cnpq.br/2888462035279167>

Engenheiro agrícola, Mestre em Engenharia Mecânica (UNIFEI) e Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos (UNICAMP). Livre docente em Planejamento de sistemas energéticos (EESC/USP). Docente dos cursos de graduação e pós-graduação do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, campus São Carlos. Atualmente é coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (EESC/USP), Coordenador do Curso de Especialização em Educação Ambiental, chefe do Núcleo de Hidrometria do Centro de Ciências da Engenharia Aplicado ao Meio Ambiente (CCEAMA) e diretor presidente da Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial (FIPAI).

Contato: mauadffm@sc.usp.br

²Renato Billia de Miranda – <http://lattes.cnpq.br/5481911659053087>

Engenheiro eletricitista, Mestre e Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Pesquisador do Núcleo de Hidrometria (EESC/USP) nas áreas de recursos hídricos, geração de energia e hidrossedimentologia.

Contato: eng.renato.miranda@gmail.com

³Gustavo D'Almeida Scarpinella – <http://lattes.cnpq.br/1957035178854120>

Engenheiro agrônomo, Mestre em Energia e Doutor em Ciências; Pós-doutorando em Engenharia Urbana, na Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, com ênfase em diagnóstico e aplicação de elementos de infraestrutura verde em áreas urbanas.

Contato: gscarpinella@gmail.com