

Energia Nuclear no Brasil

JOAQUIM FRANCISCO DE CARVALHO

INTRODUÇÃO

■ Em 1955 o governo brasileiro tomou a decisão de instalar um reator nuclear em São Paulo e o professor Marcelo Damy de Souza Santos foi encarregado de presidir a comissão que coordenou o projeto brasileiro.

Em 1956, o Conselho Nacional de Pesquisas, em comum acordo com o Conselho Universitário da Universidade de São Paulo, designou o próprio Damy para criar o Instituto de Energia Atômica (IEA), ligado à Universidade de São Paulo (USP).

Foi então instalado no IEA (atual IPEN) um reator de pesquisa, voltado para a produção de radiofármacos, sob a orientação dos professores Marcelo Damy, Fausto Walter Lima, Alcídio Abrão e outros.

Nascia assim o programa de radiofármacos do IPEN, que hoje responde pela produção de boa parte das fontes e radiofármacos para hospitais e clínicas radiológicas de norte a sul do país.

Ainda não se pensava em implantar reatores de potência no Brasil, pois já se previa a existência de um enorme potencial hidrelétrico nas regiões Centro-Sul e Sul, que começava a ser inventariado por engenheiros da Cemig, com assistência técnica do consórcio canadense-americano Canambra Engineering Consultants.

Entretanto, alguns professores e pesquisadores da USP já demonstravam interesse nos programas de treinamento voltados para as usinas de potência, oferecidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

OS REATORES DE POTÊNCIA

■ Pode-se dizer que a primeira iniciativa concreta de se implantarem reatores de potência no país foi tomada no Instituto de Pesquisas Radiológicas, que tinha sido criado em 1953 na Universidade Federal de Minas Gerais, onde se formou em 1965 o chamado Grupo do Tório, no âmbito da cooperação técnica França-Brasil. O objetivo daquela iniciativa foi o de desenvolver tecnologia para a elaboração do projeto conceitual de um reator de potência baseado no ciclo do tório.

Em 1971 o governo – muito influenciado pelo poderoso *lobby* da indústria norte-americana – resolveu estruturar um programa nuclear efetivamente voltado para a geração de energia elétrica e decidiu implantar uma usina de 750 MW no município de Angra dos Reis, criando para isso a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear.

Esta foi a origem da central de Angra I, que foi projetada pela empresa americana Westinghouse e implantada por empreiteiras brasileiras do setor de construção pesada e montagem eletromecânica, associadas a firmas congêneres americanas e com tecnologia destas – tudo sob a orientação e supervisão da própria Westinghouse, que também forneceu o sistema nuclear de geração de vapor, além da maioria dos componentes eletromecânicos dos demais sistemas da usina, em particular o conjunto turbo-gerador.

Em 1975 foi extinta a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, que tinha sido criada para construir Angra I e continuar um programa nuclear voltado para o setor elétrico. Em seu lugar criou-se a Nuclebrás (Empresas Nucleares Brasileiras), entrando em cena a empresa alemã KWU/Siemens. Nasceu assim o chamado Programa Nuclear Brasil-Alemanha, que se transformou em ponto de honra para o governo do general Ernesto Geisel e seu ministro Shigeaki Ueki, com o embaixador Paulo Nogueira Batista na presidência da Nuclebrás.

A vantagem da proposta da KWU sobre a da Westinghouse foi o compromisso assumido pelos alemães de transferir – juntamente com o projeto e os componentes das primeiras usinas a serem implantadas no Brasil – toda a tecnologia do ciclo de combustível nuclear, inclusive a do enriquecimento e, principalmente, a do reprocessamento.

Oficialmente, não se sabe se houve algum interesse das Forças Armadas por esse projeto, nem se isso foi decisivo para a concretização do Acordo Nuclear com a Alemanha.

Nessa época a Eletrobrás trabalhava na elaboração do inventário do potencial hidrelétrico brasileiro, estendendo-o por todo o país.

Até então era consenso no setor elétrico que, em médio prazo, o Brasil precisaria complementar a geração hidrelétrica mediante a instalação de parques nucleares.

Entretanto, na medida em que a Eletrobrás avançava na elaboração do inventário hidrelétrico, começava-se a perceber que um programa de geração eletronuclear seria inadequado, não apenas pelos elevados custos, mas também por motivos estratégicos, pois um tal programa desviaria recursos que seriam aplicados de maneira muito mais favorável ao Brasil se fossem destinados ao desenvolvimento das fontes renováveis de energia, que mais cedo ou mais tarde, constituirão a principal fonte de energia elétrica do mundo, uma vez que as centrais nucleares e as termelétricas convencionais dependem de fontes primárias de energia que não são renováveis, ou seja, um dia vão se esgotar, queiramos ou não.

Nos dias de hoje, em função do maior conhecimento a respeito dos potenciais hidráulico, eólico e fotovoltaico, e das possibilidades de se interligarem os parques eólicos ao sistema hidrelétrico, estamos ainda mais convencidos de que o Brasil poderá ser um dos primeiros grandes países do mundo dotado de um sistema elétrico inteiramente sustentável.

Do ponto de vista institucional, o setor nuclear brasileiro é manifestamente fraco e influenciável pelo *lobby* nuclear. Ainda mais porque não existe no Brasil uma entidade de fato independente, para supervisionar e controlar as atividades nucleares e isto representa um altíssimo risco para a população.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear deveria exercer esta função, mas ela não tem poderes para controlar as atividades da Eletronuclear – muito menos para embargar a construção de uma central nuclear, mesmo que esta possa colocar a população em risco.

O acidente de Fukushima mostrou como uma situação como esta pode ser perigosa.

De fato, o risco de acidente nuclear é muito pequeno, mas não existe obra de engenharia perfeita. Acidentes das proporções do de Fukushima podem sobrevir por motivos imprevisíveis, como ocorreu, por exemplo, em Harrisburg (Three Mile Island) e Chernobyl, onde não houve nenhum terremoto ou tsunami. E acidentes nucleares apenas começam no local e no momento em que ocorrem, depois vão se propagando de forma devastadora sobre extensas regiões, ao longo

do tempo, comprometendo a saúde da população por dezenas de anos, como até hoje está acontecendo em consequência do acidente de Chernobyl, sobre vastas região da Ucrânia e da Bielorrússia.

O que ocorreu em Fukushima foi que a agência japonesa equivalente à nossa Comissão Nacional de Energia Nuclear, que é a Agência Japonesa de Segurança Nuclear, é vinculada ao Ministério da Economia, cuja política era sujeita ao forte *lobby* da indústria nuclear. Além disso, a referida agência é muito influenciada pela Tepco, empresa que contratou a construção da usina de Fukushima e era a sua proprietária.

No caso brasileiro, a Comissão Nacional de Energia Nuclear – que é vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia – é muito influenciada pela Eletronuclear, do Ministério de Minas e Energia, que se tem mostrado vulnerável ao *lobby* nuclear.

Este *lobby* exibe o seu poder na estruturação do financiamento para a construção de Angra III. Ao ter negada a garantia Hermes para o financiamento de bancos europeus, a Eletronuclear voltou-se para a Caixa Econômica Federal, cuja razão de ser é o apoio a programas de interesse direto das pequenas e médias empresas e, evidentemente, dos extratos sociais de baixa renda, nos setores da agricultura familiar e habitacional.

No Brasil a construção de usinas eletronucleares representaria uma aplicação equivocada de recursos públicos, que trariam maiores benefícios para o país se fossem destinados a programas que efetivamente contribuíssem para melhorar a qualidade de vida de nossa população, que em grande parte vive na penúria.

No que diz respeito aos profissionais que se especializaram em engenharia nuclear e foram treinados para trabalhar nas usinas de potência, são, em sua maioria, engenheiros mecânicos e eletrotécnicos. Caso o governo finalmente resolva desativar o programa de geração eletronuclear, esses profissionais decerto encontrarão mercado de trabalho no setor privado, em empresas industriais dos setores de construção mecânica, eletroeletrônico, construção pesada, etc.

Os poucos físicos que estão na mesma situação poderão seguir suas carreiras em estabelecimentos industriais que utilizem radioisótopos para controle de qualidade e de produção; clínicas médicas e radiológicas. Aqueles que preferirem o setor público encontrarão seus caminhos em instituições de pesquisa tais como o Ipen (ex-IEA), o CENA/USP (Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo) e diversas universidades que desenvolvem atividades de pesquisa nuclear.

ORIGEM DA AIEA E SEU PAPEL NO DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR NO BRASIL

■ Por iniciativa dos Estados Unidos, sob a presidência do general Eisenhower, foi lançado em 1953 o programa Átomos para a Paz, visando a aproveitar em atividades pacíficas a tecnologia que tinha sido desenvolvida no Projeto Manhattan, para a produção da bomba atômica.

Nesse contexto foi proposta a instituição de uma agência vinculada à ONU, para cooperar com os países membros na formação de técnicos e na estruturação de centros de pesquisa voltados para a energia nuclear.

Assim, em 1956 a ONU criou a Agência Internacional de Energia Atômica, com o objetivo de cooperar com os países membros em aplicações civis da energia nuclear (por exemplo, atividades biomédicas, aplicações industriais e agrícolas e produção de energia elétrica).

Na realidade, a AIEA teve, também, uma forte motivação estratégica, relacionada à política dos Estados Unidos de equipar seus aliados na Europa Ocidental para fazer frente a possíveis ameaças da União Soviética, naquela época de *guerra fria*.

Entretanto, deve-se enfatizar que é de fundamental importância a atuação da AIEA como controladora das atividades nucleares nos países signatários do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares.

Igualmente importante é sua participação em programas voltados para a utilização de radioisótopos nos países em desenvolvimento, nos setores agrícola, biomédico e industrial. Os programas de cooperação técnico-científica da AIEA têm sido de grande importância para o desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil.

No tocante ao setor energético, a AIEA é excessivamente otimista, seja no que diz respeito à competitividade da fissão nuclear como fonte para a geração elétrica; seja em relação à segurança das usinas nucleares; seja ainda quanto à viabilidade dos reatores “Fast Breeders”, que garantiriam a perenidade das reservas de materiais físséis.

Sobre a segurança das usinas, aquela agência chegou a afirmar que “... num reator RBMK, como o de Chernobyl, um colapso do sistema de refrigeração primária seria praticamente impossível...”. Esta afirmação está no Boletim da AIEA, Vol. 25, nº 2, p.51. Poucos meses depois, um colapso na refrigeração primária provocou naquela usina o acidente mais grave até então causado pela indústria nucle-

ar. Além disso, constata-se uma grande divergência entre os dados epidemiológicos levantados por eminentes pesquisadores ucranianos e bielorrussos, referentes às fatalidades direta ou indiretamente provocadas pelo acidente – e os números divulgados pela AIEA, que tendem a minimizar a gravidade daquele acidente.

De resto, em sua origem, a AIEA foi muito bem recebida e mesmo incentivada por algumas poderosas corporações de setores como os de equipamentos elétricos, construção mecânica e caldeiraria pesada, que já descortinavam um promissor mercado para a exportação de usinas nucleares “turn key” ou de tecnologia e componentes para a implantação de usinas nucleares.

Vem daí o empenho da AIEA na promoção de exportações da indústria nuclear dos países desenvolvidos, para países que tenham capacidade econômica para construir essas usinas – mesmo que estes disponham de fontes primárias renováveis mais baratas e menos problemáticas do que a fissão nuclear.

APROVEITAMENTO SUSTENTÁVEL DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO

■ Ao lado de requisitos técnicos, econômicos e ambientais, o aproveitamento do potencial hidrelétrico deve respeitar o direito dos habitantes das regiões a serem alagadas, cabendo ao governo a responsabilidade de acomodar as populações ribeirinhas, mediante a execução de programas de reassentamento planejados em cooperação com as lideranças locais.

Esta é uma *conditio sine qua non* para a construção de reservatórios de acumulação na Amazônia, sem os quais a curva de armazenamento de energia será cruzada pela curva de aversão ao risco de escassez – e o sistema elétrico brasileiro entrará em colapso.

No entanto, determinados segmentos da sociedade têm a percepção de que a geração hidrelétrica é invariavelmente deletéria, por causar a “artificialização das bacias hidrográficas” e a degradação da qualidade de vida das populações locais.

Devido a essa percepção equivocada, o Brasil corre o risco de ser obrigado a imitar países que, não dispondo de vantagens como as brasileiras, têm que apelar para as ambientalmente deletérias usinas termelétricas convencionais e/ou para as centrais nucleares, expondo suas populações ao risco de acidentes catastróficos, como os que por muito pouco não aconteceram há 33 anos em Three Mile Island e há 29 anos em Saint-Laurent-des-Eaux – e de fato aconteceram há 26 anos em Chernobyl e há 3 anos em Fukushima.

Na verdade, os reservatórios hidrelétricos podem ser aproveitados para múltiplas finalidades, tais como regularização de vazões, transporte fluvial, irrigação

de grandes áreas visando à produção agrícola, pesca interior, turismo ecológico, etc. Todos esses usos requerem a proteção das nascentes e a preservação das matas ciliares, sendo, portanto, ambientalmente benéficos – ao contrário do que supõem os adversários emocionais dos reservatórios hidrelétricos.

Um notável exemplo de uso múltiplo de bacia hidrográfica é o da usina hidrelétrica de Três Marias, originalmente projetada apenas como reservatório de regularização, para irrigar 100 mil hectares do Projeto Jaíba, em Minas Gerais. Esse reservatório (que cobre uma área maior do que o dobro da Baía da Guanabara) é responsável pelo desenvolvimento da outrora paupérrima região nordeste de Minas. A geração hidrelétrica foi apenas uma decorrência de sua construção.

Outro exemplo é o da hidrelétrica de Sobradinho, que permitiu o desenvolvimento do maior polo de fruticultura irrigada do Brasil (Veiga Pereira *et al.*, 2012).

Ainda outros exemplos são algumas hidrelétricas da Light e da Cesp, cujos reservatórios regularizam a vazão da bacia do rio Paraíba do Sul e permitem a captação de água para a região metropolitana do Rio de Janeiro e algumas cidades do trecho paulista daquela bacia.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, o potencial hidrelétrico brasileiro passível de ser técnica e economicamente aproveitado nas atuais condições de tecnologia é de 250 GW, dos quais 83 GW já estão em aproveitamento (EPE, 2012).

Dos 167 GW que ainda poderiam ser aproveitados, cerca de 108 GW situam-se na Amazônia e 59 GW nas demais regiões do país.

Admitamos que, por motivos sociais, 20% do potencial amazônico permaneçam intocados. Admitamos também que, devido às mudanças climáticas, reduza-se a energia natural afluyente, assegurada pelo fluxo dos rios da região. Aqui, o maior impacto do desmatamento na Amazônia deverá ser sobre a bacia do rio Xingu, onde a descarga poderá diminuir de 11% a 17% em relação ao cenário com a floresta preservada. (Stickler, 2014)

Tomando-se o caso mais desfavorável (vazão reduzida em 17%) restariam 72 MW a serem instalados na Amazônia. Suponhamos, ainda que, por motivos ambientais, 10% do potencial das demais regiões fiquem intocados.

Sobraria, então, um potencial da ordem de 53 GW, fora da região amazônica.

Assim, em adição aos 83 GW já em aproveitamento, ainda poderiam ser construídas hidrelétricas totalizando uma capacidade da ordem de 125 GW, de modo que o parque hidrelétrico brasileiro, como um todo, poderá ter uma capacidade total de 208 GW.

A fim de assegurar que a energia armazenada seja suficiente para suprir o sistema durante as estações secas, o volume global dos reservatórios brasileiros

deverá duplicar, tornando indispensável a implantação dos grandes reservatórios já inventariados e ambientalmente passíveis de serem aproveitados, em particular na Amazônia.

Neste caso, a área alagada seria inferior a 1% da área daquela região (incluindo-se a área normalmente já ocupada pelos rios, nas estações chuvosas). Parece claro que tal impacto pode ser assimilado em pouco tempo pelo ecossistema regional.

Assinale-se que, por comprometerem a vazão dos rios, as alterações causadas por desmatamentos inviabilizariam as próprias hidrelétricas (Carvalho, 2012). Por isso, os empresários e concessionário de usinas hidrelétricas devem ser os maiores interessados na preservação do ecossistema amazônico e, ao atribuir concessões para a exploração de usinas hidrelétricas na região, o governo deve adotar a política de obrigar contratualmente (sob pena de multas e cassação das concessões) os concessionários a manterem guardas florestais, com a atribuição de fiscalizar e proteger as nascentes, matas ciliares e outros ecossistemas sensíveis, situados na região de influência dos reservatórios.

O POTENCIAL EÓLICO

■ Em 2001, o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Eletrobrás/Cepel) realizou um inventário do potencial eólico brasileiro, estimando-o em 143,5 GW para turbinas encontradas no mercado, instaladas em torres de 50 metros.

Estudos mais recentes mostram que, com o desenvolvimento de turbinas mais eficientes e torres mais altas, o potencial pode superar 215 GW.

As perspectivas de se inventariar um potencial ainda maior são muito auspiciosas, com os ganhos de escala e aprendizado, resultantes do desenvolvimento tecnológico e da nacionalização da cadeia produtiva eólica (Ricosti, Sauer, 2012).

Acresce que as mudanças climáticas deverão causar um impacto bastante positivo sobre o potencial eólico (Schäffer, 2011).

Naturalmente, a implantação de parques eólicos deve ser planejada por forma a evitar que interfiram nas rotas de migração da fauna alada, ou provoquem impactos acústicos acima de limites toleráveis, em regiões habitadas.

UM SISTEMA HIDROEÓLICO

■ Um sistema como brasileiro, que interligue de forma racional e eficiente os parques hidrelétrico, eólico e térmico a biomassa com as capacidades e fatores de capacidade indicados na tabela 1, poderá gerar cerca de 1.238 TWh por ano.

TABELA I. Sistema Elétrico Interligado

Parque gerador	Capacidade (GW)	Fator de capacidade *
Hídrico	208	0,43
Eólico	215	0,22
Térmico a bagaço	15	0,30

*Conservadoramente, tomamos fatores de capacidade isolados e baixos. No sistema interligado, o f.c. deve superar a média ponderada dos sistemas isolados.

As usinas térmicas a bagaço de cana também seriam interligadas à rede básica. Segundo a União da Agroindústria Canavieira, estas usinas poderão, em conjunto, adicionar à rede uma capacidade de 15 GW (Única, 2.008).

As termoelétricas a gás natural já existentes seriam acionadas (com suprimento flexível de combustível) apenas em períodos hidroelétricos críticos, otimizando a operação do sistema e servindo como seguro para reduzir riscos de racionamento (Carvalho e Sauer, 2012).

* * *

■ Para interligar-se o sistema na forma acima descrita, será necessário realizar grandes investimentos na modernização dos sistemas de transmissão e distribuição, inclusive mediante o emprego de tecnologias avançadas, como as redes inteligentes (*smart grids*), para que o despacho dos parques eólicos seja continuamente associado ao despacho das hidrelétricas, elevando consideravelmente o fator de capacidade do sistema interligado (Carvalho, 2012).

Igualmente necessário é que o planejamento do setor energético seja mais abrangente, siga diretrizes estratégicas bem definidas para o longo prazo e seja normativo, diferentemente dos planos feitos nos dias de hoje, que são influenciados pela conjuntura política, por pressões corporativas e até por interesses mercantis de curto prazo.

E será indispensável que a Empresa de Pesquisa Energética e o Operador Nacional do Sistema sejam formalmente vinculados, a fim de compatibilizar os planejamentos de curto e médio prazos, com a operação do sistema; evitando os desentendimentos que têm colocado em risco o suprimento de energia, embora a afluência mínima dos rios brasileiros, em seu conjunto, não tenha passado por mínimos inferiores a 15% abaixo da afluência média, nos últimos 10 anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS.

■ Neste artigo não foi quantitativamente considerado o potencial fotovoltaico, o qual – com o desenvolvimento tecnológico nos campos dos semicondutores e das redes inteligentes – poderá desempenhar um papel muito importante no sistema elétrico brasileiro. Já em 2.014, a Alemanha, por exemplo, que é um dos países mais avançados no uso da energia solar direta, tinha, uma capacidade de 38,1 GW em painéis fotovoltaicos, podendo gerar cerca de 31,5 TWh de energia elétrica no ano (Fraunhofer, novembro de 2.014).

No presente artigo também não foi considerado o potencial energético dos mares (energia das ondas, das marés, das correntes marinhas, etc.). Considerando que o Brasil tem mais de 8 mil quilômetros de costa atlântica, presume-se que este potencial seja significativo.

No artigo também não foi tomado em conta o aproveitamento de resíduos urbanos em minicentrals termelétricas que, em conjunto, podem ter um potencial muito grande, dada a magnitude do problema colocado pelo descarte desses resíduos, num país de população urbana superior a 160 milhões de habitantes.

Quanto aos custos da energia elétrica, estes compõem-se de uma parte fixa, correspondente à amortização do capital investido – e de uma parte administrável, composta pelas despesas necessárias ao funcionamento da usina geradora.

A parte fixa abrange as despesas incorridas na implantação da usina (projetos, equipamentos, construção, montagem e testes), e a parte administrável compreende as despesas de operação e manutenção, seguros, salários, encargos trabalhistas, etc. Modicidade tarifária implica racionalização dessas despesas, sendo, portanto, incompatível com pressões corporativas e interesses mercantis de curto prazo.

No caso das usinas nucleares, há também os custos do combustível, do descomissionamento ao fim da vida útil e da administração dos rejeitos radiativos.

Os custos efetivamente praticados devem ser estabelecidos por meio de negociações entre o poder concedente e o investidor, nas quais entram critérios subjetivos tais como “atratividade” para o investidor e “razoabilidade” para os consumidores; daí o imperativo ético de que o processo seja absolutamente transparente.

Calcula-se que, no Brasil, o custo da energia hidrelétrica fique em cerca de R\$ 80/MWh e o da nuclear em R\$ 200/MWh (Carvalho, Sauer, 2009).

Entre ambos vem a energia eólica, que foi negociada por algo em torno de R\$ 140/MWh, em recentes leilões promovidos pela EPE, do Ministério de Minas e Energia.

CONCLUSÃO

■ À guisa de conclusão, podemos afirmar que um sistema hidroelétrico estruturado nas condições brasileiras seria inteiramente sustentável e teria capacidade para cobrir indefinidamente a demanda brasileira por energia elétrica.

De fato, como foi mostrado no item “Um sistema hidroelétrico”, graças aos seus imensos potenciais hídrico e eólico, o Brasil poderá estruturar um sistema hidroelétrico capaz de gerar, de forma renovável e sustentável, cerca de 1.238 TWh por ano.

Assim, a partir de 2.050, quando, segundo o IBGE, população estará estabilizada em 215 milhões de habitantes, o sistema hidroelétrico teria capacidade para oferecer ao país, em caráter permanente, algo em torno de 5.760 kWh por habitante por ano.

Isto significa que, apenas com o aproveitamento de fontes de energia limpas e sustentáveis, o Brasil poderá, em matéria de energia elétrica, equiparar-se a países europeus altamente desenvolvidos.

Por fim, é importante ter em mente que, a partir de um patamar razoável, o bem estar de uma sociedade não depende, necessariamente, do crescimento à *outrance* da produção física, nem de um grande consumo de energia.

Países como a Suíça e a Alemanha, por exemplo, não crescem desmesuradamente e, em termos *per capita*, consomem três vezes menos energia do que os Estados Unidos, no entanto os suíços e alemães desfrutam de uma qualidade de vida superior à dos norte-americanos.

Em outras palavras, o desenvolvimento deve ser buscado através do aprimoramento da educação e da saúde pública, do aperfeiçoamento dos processos de produção e da qualidade dos produtos, da racionalização da infraestrutura de telecomunicações e dos sistemas de transportes e assim por diante – e, naturalmente, do uso racional da energia para essas finalidades (Carvalho, 2011).

Se não for assim, carece de sentido o crescimento a qualquer custo, tão ansiosamente almejado por determinadas correntes de economistas.

JOAQUIM FRANCISCO DE CARVALHO · Mestre em engenharia nuclear e doutor em energia pela USP. Foi diretor industrial da Nuclen (atual Eletronuclear).

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, J.F. O espaço da energia nuclear no Brasil, *Estudos Avançados*, v 26, nº 74, p. 293-308, doi:10.1016/j.enpol.2008.12.020, 2012.
- CARVALHO, J.F. SAUER, I.L. Does Brazil need nuclear power plants?, *Energy Policy*, v. 37, p. 1580-1584, 2009.
- CARVALHO, J.F. Measuring economic performance, social progress and sustainability using an index. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2011.
- EPE – Balanço Energético Nacional, 2012.
- FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME – ISE, novembro de 2014
- RICOSTI, J.C. SAUER I.L., An Assessment of Wind Power Prospects in the Brazilian Hydrothermal System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 19, p. 742–753 2013.
- SCHÄFFER, R. Vulnerabilidade do Sistema Hidroelétrico Brasileiro às Mudanças Climáticas no Brasil, IV Conferência Regional sobre Mudanças Globais: O Plano Brasileiro para um Futuro Sustentável -Painel Segurança Hídrica, 2011.
- STICKLER, C. M. *et all.* Dependence of hydropower energy generation on forests in the Amazon Basin at local and regional scales, PNAS Early Edition, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1215331110
- ÚNICA – União da Indústria da Cana de Açúcar. A Importância do etanol e da co-geração na atual matriz energética brasileira e os principais desafios, 2008.
- VEIGA PEREIRA, M.; KELMAN, R e CASTRO, T. Energia hidrelétrica e outras fontes renováveis. In: *Opção pela Energia Hidrelétrica e Outras Fontes Renováveis*, Forum Nacional, INAE, 2012.