

**ADMINISTRAÇÃO ENERGÉTICA E ANÁLISE TENDENCIAL DE CUSTOS
ECONÔMICOS DE FONTES DE GERAÇÃO NO BRASIL**

***ENERGY MANAGEMENT AND ANALYSIS OF TREND ECONOMIC COSTS OF
GENERATING SOURCES IN BRAZIL***

Fabricio Quadros Borges (UNAMA) *doctorborges@bol.com.br*

Jonathas Ribeiro Chotoe (UNAMA) *masterborges@bol.com.br*

Luiz Benedito Varela (UNAMA) *vatraz@yahoo.com.br*

Endereço Eletrônico deste artigo: <http://www.raunimep.com.br/ojs/index.php/regen/editor/submissionEditing/628>

Resumo

Objetiva analisar comparativamente a tendência de variação dos custos econômicos das fontes de geração de energia elétrica no Brasil. Diante do desafio da Administração pública no setor energético em diversificar a matriz elétrica nacional, o estudo pretende questionar qual fonte de geração de eletricidade apresenta uma tendência de redução de custos econômicos capaz de contribuir para a viabilização de seus investimentos junto à diversificação da matriz elétrica. Os custos econômicos de geração de eletricidade sempre pautaram debates dentro da administração pública, especialmente na administração energética. As informações de custos de cada fonte de geração de eletricidade compreendem poderosas ferramentas para elaborar estratégias de diversificação de matrizes elétricas. A disponibilidade e uso destas fontes de geração apresentam desafios permanentes aos governos na medida em que procuram identificar fontes capazes de atender demandas de maneira sustentável. A geração de energia elétrica no Brasil baseia-se, notadamente, na utilização da força da água através de grandes usinas hidrelétricas. Este quadro está alicerçado na abundância de recursos naturais a baixos custos em termos relativos; porém, a questão que se coloca para o futuro é se o país terá condições de manter esta vantagem competitiva e ainda garantir à população o amplo acesso a este insumo considerando que a geração de eletricidade no país tem crescido a uma taxa média anual de 5% ao longo dos últimos 20 anos. O debate sobre o uso de energias alternativas à hídrica vincula-se à discussão do melhor caminho a se seguir para a expansão e diversificação do setor elétrico e sobre a magnitude desta expansão, pois há a possibilidade de

se conseguir ganhos de eficiência energética ao longo do tempo e de se encaminhar uma política econômica que leve a uma menor necessidade de energia. A metodologia desta pesquisa se classifica quanto aos objetivos como exploratória, quanto aos procedimentos como bibliográfica e documental, e quanto a abordagem do problema de pesquisa como qualitativa e quantitativa. A investigação baseou-se em dados secundários e utilizou aplicações estatísticas capazes de observar comparativamente a variação dos custos econômicos das fontes de geração de eletricidade entre 2000 e 2012. O estudo verificou que as fontes alternativas complementares à geração hidrelétrica recomendadas ao país, pela tendência acentuada de redução de custos econômicos, foram as fontes solar e eólica. Neste sentido, recomenda-se estrategicamente atenção à possibilidade de direcionar investimentos notadamente às fontes solar e eólica para a geração de energia elétrica, consideradas as peculiaridades locais de utilização. Estas fontes são consideradas limpas e renováveis e caracterizadas como fontes de energia sustentáveis.

Palavras-Chaves: Administração energética. Custos econômicos. Fontes de geração. Energia elétrica. Matriz elétrica.

Abstract

Objective comparatively analyze the trend of variation of the economic costs of the sources of power generation in Brazil. Faced with the challenge of public administration in the energy sector to diversify the national energy matrix, the study aims to question what source of electricity generation has a tendency to reduce economic costs that contribute to the viability of their investment with the diversification of the energy matrix. The economic costs of electricity generation always guided debates within the public administration, especially in energy management. The cost information for each source of electricity generation include powerful tools to develop diversification strategies electrical grids. The availability and use of these generation sources present continuing challenges to governments as they seek to identify sources able to meet demands in a sustainable manner. The electricity generation in Brazil is based, notably, the use of water power through large hydroelectric plants. This framework is grounded in the abundance of natural resources at low cost in relative terms; however, the question that arises for the future is whether the country will be able to maintain this competitive advantage and still provide the population broad access to this input considering that the generation of electricity in the country has grown at an average annual rate of 5% over the past 20 years. The debate on the use of alternative energy to water is

linked to the discussion of the best way to go for expansion and diversification of the electricity sector and the magnitude of this expansion, because there is the possibility of achieving energy efficiency gains over time and to forward an economic policy that leads to a reduced need for energy. The methodology of this research is classified as exploratory about the objectives, the procedures as bibliographic and documentary, and as the search problem approach as qualitative and quantitative. The research was based on secondary data and used statistical applications able to observe compared the variation of the economic costs of the sources of electricity generation between 2000 and 2012. The study found that the additional alternative sources to hydroelectric generation in the country recommended by the sharp trend reduction of economic costs were as solar and wind sources. In this sense, it is recommended strategically attention to the possibility of direct investments mainly to solar and wind power to generate electricity, considering the local peculiarities of use. These sources are considered clean and renewable and characterized as sustainable energy sources.

KeyWords: Energy Administration. Economic costs. Generation sources. Electricity. Energy matrix.

Artigo recebido em: 08/08/2014

Artigo aprovado em: 23/10/2014

1. Introdução

A análise de custos econômicos de geração de eletricidade sempre foi tema relevante dentro da administração pública, especialmente na administração energética. As informações de custos de cada fonte de geração de eletricidade compreendem poderosas ferramentas para elaborar estratégias de diversificação de matrizes elétricas. A disponibilidade e uso destas fontes de geração apresentam desafios permanentes aos governos na medida em que procuram identificar fontes capazes de atender demandas de maneira sustentável. A geração de energia elétrica no Brasil baseia-se, notadamente, na utilização da força da água através de grandes usinas hidrelétricas. Este quadro está alicerçado na abundância de recursos naturais a baixos custos em termos relativos; porém, como bem observam Tolmasquim *et al* (2007), a questão que se coloca para o futuro é se o país terá condições de manter esta vantagem competitiva e ainda garantir à população o amplo acesso a este insumo considerando que a geração de eletricidade no país tem crescido a uma taxa média anual de 5% ao longo dos últimos 20 anos.

O debate sobre o uso de energias alternativas à hídrica vincula-se à discussão do melhor caminho a se seguir para a expansão e diversificação do setor elétrico e sobre a magnitude desta expansão, pois há a possibilidade de se conseguir ganhos de eficiência energética ao longo do tempo e de se encaminhar uma política econômica que leve a uma menor necessidade de energia (CESARETTI, 2010). O autor ainda destaca que é difícil fazer comparações entre as várias fontes devido às suas diferentes características quanto à viabilidade econômica dos projetos e aos impactos sociais e ambientais. Os critérios utilizados para a expansão do setor elétrico são basicamente ligados às questões econômicas, sociais, ambientais, políticas e tecnológicas. Até os anos de 1970, os critérios econômicos eram determinantes nas decisões de investimento no setor elétrico nacional. A partir dos anos de 1980, apesar do surgimento do referencial normativo do desenvolvimento sustentável que orienta que as questões econômicas devam ser tratadas de forma associada e equilibrada às questões sociais e ambientais na construção de uma sociedade mais justa (REIS e CUNHA, 2006; GOLDEMBERG e LUCON, 2008), a preponderância dos critérios econômicos continua sendo eixo central na medida em que a dificuldade de prática do desenvolvimento sustentável reside no fato de que os interesses econômicos não são submissos às noções da ética socioambiental. O desenvolvimento sustentável supõe uma nova ordem internacional que ignora as relações de poder que são atuantes no mercado mundial em favor da garantia de qualidade de vida para as gerações futuras. E contrariamente a este ideário, os interesses econômicos das nações industrializadas em manter a posição de vantagem no panorama internacional são preponderantes às questões de ordem socioambientais (REDCLIFT, 1987; KITAMURA, 1994; SPANGENBERG, 2000; COSTA e TEODÓSIO, 2011).

Diante deste contexto, os países precisam acompanhar padrões competitivos e a possibilidade de ampliação da inserção de fontes alternativas de geração a partir de custos módicos representa uma necessidade. Estudos de Shayani *et al* (2006), sobre comparação dos custos entre a energia solar fotovoltaica e fontes convencionais, e de Cesaretti (2010), a respeito de comparações entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos, além das investigações de Chaim (2011), a partir da análise de custos de fontes alternativas de energia contribuíram nos últimos anos para o aperfeiçoamento das análises de custos de fontes de eletricidade no Brasil, mas não tiveram como preocupação uma observação de possíveis padrões tendenciais ao longo de períodos na tentativa de fornecer subsídios ao processo decisório no setor elétrico envolvendo simultaneamente as fontes hídrica, solar, eólica e biomassa. Assim, atribuindo continuidade a este ambiente de estudo, este artigo possui o objetivo de analisar comparativamente a tendência de variação dos custos

econômicos de algumas fontes alternativas de geração de eletricidade no Brasil. A investigação pretende questionar: qual fonte de geração de energia elétrica apresenta uma tendência de redução de custos econômicos capaz de contribuir à viabilização de seus investimentos junto à ampliação do processo de diversificação da matriz elétrica brasileira? Parte-se da hipótese de que a identificação de possíveis tendências de redução de custos econômicos em fontes de geração de eletricidade, associadas a investimentos públicos e privados nas cadeias produtivas destas fontes, seriam capazes de fortalecer a diversificação da matriz elétrica.

Esta investigação justifica-se pela necessidade do Brasil em desenvolver investimentos em geração de energia elétrica de modo a atender demandas através de custos energéticos cada vez mais viáveis, assim como, é motivada pela contribuição, através de subsídios, ao processo de tomada de decisão junto a diversificação da matriz elétrica nacional.

2. Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade da Matriz Elétrica

A energia elétrica tem sido tratada como um bem de natureza estratégica que transita por dimensões econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas. As condições de disponibilidade de energia elétrica em quantidade, qualidade e custos competitivos determinam a capacidade das sociedades assegurarem determinado padrão de vida. Este padrão, porém, muitas vezes é construído a partir da utilização de fontes de eletricidade causadoras de significativos impactos ao meio ambiente considerando que lançam gases na atmosfera que provocam o efeito estufa e colaboram para o aquecimento global (BORGES e ZOUAIN, 2010). Diante deste contexto, a necessidade de diversificação da matriz elétrica brasileira representa hoje um dos maiores desafios ao setor elétrico nacional.

No Brasil, a organização institucional do setor elétrico assumiu destaque em virtude do racionamento de eletricidade, imposto à sociedade brasileira pelo setor entre 2001 e 2002. Este panorama trouxe ao debate público a vulnerabilidade do então atual modelo do setor elétrico brasileiro. De acordo com Kirchner (2003) é inquestionável que o referido modelo não cumpriu o seu papel em todos os aspectos na medida em que ocasionou o aumento nas tarifas, ausência de energia, a não atração de investimentos e o endividamento das empresas do setor. A garantia do funcionamento do Estado e da realização dos direitos estabelecidos

pela Constituição Federal à sociedade brasileira pressupõe o fornecimento de energia elétrica já que estes serviços são incontestavelmente essenciais (KIRCHNER, 2003).

Neste contexto, o Governo Federal precisava estruturar um modelo para o setor elétrico que garantisse o aumento da oferta a contento do crescimento econômico brasileiro. O novo modelo começou a ser desenhado em 2003 e teve como marco legal o ano de 2004. Assim, de acordo com a Lei 10.848/2004, o país possuía um novo modelo para o setor energético em operacionalização gradual. O modelo procura desenvolver políticas públicas direcionadas à promoção da cadeia de energia elétrica.

O setor passaria a tratar dos critérios gerais de garantia de suprimento de energia elétrica que assegurem o equilíbrio adequado entre confiabilidade de fornecimento e modicidade de tarifas e preços da comercialização de eletricidade entre: concessionários, permissionários e autorizados de serviços e instalações de energia elétrica, incluindo as relações destes com seus consumidores no Sistema Interligado Nacional (SIN), assim como dos mecanismos de proteção aos consumidores (BRASIL, 2004).

De acordo com o novo modelo, o setor elétrico brasileiro, para a realização de seus propósitos, passa a fazer uso de funções estratégicas que procuram desenvolver suas ações, através de uma estrutura institucional integrada. Estas funções são: a formulação de políticas e diretrizes; o planejamento e a garantia do equilíbrio entre oferta e procura; a regulação e a delegação do poder concedente; a supervisão, o controle e a operação dos sistemas; a contabilização e a liquidação; e a execução e prestação dos serviços (BRASIL, 2004).

O setor elétrico constitui-se em uma organização social formada de relações sistêmicas que envolvem o processo de transformação da energia primária até a utilização final por tipo de consumidor. Estas relações são estabelecidas entre os componentes do setor elétrico, tais como: geração, transmissão e distribuição (BORGES, 2007). O governo brasileiro, sob a influência de grandes grupos econômicos, nacionais e internacionais, e seus aliados políticos (que formam a base da “indústria das barragens”) construiu um sistema elétrico que prioriza fortemente a geração hidrelétrica, estimulando subsectores industriais e atendendo o suprimento a determinados setores em detrimento de outros (SILVA *et al*, 2012). Conforme os autores, este desenvolvimento histórico fomentou um cenário complexo de interesses que não nos permite afirmar que possa existir uma capacidade previsível de planejamento além do alcance dos empreendimentos hídricos, menosprezando a eficiência energética e outras fontes alternativas.

Este panorama, além de tornar a população detentora dos amplos impactos sociais e ambientais provenientes da construção desses grandes projetos coloca o país em uma

condição de submissão à lógica do capital na medida em que exclui suas comunidades de benefícios sociais comprometidos com a equidade, entendida aqui como o acesso à eletricidade em condições justas, em favor da ampliação do PIB nacional em curto prazo (BORGES, 2007). A possibilidade de contribuição para a modificação deste quadro reside na identificação do papel do setor elétrico na dinâmica do desenvolvimento sustentável brasileiro e na utilização de instrumentos estratégicos que forneçam condições de avaliação e orientação decisória. A matriz elétrica é um destes instrumentos.

A matriz elétrica representa a disposição futura das diversas formas de geração de Energia elétrica disponibilizadas aos processos produtivos em determinado contexto espacial. Esta ferramenta permite observar que a quantidade de energia elétrica produzida deve ter sua importância associada aos tipos de fontes de geração deste insumo, assim como às formas de acesso da população. Logo, possibilita levantar subsídios de análise na tentativa de orientar ações públicas do setor elétrico através do uso de fontes de geração que sejam mais comprometidas com o desenvolvimento sustentável (REIS *et al*, 2005). As fontes de energia elétrica compreendem insumos essenciais para o desenvolvimento sustentável. Entretanto, tão importante como sua disponibilidade interna a custos competitivos é o uso que se faz dessa energia na produção dos serviços que ela proporciona. A seguir, apresenta-se uma breve discussão a respeito da geração de energia elétrica a partir das fontes hídrica, solar, eólica e biomassa.

A geração de energia elétrica a partir de fonte hídrica se caracteriza como uma energia renovável. Como bem observa Walisiewicz (2008), as turbinas retiram energia da água corrente dos rios, usando-a para acionar geradores elétricos (sistema que transforma energia mecânica em eletricidade através da força cinética, que é devido a velocidade do fluxo da água, e da força potencial, que se refere à queda d água). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2012), em 2011, o Brasil registrou 81,9% de participação da fonte hídrica na geração de energia elétrica (Figura 1), todavia, apesar de ser caracterizada como supostamente “limpa”, ocasiona graves impactos no ciclo hidrológico e mudanças no meio ambiente de modo geral.

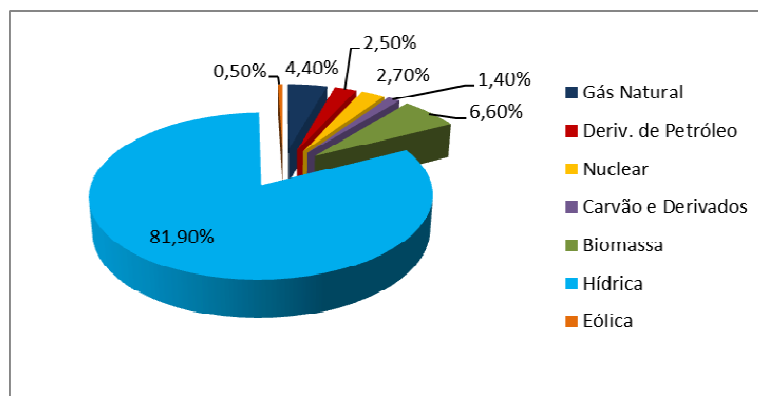


Figura 1: Fontes de geração de energia elétrica no Brasil (2011).

Fonte: EPE (2012).

As barragens favorecem o desaparecimento de espécies de fauna e flora, perda de qualidade de vida das populações atingidas e ameaçam à existência de vários grupos sociais (BORGES e ZOUAIN, 2010). O fechamento de um rio por uma barragem provoca uma alteração estrutural onde as águas passam de um sistema corrente, chamado lótico, para um sistema de água parada, chamado lêntico. Com o reservatório implantado, várias toneladas de matéria orgânica entram em decomposição no fundo da represa liberando gás carbônico e metano (FEARNSIDE, 2004). O autor observa ainda, que águas lênticas favorecem o aparecimento de plantas aquáticas (macrófitas). Assim, constata-se a emissão de dióxido de carbono pela decomposição de matéria orgânica acima da água. O metano, por sua vez, é produzido quando a decomposição ocorre no fundo do reservatório, com matéria verde e macia, como macrófitas.

Segundo Fearnside (2004), as grandes áreas de lamaçais expostas no período da seca possibilitam o crescimento de vegetação macia que, quando inundadas na cheia, sob condições anóxicas se tornam fábricas de metano. O metano seria liberado quando a pressão da água cai repentinamente no momento que a água emerge das turbinas. Portanto, a emissão de carbono pela decomposição de matéria orgânica e macrófitas em represas acaba com a ideia de que as usinas hidrelétricas produzem energia limpa. Considerando que a condição de reprodução de macrófitas é ótima nas represas, não existe nada que indique uma reversão do processo de emissão de gases do efeito estufa pelas represas paraenses em longo prazo. Destaca-se ainda outro problema relacionado às macrófitas, que é a possibilidade de aumento da densidade populacional de culicídeos. Em alguns reservatórios foram relatados a expansão dos gêneros *Anopheles* e *Mansonia*, além de outros insetos, que utilizam as macrófitas, sobretudo *Salvinia*, *Eicchornia* e *Pistia*, para se reproduzir (MARIN, 2000)

Diante deste contexto social e ambiental decorrente da implantação de empreendimentos hidrelétricos, não é surpresa a constatação a partir de estudos de Walisiewicz (2008), que indicam que as preocupações dos governos e da sociedade com os impactos decorrentes da construção de barragens reduziram notadamente o ritmo mundial de crescimento deste tipo de geração de energia elétrica a uma modesta taxa de 1,5% ao ano.

De acordo com Borges e Zouain (2010), o custo econômico para a construção de empreendimentos hidrelétricos é da ordem de R\$ 1.140,00/MW, valor considerado baixo por especialistas e que ainda se mantem após a construção dos empreendimentos. Entretanto, não estão inseridos nestes valores os custos indiretos, isto é, as externalidades.

A geração de energia elétrica baseada na fonte solar pode ocorrer de duas maneiras: indiretamente, gerada pelo uso do calor que alimenta uma central termelétrica; e diretamente, gerada pela utilização de painéis fotovoltaicos. A geração fotovoltaica tem tido muito mais aplicação, sobretudo para a alimentação de pequenos sistemas isolados, de projetos piloto e de eletrificação de equipamentos solitários (REIS *et al*, 2005). Esta forma de geração de eletricidade consiste no uso da energia térmica e luminosa captada por painéis solares, constituídos por células fotovoltaicas. Este tipo de fonte energética é considerado limpo, renovável e inesgotável.

O custo de construção de um sistema fotovoltaico tomando como referência 50 painéis de 1,98 KW/PICO é de R\$ 65.000,00 (BORGES e ZOUAIN, 2010), valor este considerado alto por especialistas, que ainda acrescentam que estes custos são em média três vezes maiores do que aqueles verificados em outras fontes.

A energia eólica é outra fonte de geração de eletricidade. Esta energia é oriunda de uma tecnologia que utiliza a força dos ventos que, por sua vez, opera turbinas ligadas a redes de eletricidade. Este tipo de fonte de energia tende a crescer notadamente em países desenvolvidos na medida em que é de natureza renovável, possui baixo custo de externalidades, não queima combustíveis fósseis e não emite gases poluentes que ocasionam o efeito estufa (BORGES e ZOUAIN, 2010).

O custo verificado para a construção de um parque eólico direcionado à geração de energia elétrica é da ordem de R\$ 1.700,00/KW (BORGES e ZOUAIN, 2010), valor este que de acordo com especialistas do setor elétrico é considerado alto. Destaca-se ainda que a relação custo benefício de investimentos em parques eólicos está condicionada a constância da velocidade dos ventos.

A geração de energia elétrica também pode utilizar como fonte a biomassa. A biomassa é um tipo de matéria que alimenta usinas a vapor de geração elétrica a partir de um

processo de queima de elementos acumulados em um determinado ecossistema. Dentre os materiais mais utilizados citam-se o bagaço de cana e os materiais lenhosos. A queima de biomassa ocasiona a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, porém, este composto foi anteriormente absorvido pelas plantas que deram origem ao combustível, o que proporciona um balanço de emissões de CO² nulo (BORGES e ZOUAIN, 2010).

O custo de construção de uma pequena central de aproveitamento de biomassa para a geração de energia elétrica é de R\$ 89,90/MW segundo a Aneel (2010) e de R\$80,00/MW conforme estudos realizados por Borges e Zouain (2010), valores avaliados como baixos por especialistas no setor energético.

3. Procedimentos Metodológicos

De acordo com a taxionomia de Raupp e Beuren (2003) esta pesquisa se classifica quanto aos objetivos como exploratória, quanto aos procedimentos como bibliográfica e documental, e quanto a abordagem do problema de pesquisa como qualitativa e quantitativa. É exploratória no momento em que procura elementos que caracterizem condições de recomendação de uma ou mais fontes de geração ao processo de diversificação da matriz elétrica pelo viés econômico. É bibliográfica e documental na medida em que se utiliza destes recursos para o levantamento de seus dados. E classifica-se como qualitativa na ocasião em que cria condições para percepção e entendimento sobre a variação dos custos econômicos das fontes de geração de eletricidade no país. E é quantitativa quando se utiliza dos custos das fontes de geração e estabelece comparações. Esta metodologia foi dividida basicamente em três etapas: coleta de dados, tratamento de dados, e análise e interpretação de dados.

A coleta de dados foi realizada a partir de um levantamento bibliográfico junto à literatura especializada e através de dados secundários como relatórios e documentos informativos. A coleta de dados secundários utilizou as seguintes fontes: CCEE, Cemig, EPE, Irena, WWF, Aneel e Eletrobras.

O custo total da energia engloba custos diretos e indiretos. Os custos diretos são aqueles que a sociedade paga de modo direto, enquanto os custos indiretos são decorrentes de impactos sociais e ambientais, como danos ambientais, despesas com saúde e outros; os custos indiretos são chamados de externalidades e sua medição é dificultosa (GOLDEMBER e LUCON, 2008). Esta metodologia considerou apenas os custos diretos que foram chamados neste estudo de custos econômicos pela natureza de sua composição e viabilidade de mensuração. Os custos indiretos não foram incluídos em virtude das restrições ocasionadas

por sua variação conforme: local de instalação da usina, tecnologia utilizada e fatores de restrição temporal e espacial de análise que nem sempre podem ser mensurados economicamente. Os custos diretos coletados em cada fonte de geração de eletricidade para a realização da análise foram levantados junto a fontes cujos cálculos respeitaram os mesmos critérios utilizados nos estudos de Cesaretti (2010), são eles: custo de investimento por MWh instalado; custo do combustível; custo de operação e manutenção; custo final da energia gerada; necessidade de linhas de transmissão; tempo de vida do empreendimento; tempo de construção; taxa de retorno e juros; importação ou balanço de pagamentos; custo de descomissionamento; fator de capacidade e domínio da tecnologia.

O período analisado neste estudo abrangeu a escala temporal entre os anos de 2000 e 2012 e considerou as seguintes fontes de geração de eletricidade: hídrica, solar, eólica e biomassa. A escolha da fonte hídrica ocorreu por caracteriza-se como a principal base de geração de eletricidade utilizada no Brasil (TOLMASQUIM *et al*, 2007) e as demais fontes (solar, eólica e biomassa) por representarem as fontes alternativas que mais ampliaram nos últimos anos suas participações nas matrizes elétricas de países desenvolvidos (WALISIEWICZ, 2008; BORGES e ZOUAIN, 2010).

O tratamento de dados realizou-se a partir da organização geral dos dados coletados de modo a observar: o nível da qualidade dos dados; a unidade de mensuração dos valores dos custos; a confiabilidade de valores levantados; a necessidade de agrupamento dos valores dos custos criando condições de comparações, e possíveis campos falhos no decorrer do período analisado.

A análise e interpretação de resultados basearam-se em procedimentos que se utilizaram da média móvel simples, do desvio padrão e do coeficiente de variação. A média móvel simples compreende um recurso utilizado para facilitar a identificação da tendência de um conjunto de dados dispostos em uma série temporal. Neste estudo, a média móvel foi calculada para cada três (3) anos.

O uso do desvio padrão neste artigo mediu a dispersão dos custos unitários das fontes de geração em torno da média. Para seu cálculo, obteve-se a média da distribuição e, a seguir, determinaram-se os desvios para mais e para menos a partir da mesma. Neste sentido, o desvio padrão (S) é a média quadrática dos desvios em relação à média aritmética da distribuição observada. O calculo utilizou a equação a seguir:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

O coeficiente de variação foi utilizado por compreender uma medida relativa de variabilidade e, portanto, indicado a esta pesquisa para comparar a precisão de diferentes custos unitários nas diferentes fontes de geração. O coeficiente é obtido a partir da seguinte equação:

$$CV = \frac{S}{X_{med}} \times 100$$

Onde:

CV é o Coeficiente de variação

S é o desvio padrão dos custos do período analisado

X_{med} é a média dos custos do período analisado

Na análise e interpretação de dados ainda foram desenvolvidas observações junto aos custos econômicos de geração de eletricidade em cada uma das fontes, de modo a identificar possíveis padrões de comportamento e tendências que possam balizar inferências a respeito da ampliação de alguma ou de algumas destas fontes dentro do processo de diversificação da matriz elétrica brasileira.

4. Análise e Interpretação de Resultados

Os custos econômicos das fontes hídrica, biomassa, eólica e solar para a geração de eletricidade no Brasil, por MWh, analisados entre os anos de 2000 e 2012 podem ser observados na Tabela 1. Verifica-se que dentre as fontes avaliadas neste estudo, a hídrica se manteve durante o período como a fonte de menor custo unitário e a solar como a de maior custo para a geração de eletricidade. O destaque, porém, ficou a cargo da fonte eólica a partir de 2011, que apresentou custos menores que os registrados pela fonte biomassa, assumindo a condição de segundo menor custo unitário entre as fontes, atrás apenas da fonte hídrica.

Tabela 1: Custos econômicos das fontes hídrica, biomassa, eólica e solar para a geração de eletricidade, por MWh (2000-2012).

| ANO | CUSTOS DE FONTES DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE (R\$/MWh) | | | |
|------|---|----------|--------|----------|
| | HÍDRICA | SOLAR | EÓLICA | BIOMASSA |
| 2000 | 140,50 | 1.780,00 | 704,00 | 440,00 |
| 2001 | 253,00 | 1.750,00 | 762,00 | 315,20 |
| 2002 | 136,00 | 1.690,00 | 590,00 | 138,00 |
| 2003 | 116,40 | 1.610,00 | 480,50 | 206,20 |
| 2004 | 120,00 | 1.540,00 | 316,00 | 169,31 |
| 2005 | 114,02 | 1.500,00 | 240,10 | 171,18 |
| 2006 | 126,77 | 709,00 | 231,00 | 132,39 |
| 2007 | 125,00 | 602,00 | 201,82 | 141,00 |
| 2008 | 106,00 | 589,50 | 197,95 | 132,00 |
| 2009 | 104,50 | 522,00 | 148,00 | 129,00 |
| 2010 | 98,20 | 503,00 | 130,86 | 122,00 |
| 2011 | 91,00 | 405,00 | 105,12 | 115,00 |
| 2012 | 87,00 | 356,20 | 99,58 | 101,75 |

Fonte: Elaborado a partir de Oliveira (2006); Rego e Hernández (2007); Costa e Pierobon (2008); Midea *et al* (2009); Cemig (2012); Aneel (2012) e CCEE (2012).

A fonte hídrica para a geração de energia elétrica durante o período de 2000 a 2012 registrou um custo anual médio de R\$ 124,49/MWh, onde o maior custo registrado foi no ano de 2001 (R\$ 253,00/MWh) e o menor em 2012 (R\$ 87,00/MWh). A inclinação de queda dos custos econômicos nesta fonte de geração foi constante, porém interrompida em 2001, 2004 e 2006, anos em que os custos econômicos superaram os do ano anterior.

O desvio padrão dos custos para a fonte hídrica no período observado foi de R\$ 41,89/MWh, o que registrou um coeficiente de variação de 33,65%, o menor dentre as fontes analisadas. O resultado deste coeficiente de variação é considerando estável no mercado de fontes de geração utilizadas no Brasil, o que indica que a cadeia produtiva da fonte hídrica está mantendo uma estabilidade de seus custos de geração.

A geração de eletricidade a partir da fonte solar, durante o período observado, apontou um custo anual médio de R\$ 1.042,82/MWh, onde o maior custo registrado foi no ano de 2000 (R\$ 1.780,00/MWh) e o menor em 2012 (R\$ 356,20/MWh). A variação dos custos da fonte solar foi a única, dentre as fontes observadas, que apresentou uma tendência constante de queda, sem oscilações (Tabela 1).

O desvio padrão dos custos para a fonte solar foi de R\$ 591,07/MWh, o que registrou um coeficiente de variação da ordem de 56,68%. O coeficiente de variação registrado indicou uma alteração consistente na redução dos custos de geração para esta fonte, o que demonstra um ambiente de variação negativa de custos ainda em alteração sugestivo aos investimentos no setor.

A fonte eólica para a geração de eletricidade durante o período observado registrou um custo anual médio de R\$ 323,61/MWh, onde o maior custo registrado foi no ano de 2001 (R\$ 762,00/MWh) e o menor em 2012 (R\$ 99,58/MWh). A tendência de queda nos custos da geração eólica, desde 2000, encontrou uma interrupção em 2001, quando registrou R\$ 762,00/MWh, 8,23% maior que no ano anterior.

O desvio padrão dos custos para a fonte eólica foi de R\$ 231,77/MWh. Este resultado proporcionou um coeficiente de variação de 71,62%, o maior no período dentre as fontes analisadas. Esta variação aponta para uma cadeia produtiva dotada de custos ainda em ampla modificação, o que também sugere ambiente para investimentos.

Quanto à análise dos custos da fonte biomassa para a geração de energia elétrica, durante o período observado, verificou-se um custo anual médio de R\$ 177,92/MWh, onde o maior custo registrado foi no ano de 2000 (R\$ 440,00/MWh) e o menor em 2012 (R\$ 101,75/MWh). A inclinação decrescente dos custos desta fonte no período foi interrompida nos anos 2003, 2005 e 2007.

O desvio padrão dos custos para a fonte biomassa foi de R\$ 96,12/MWh, o que registrou um coeficiente de variação de 54,02%. O resultado do coeficiente de variação indica um comportamento de custos ainda em ajuste e desperta alerta pelas oscilações verificadas, mas que não comprometem a tendência global de queda no período analisado nesta investigação.

A média móvel simples foi mensurada junto aos custos das fontes de geração hídrica, solar, eólica e biomassa para facilitar a análise tendencial destes custos no período estudado e foi calculada em ciclos de três (3) anos (Figura 2). O uso da média móvel demonstrou a identificação de uma tendência de redução nos custos econômicos das fontes analisadas, de maneira mais acentuada para a fonte solar e de forma mais discreta para a fonte hídrica.

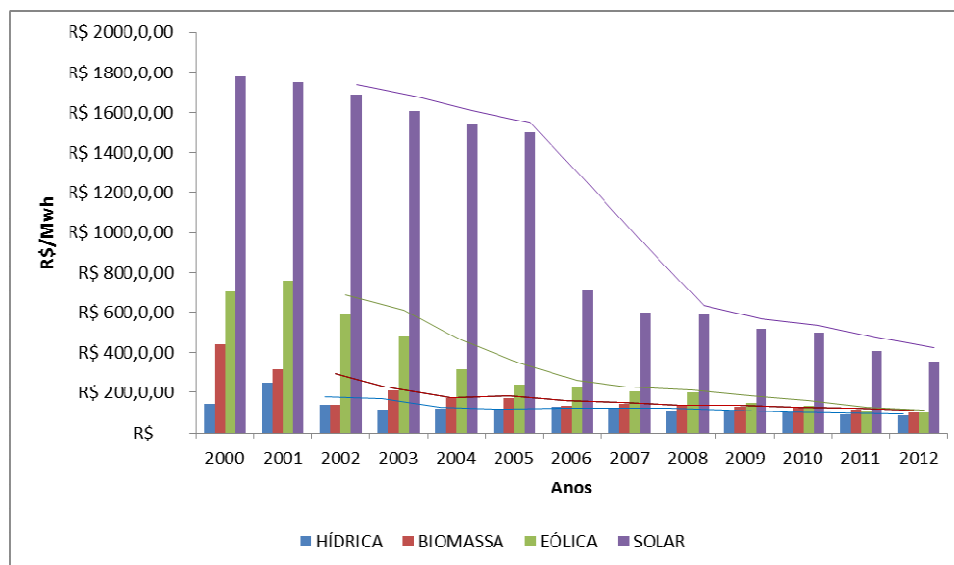


Figura 2: Análise tendencial a partir da média móvel dos custos econômicos das fontes hídrica, biomassa, eólica e solar de geração de energia elétrica (R\$/MWh) entre 2000 e 2012.

Fonte: Elaborado a partir de Oliveira (2006); Rego e Hernández (2007); Costa e Pierobon (2008); Midea *et al* (2009); Cemig (2012) e CCEE (2012); Aneel (2012) e CCEE (2012).

A fonte hídrica indicou, através de seus custos econômicos, uma média móvel com tendência de queda bastante discreta, notadamente a partir de 2002. O alto custo registrado em 2001 caracteriza uma situação atípica referente à crise do apagão ocorrida no país, que interferiu no fornecimento e distribuição de eletricidade. A crise foi decorrência da ausência de um planejamento e de investimentos em geração de energia, o que deixou o sistema vulnerável a falta de chuvas. A escassez de chuvas ocasionou a diminuição do nível de água dos reservatórios das hidroelétricas e a população brasileira se viu obrigada a racionar energia. A tendência discreta de redução de custos ocorre pela estabilidade dos baixos custos econômicos de geração a partir desta fonte.

A média móvel observada junto aos custos econômicos da fonte solar no país indicou uma destacada tendência de redução de custos unitários, o que lhe atribuiu a maior queda de custos, no período, dentre todas as fontes avaliadas neste estudo. O destaque desta queda de custos se registrou notadamente entre 2005 e 2006. O desenvolvimento de modernos painéis compostos com películas de telureto de cádmio contribuiu para a disponibilização ao mercado de níveis de eficiência capazes de traduzir a energia solar em eletricidade a partir de custos mais baixos, o que notadamente se traduziu no país entre os anos de 2005 e 2006.

A fonte eólica, através de seus custos econômicos, apontou uma média móvel com uma acentuada tendência de queda que se apresentou mais notadamente entre 2001 e 2005 e

assumiu um comportamento mais discreto entre 2006 e 2012. Esta tendência atribuiu à fonte eólica a segunda maior redução de custos unitários de geração de eletricidade dentre as fontes analisadas neste estudo, o que revela uma oportunidade econômica para o aproveitamento desta fonte, em médio e longo prazo, para a geração de energia elétrica no país, respeitadas suas peculiaridades naturais.

A média móvel verificada junto aos custos econômicos da fonte a partir do uso da biomassa no país indicou uma tendência de redução dos custos de geração que se apresentou mais severa entre 2000 e 2002 e adquiriu relativa estabilidade entre os anos de 2003 e 2012. A análise dos custos econômicos das fontes de geração de eletricidade indicou que a tendência de redução nestes custos observada na fonte biomassa supera apenas a tendência de redução verificada na fonte hídrica.

Verifica-se que todas as fontes observadas apresentam gradual redução global de seus custos econômicos por MWh. Este perfil acompanha a tendência internacional de redução de custos. De acordo com a International Renewable Energy Agency - IRENA (2012), o aperfeiçoamento dos padrões de competitividade das energias alternativas é movido a partir de uma espécie de ambiente favorável, onde os avanços de implantação destas energias estão favorecendo uma notável redução dos custos de produção de tecnologias. A agência refere-se às fontes solar, eólica e algumas tecnologias de biomassa.

As análises tendenciais dos custos econômicos das fontes solar e eólica, seguidas pela biomassa, foram as que apresentaram uma variação decrescente mais acentuada em seus custos no Brasil durante o período analisado. Esta tendência tem acompanhado o panorama internacional, estudos realizados pela WWF Brasil (2013) sobre os custos de fontes de geração de eletricidade, através do Relatório intitulado “Além das grandes hidrelétricas”, indicam que a tendência de evolução dos custos nos próximos 10 a 15 anos para as principais fontes de geração de eletricidade é crescente para a fonte hídrica e decrescente para as fontes eólica e biomassa. A solar não foi incluída na análise do relatório. De acordo com Silva *et al* (2012), os setores solar e eólico têm experimentado nítidas quedas de preços de equipamentos que, aliada ao aumento das taxas internas de retorno.

O preço no mercado mundial de um painel fotovoltaico, onde se incluem o silício, as células e os módulos fotovoltaicos, apresentou uma queda histórica entre 2000 e 2012 de aproximadamente 63%. Enquanto em 2000 o preço de um painel era de R\$ 2,75/W, em 2012 o equipamento custava R\$ 1,00/W (SOUTO, 2012). Já o preço de uma turbina eólica, onde se incluem torre, rotor, nacelle, anemômetro e gerador, apresentou apenas entre 2010 e 2011 uma queda de 62% (EXAME, 2011). A taxa interna de retorno para a geração de eletricidade, por

sua vez, alcança 8% nos empreendimentos solares e 12% nos empreendimentos eólicos (VALOR ECONÔMICO, 2012), isto é, em faixas semelhantes ao padrão da taxa interna de retorno para empreendimentos hidrelétricos que é de 10% (AGÊNCIA LEIA, 2010). A queda de preços dos equipamentos e o aumento das taxas internas de retorno para as fontes solar e eólica têm se refletido nas tendências acentuadas de redução dos custos econômicos destas fontes, demonstradas neste artigo.

Diante deste panorama, o governo brasileiro, através do Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica - Proinfa, procura desde 2002, reunir esforços para a promoção da diversificação da matriz energética nacional (ELETROBRAS, 2013). Em 2010, com o Plano decenal de expansão de energia 2019, o governo realizou uma previsão de aumento da capacidade instalada das fontes de geração de eletricidade até 2019, onde previu um aumento de 58,38% para a biomassa, 100,43% para a hídrica e 320,68% para a eólica (EPE, 2010).

A previsão de aumento da capacidade instalada de geração para a fonte eólica deverá ser fortalecida pela tendência decrescente dos custos econômicos para esta fonte, mencionada neste artigo; todavia, não se verificou, por parte do governo, uma iniciativa concreta em direção à ampliação da capacidade instalada de geração de eletricidade a partir da fonte solar. De acordo com estudos da EPE (2012), ao analisar possibilidades de incentivo à fonte solar no Brasil, verificou-se que para operar uma redução ainda mais acentuada dos custos econômicos viabilizando o uso desta fonte de geração de energia elétrica no país, seria necessário um maior estímulo ao desenvolvimento da cadeia produtiva da energia solar.

Nesta perspectiva, tendência acentuada de redução de custos econômicos da fonte solar no Brasil, demonstrada nesta investigação, aliada a queda de preços de equipamentos e ao aumento das taxas internas de retorno para esta fonte, mencionadas por Silva *et al* (2012), não fornecerão impulso estratégico, a curto ou médio prazo, em favor da inserção da fonte solar na matriz elétrica nacional, na medida vem que o governo brasileiro não se dispôs em promover, paralelamente, políticas de desenvolvimento da indústria nacional direcionadas à produção de equipamentos para a cadeia produtiva solar, o que poderia possibilitar ao país se utilizar estrategicamente das vantagens econômicas oriundas da redução de custos de geração e de preços de equipamentos no ambiente desta fonte de energia elétrica.

5. Considerações Finais

A pauta de discussão no setor elétrico brasileiro caminha para a necessidade de ampliação do processo de diversificação da matriz elétrica nacional em condições econômicas viáveis. Assim, esta investigação questionou qual fonte alternativa de geração de eletricidade apresenta uma tendência de redução de custos econômicos capaz de contribuir à viabilização de seus investimentos junto à ampliação do processo de diversificação da matriz elétrica brasileira.

O estudo concluiu que as fontes solar e eólica, seguidas pela fonte biomassa, foram as que apresentaram uma tendência mais acentuada de redução de seus custos econômicos no Brasil entre 2000 e 2012, resultado que acompanha o verificado em contexto internacional, através dos estudos de Silva *et al* (2012) e da WWF Brasil (2013). Neste sentido, recomenda-se estrategicamente atenção à possibilidade de direcionar investimentos notadamente às fontes solar e eólica para a geração de energia elétrica, consideradas as peculiaridades locais de utilização. Estas fontes são consideradas limpas e renováveis e caracterizadas como fontes de energia sustentáveis.

As limitações deste estudo residem na restrita escala temporal analisada, de apenas treze anos (2000-2012). A indisponibilidade de dados referentes aos custos econômicos das fontes alternativas no Brasil por um período mais extenso representa uma barreira para análises mais precisas que forneçam, em longo prazo, indicativos de tendências futuras mais eficientes de variação destes custos, o que levantaria ainda mais subsídios para a orientação da tomada de decisão quanto aos investimentos em fontes alternativas. Todavia, nenhuma barreira no país supera a influência de grandes grupos nacionais e internacionais, e de sua bancada política, que a partir de interesses próprios prioriza amplamente a geração hidrelétrica através de grandes projetos a margem do compromisso de construção de uma matriz elétrica mais sustentável para os brasileiros.

A sugestão para novos estudos caminham em direção à possibilidade de inserção dos custos indiretos às análises realizadas, isto é, além dos custos diretos que foram utilizados e denominados de custos econômicos nesta investigação, as externalidades poderiam ser inseridas na definição de custos para a realização das análises mais completas. Assim, os resultados oriundos da observação destes dados adquiririam um maior potencial de abrangência e utilização enquanto subsídios ao processo de tomada de decisão sobre investimentos em fontes de geração no setor elétrico brasileiro.

Referências

AGÊNCIA LEIA. *Perspectiva energia*: leilão A-5 poderá ter maior participação das provadas. Artigos e links. 15 de dezembro de 2010. Disponível em: <http://cargocollective.com/consili/Artigos-Links>. Acesso em março de 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Estabelecimento das quotas de custeio e de energia elétrica referentes ao Programa de Incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA) para o ano de 2012*. Brasília: Nota técnica nº 0321/2011 - SRE/ANEEL, 9 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/nreh20111244.pdf>. Acesso em: janeiro de 2012.

BORGES, F. Quadros e ZOUAIN, D. Moraes. A matriz elétrica e seu posicionamento no desenvolvimento sustentável no estado do Pará. *Revista Planejamento e Políticas Públicas*. Vol. 35. Brasília: IPEA, 2010.

BORGES, F. Quadros. *Setor elétrico e desenvolvimento no Estado do Pará: uma análise estratégica de indicadores de sustentabilidade*. Belém: NAEA/UFPA, 2007 (Tese de Doutorado).

BRASIL. Lei 10.848. *Diário Oficial da União*. Brasília, 2004.

CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Documentos*. Disponível em: www.ccee.org.br. Acesso em: dezembro de 2012.

CESARETTI, M. de A. *Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos*. Santo André: Universidade Federal do ABC, 2010 (Dissertação de Mestrado).

CHAIM, O. C. *Análise de custo de fontes alternativas de energia*. São Paulo: USP, 2011

CAMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. *Alternativas energéticas: uma visão Cemig*. Belo Horizonte: Cemig, 2012.

COSTA, D. V. da e TEODÓSIO, A. dos S. de S. Desenvolvimento sustentável, consumo e cidadania: um estudo sobre a (des)articulação da comunicação de organizações da sociedade civil, do estado e das empresas. *Revista de Administração Mackenzie*. V.12 n.º.3 São Paulo. Maio/Junho, 2011.

COSTA, R. C. da e PIEROBON, E. C. Leilão de energia nova: análise da sistemática e dos resultados (2008). Disponível em: www.bnds.gov.br. Acesso em: 15 de janeiro de 2013.

ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras. *Programas*. Disponível em: www.eletrobras.com. Acesso em: janeiro de 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Balanço energético nacional*. Ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

_____. *Plano decenal de expansão de energia 2019*. Brasília: EPE, 2010.

_____. *Análise de inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira*. Nota técnica EPE. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

EXAME. *Expansão na capacidade de geração, investimentos de fornecedores de equipamentos e redução de preço começam a tornar a energia eólica competitiva no Brasil*. São Paulo: Editora Abril, setembro de 2011.

FEARNSIDE, P. M. *A floresta amazônica e as mudanças globais*. Manaus: INPA, 2004.

GOLDEMBERG, J e LUCON, O. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: USP, 2008.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. IRENA. *Reports and papers 2012*. Disponível em: www.irena.org. Acesso em: março de 2013.

KIRCHNER, C A. *O novo modelo e o direito à energia elétrica*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.

KITAMURA, P. C. *A Amazônia e o desenvolvimento sustentável*. Brasília: EMBRAPA, 1994.

MARIN, R. E. A. Amazônia: o custo ecológico das hidrelétricas. In: MAGALHÃES, S. B.; BRITTO, R. C. e CASTRO E. R. (Org.) *Energia na Amazônia*. Belém. UPEG/UFPA/UNAMAZ, 2000. V. II.

MIDEA, L. G.; GALVÃO, L.C.R.; e PRADO Jr., F. A. A. Análise econômica financeira comparativa da autoprodução direta ou conectada no SIN: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Energia*. Vol. 15 Nº. 2, 2º sem. 2009.

OLIVEIRA, R. A. F. de. *A geração de energia elétrica através do uso de biomassa na Bahia: condicionantes e oportunidades*. Salvador: UNIFACS, 2006 (Dissertação de Mestrado).

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais. In: *BEUREN, I. M. (Org.)*. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2003.

REIS, L. B.; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. *Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Manole, 2005.

REIS, L.B.; CUNHA, E.C.N. *Energia Elétrica e Sustentabilidade*. Aspectos tecnológicos, socioambientais e legais. Barueri, SP: Manole, 2006.

REDCLIFT, M. *Sustainable development: exploring the contradictions*. London: Routledge, 1987.

REGO, E.E.; HERNÁNDEZ, F.M. *Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar*. Contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. Ano. 6. Enc. Energ. Meio Rural, 2007.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. de; e CAMARGO, I. M. de T. Comparação do custo entre Energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: *V Congresso brasileiro de planejamento energético*. Brasília: maio/junho de 2006.

SILVA, M; BERMANN, C.; FEARNSTIDE, P. M.; MILLIKAN, B.; BAITILO, R.; REY, O.; MOREIRA, P. F.; KISHINAMI, R.; EQUIPE DO ISA. *O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no século 21: oportunidades e desafios*. Brasília: Rios internacionais/ Brasil, 2012.

SOUTO Jr. Levy. Perspectivas para a energia. *In: V Workshop internacional SENAI - Tractebel Energia GDF SUEZ. Jaguará do Sul - SC. 28 de junho de 2012.*

SPANGENBERG, J. H. *Measuring and communicating sustainability with indicators: terms of reference for a CSD core indicator test in main catchment area regions.* New York: UN/E/CN, 2000.

TOLMASQUIM M. T.; GUERREIRO, A. e GORINI, R. Visão prospectiva da matriz energética brasileira: energizando o desenvolvimento sustentável do país. *Revista Brasileira de Energia*, Vol. 13 Nº. 1. Rio de Janeiro: SBPA, 2007.

VALOR ECONÔMICO. *Entrevistas: CPFL Renováveis conclui aquisição da eólica Bons Ventos.* Disponível em: www.valor.com.br. Acesso em: dezembro de 2012.

WALISIEWICZ, M. *Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis.* São Paulo: Publifolha, 2008.

WORLD WILDLIFE FUND. WWF BRASIL. *Além de grandes hidroelétricas: políticas para fontes renováveis de energia elétrica no Brasil.* Disponível em: wwf.org.br. Acesso em: fevereiro de 2013.
