

## USO RESIDENCIAL DE ENERGIA SOLAR PARA AS CAPITAIS BRASILEIRAS: AS VANTAGENS DA REGIÃO NORDESTE

### Solar power for residential use in brasilian capitals: the Northeast region's advantages

**Tárik Liladas Freire Pereira Navarro**

Graduado em Ciências Econômicas pela UFV. Pós-graduado em Inteligência de Mercado pela Saint Paul Escola de Negócios. Analista de Mercado. E-mail: tariknavarro@gmail.com.

**Elaine Aparecida Fernandes**

Mestrado em Economia Aplicada (UFV). Doutorado em Economia Aplicada (UFV). Professora Adjunto IV do Departamento de Economia – UFV. E-mail: eafernandes@ufv.br.

---

**Resumo:** a fim de identificar a possibilidade de expansão do uso da energia solar no País, o trabalho avaliou a viabilidade do uso residencial de sistemas fotovoltaicos nas capitais brasileiras por meio de uma comparação entre o custo da geração, que depende do nível de radiação solar, e as tarifas de energia das distribuidoras que atuam nessas cidades. Observou-se que a tecnologia fotovoltaica se mostrou viável para a maioria das capitais avaliadas, principalmente para as capitais da Região Nordeste, com destaque para Teresina. Apesar deste resultado positivo, ainda existem capitais como São Paulo, Rio de Janeiro dentre outras que não apresentaram viabilidade de implantação desse tipo de geração de energia. Assim, sugere-se a criação de incentivos na forma de crédito mais barato, melhores condições de financiamento e reduções tributárias, além do contínuo aperfeiçoamento do ambiente regulatório para a maior difusão desse tipo de tecnologia. Em adição, sugere-se que devam existir estímulos específicos para cada região, conforme suas peculiaridades. Por fim, verificou-se grandes desafios no uso de painéis fotovoltaicos no País, mas, o Brasil é extremamente rico no que se refere ao recurso solar. Este fato pode garantir a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos para grande parte do território nacional.

**Palavras-chave:** Energia Solar; Sistemas Fotovoltaicos; Nordeste.

**Abstract:** in order to identify the possibility of expanding the use of solar energy in the country, the study evaluated the viability of residential photovoltaic systems in Brazilian cities through a comparison between the cost of generation, which depends on the level of solar radiation, and energy distribution tariffs that act in these cities. It was observed that the photovoltaic technology was viable for most capitals evaluated, mainly to the capitals of the Northeast region, with emphasis on Teresina. Despite this positive result, there are still cities like São Paulo, Rio de Janeiro and others that did not show feasibility of deployment of this type of energy generation. So, it is suggested the creation of incentives in the form of cheap credit, better financing and tax reductions, in addition to the continuous improvement of the regulatory environment for the greater dissemination of this type of technology. In addition, it is suggested that should exist for each region-specific stimuli, as its peculiarities. Finally, there has been major challenges in the use of photovoltaic panels in the country, but Brazil is extremely rich in terms of solar resource. This fact can ensure the economic viability of photovoltaic systems for much of the national territory.

**Key words:** Solar Energy; Photovoltaic Systems; Northeast.

## 1 Introdução

O presente estudo teve como objetivo principal analisar a viabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos nas residências das capitais brasileiras como uma possibilidade de contribuição para a expansão da oferta de energia no País através da utilização de fontes renováveis. Esta viabilidade depende essencialmente do grau de irradiação solar e da tarifa de energia elétrica da distribuidora que atua nessas cidades. A principal motivação da realização deste estudo foi a constatação do uso crescente de energia elétrica em todo o mundo e, como não pode ser diferente, no Brasil.

O aumento na utilização de energia tem sido frequentemente relacionado ao aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente quando o cenário hidroenergético é desfavorável e condiciona o sistema ao despacho mais intenso de termelétricas. Em contrapartida, as energias renováveis surgem como uma possibilidade de se dissociar essa correlação, garantindo a sustentabilidade do desenvolvimento nacional. Além disso, o uso de fontes renováveis oferece a oportunidade de ampliar o acesso a serviços modernos de energia para os membros mais pobres da sociedade. Essa ampliação cumpre um dos principais objetivos do Novo Modelo do setor elétrico, que é o de se promover o fornecimento generalizado de energia elétrica. Com isso, consumidores impossibilitados de serem atendidos devido à distância em que se encontram das redes existentes ou que possuem dificuldade em arcar com as tarifas normais de fornecimento poderão ser contemplados (TOLMASQUIM, 2011).

Nesse contexto, observa-se hoje uma tendência global no desenvolvimento e no uso de novas fontes de energia que possibilitem que o crescimento da economia mundial evolua minimizando os impactos socioambientais do consequente aumento na demanda por energia (IPCC, 2011). O Brasil desponta nesse cenário como um país muito rico em recursos renováveis ainda pouco explorados, apesar de contar com grande participação de fontes hidráulicas em sua matriz elétrica e de ter uma indústria de etanol bastante desenvolvida.

Outras fontes de energia como a eólica, a biomassa, a solar e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), entretanto, correspondem a pouco mais de 5% da matriz energética brasileira (MME/EPE, 2011). As perspectivas para essas fontes são

promissoras no País, tendo o governo incentivado, através de leilões, o aumento da participação de fontes alternativas na matriz nacional, contribuindo simultaneamente para a sua diversificação e limpeza. Com projeções de crescimento a uma taxa média de 4,8% ao ano até 2020 (MME/EPE, 2011), a demanda por energia elétrica segue exigindo o estabelecimento de mecanismos e regras institucionais que valorizem a diversificação do sistema de geração elétrica. Esse processo envolve inovações que permitam aumentar a oferta e a diversidade dos recursos energéticos no Brasil, ampliando os ganhos econômicos, ambientais e sociais associados à oferta e ao uso de energia. Nesse sentido, e alinhada ao Plano Decenal de Expansão de Energia, publicado em 2011 pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com a Empresa de Pesquisa Energética, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou, em 17 de abril de 2012, a Resolução Normativa N° 482 que dispõe sobre regras para incentivar a micro e a minigeração de energia no País. A partir dessa Resolução, a ANEEL visa fomentar a geração complementar de energia através da instalação de painéis solares ou minigeradores eólicos em unidades consumidoras, como residências e empresas.

A partir da publicação dessa resolução, estabeleceram-se as condições para que indivíduos e/ou empresas possam instalar pequenos sistemas de microgeração até 100kW e minigeração entre 101kW e 1MW de potência e, através de um sistema de compensação de energia elétrica, vender o excedente para as concessionárias por meio do recebimento de um crédito. Além do uso de painéis fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas, a microgeração poderá utilizar fontes com base em tecnologia solar por concentração, centrais de geração hidrelétrica, geração por meio de biomassa a partir de resíduos urbanos sólidos ou esgotos e até mesmo de resíduos agrícolas, além de diversas outras tecnologias que ainda deverão se desenvolver ao longo dos próximos anos.

Apesar de ainda não mensurado, o Brasil conta com um enorme potencial para explorar tais fontes, principalmente se forem consideradas as elevadas tarifas de energia elétrica praticadas no País e a crescente queda no preço dos equipamentos utilizados na geração de energia. Nesse caso, cabe destaque para a tecnologia solar fotovoltaica, cujo custo dos equipamentos tem apresentado uma redução média de 8% ao ano (NREL, 2012).

Atualmente, esse tipo de geração representa apenas 0,004% da capacidade total instalada no Brasil (ANEEL, 2012), fato que demonstra claramente que as fontes fotovoltaicas ainda não foram devidamente consideradas no planejamento energético nacional. ABINEE (2012), por meio de seu estudo “Propostas para a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira”, discute uma série de questões associadas à inserção da fonte solar fotovoltaica, expondo um panorama do uso dessa fonte no mundo e a potencialidade de implantação efetiva no Brasil. O estudo também aponta a possibilidade de se desenvolver uma cadeia produtiva de sistemas fotovoltaicos no País, considerando como vantagens competitivas o elevado grau de irradiação solar e grandes reservas de silício, matéria-prima de células fotovoltaicas, disponíveis em território nacional. No entanto, não haveria a possibilidade de se desenvolver uma indústria nacional de sistemas fotovoltaicos sem que houvesse uma contrapartida da demanda que ABINEE (2011) só acredita ser possível com uma participação mais ativa do governo nacional.

ABINEE (2011) sugere que a instalação de sistemas fotovoltaicos ainda não apresentaria viabilidade econômica para consumidores cativos de alta tensão, mas que estes sistemas já seriam viáveis para consumidores residenciais (baixa tensão) em algumas partes do País. Em convergência, EPE/MME (2012, p. 32), ao avaliar a aplicação de sistemas fotovoltaicos para o uso residencial, assevera que

[...] se, por um lado, não se pode afirmar que a geração fotovoltaica é competitiva em qualquer condição para a aplicação residencial, por outro, percebe-se que já existem situações objetivas em que esta competitividade se apresenta de forma clara.

Estimava-se, até o final de 2011, uma capacidade instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos de aproximadamente 31,5 MW instalados no Brasil, sendo 30 MW em sistemas não conectados à rede, e apenas 1,5 MW conectados (ABINEE, 2011). No entanto, os incentivos governamentais, a disponibilidade de recursos em território nacional e a acelerada curva de aprendizagem do setor deverão dar à energia solar fotovoltaica um papel importantíssimo na redução das emissões de GEE e na complementaridade das fontes convencionais, contribuindo para a diversificação da matriz elétrica nacional, sem comprometer sua sustentabilidade.

Nesse contexto, o presente trabalho procura avançar um pouco mais nessa discussão, buscando examinar, de maneira detalhada, a viabilidade do uso residencial de sistemas fotovoltaicos identificando em quais capitais brasileiras o seu uso se mostra mais indicado, dadas as diferentes tarifas de energia e os níveis distintos de radiação solar de cada região. Além disso, o trabalho pretende atualizar as conclusões apresentadas em estudos anteriores, avaliando a viabilidade do uso residencial de sistemas fotovoltaicos em um novo cenário de tarifas, que, por terem passado por reajustes e revisões, sugerem a possibilidade de se haver alterações nas análises anteriormente realizadas. Pretende-se, com os resultados aqui apresentados, identificar se existe demanda potencial para o uso dessa tecnologia, indicando a possibilidade de expansão da indústria fotovoltaica no Brasil. Adicionalmente, os resultados apresentados poderão servir como suporte à tomada de decisão daqueles interessados no uso de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica.

A partir do supracitado, o presente trabalho procurou, de forma geral, analisar a viabilidade técnica e econômica da instalação de painéis fotovoltaicos nas residências das capitais brasileiras, observando-se as tarifas de energia elétrica das distribuidoras vigentes até o dia 31 de dezembro de 2012. Dadas as especificidades de cada capital brasileira quanto ao grau de radiação solar incidente, às tarifas de distribuição e de energia aplicada aos consumidores residenciais de energia elétrica, à diferença no percentual de ICMS em cada Estado, pretendeu-se especificamente: (i) calcular a tarifa de energia elétrica para consumidores residenciais, incluindo PIS/COFINS e ICMS; (ii) identificar quais são as capitais brasileiras cujo custo de geração de eletricidade por sistemas fotovoltaicos para atendimento residencial é menor do que as tarifas das distribuidoras de energia locais, determinando, por fim, aquelas capitais onde a instalação desses sistemas já apresenta viabilidade econômica; e (iii) fazer uma análise de sensibilidade, avaliando os indicadores de viabilidade sob condições simuladas.

Além desta introdução, este estudo possui mais quatro seções. Na segunda, discutiu-se a respeito da energia solar e sua eficiência em diferentes locais. Na terceira, foram mostrados os procedimentos metodológicos utilizados na análise. Na quarta,

foram apresentados os principais resultados e análises. E por fim, na quinta seção foram expostas as principais conclusões.

## 2 Energia

### 2.1 Energia solar, radiação solar e região Nordeste

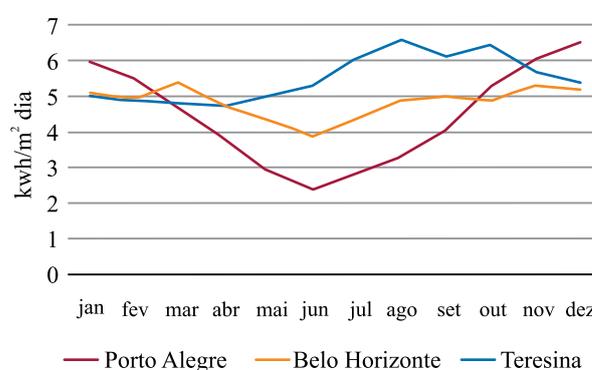
O clima, a hidrologia, os ecossistemas e os demais sistemas do planeta são quase totalmente controlados pela energia que se origina do Sol. Esta energia é criada através de processos químicos que ocorrem em seu núcleo e que geram calor muito intenso que provoca a descarga de fótons. Estes podem levar até 100 mil anos para sair do núcleo do Sol e chegar até sua superfície, mas, a partir daí, gastam cerca de apenas oito minutos para chegar ao Planeta Terra, para onde trazem diversos tipos de radiações eletromagnéticas, inclusive a luz (PIDWIRNY, 2007).

A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre em uma hora contém mais energia do que o planeta utiliza em um ano (TSAO, 2005). Seu aproveitamento para a geração de energia fotovoltaica depende, contudo, da latitude do local e da posição temporal (hora do dia e dia do ano), além de condições atmosféricas da região e da concentração de elementos em suspensão na atmosfera, como vapor d'água e poeira (ANEEL, 2008). Devido à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente e ao movimento de translação que a Terra realiza ao redor do Sol, a radiação solar é desigualmente distribuída entre as regiões do planeta, apresentando também períodos de incidência variáveis para cada local (ACRA et al., 1984). As variações, entretanto, são mais perceptíveis nas regiões polares e nos períodos de solstício. O inverso ocorre próximo à linha do Equador e durante os equinócios, quando a duração solar do dia é igual à duração da noite em toda a Terra (ANEEL, 2008).

Como o Brasil detém a maior parte do seu território localizado relativamente próximo à linha do Equador, não são observadas variações significativas na duração solar do dia. Até mesmo as regiões mais meridionais apresentam níveis consideráveis de radiação solar se comparadas aos países que detêm os maiores parques geradores de energia fotovoltaica do mundo, como a Alemanha e o Japão

(CRESESB/CEPEL, 2006). Mas, algumas regiões do País merecem destaque. A Região Nordeste (observe os níveis de radiação para Teresina – Figura 1), por apresentar um baixo índice de nebulosidade e por ter pouca influência da Zona de Convergência Inter-Tropical e dos Sistemas Frontais vindos do Sul, se distingue das demais regiões do País por apresentar valores de radiação solar diária média anual comparáveis aos das regiões mais bem dotadas do recurso solar no mundo, como a região de Dagget, localizada no deserto do Mojave, nos Estados Unidos (CRESESB/CEPEL, 2006).

Figura 1 – Comportamento mensal do nível de radiação solar de três capitais brasileiras localizadas a diferentes latitudes



Fonte: CENSOLAR (1993).

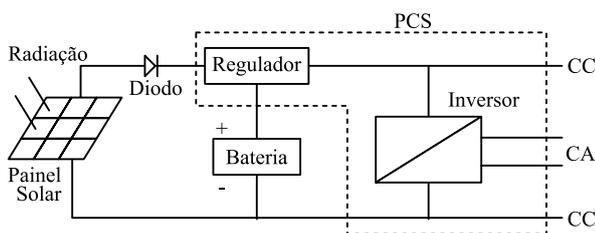
O efeito fotovoltaico, responsável pela transformação direta de energia solar em energia elétrica, é resultado da interação da luz com elementos semicondutores em uma célula fotovoltaica, convertendo radiação solar em diferença de potencial e gerando corrente elétrica (MME/EPE, 2012). O efeito foi observado e descrito pela primeira vez, em 1839, pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel. Becquerel verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito produziam uma pequena tensão elétrica quando expostas à luz (FLOOD, 1986). Desde então, em consequência do desenvolvimento científico observado ao longo do século XX, a tecnologia fotovoltaica vem superando seus limites, tornando-se cada vez mais eficiente na conversão da radiação solar em energia elétrica, o que dá ao setor fotovoltaico uma curva de aprendizagem muito acelerada.

No que se refere aos componentes da geração fotovoltaica, a célula fotovoltaica é a unidade básica. Esta célula foi desenvolvida para realizar a conversão de energia solar em energia elétrica e o

conjunto dessas células eletricamente interligadas e encapsuladas constitui os módulos fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos, por sua vez, são conjuntos de dois ou mais módulos, montados de forma a compor uma única estrutura cuja potência instalada seja adequada ao atendimento da carga ligada ao sistema (IDEAL, 2012).

Algumas cargas podem ser alimentadas diretamente pelos módulos ou painéis, que estimulados pela radiação solar geram corrente contínua. Outras, como equipamentos eletrônicos, exigem, entretanto, que a corrente contínua seja convertida em corrente alternada para serem alimentadas. Nesses casos, em geral, são utilizados circuitos inversores. Baterias específicas, acopladas a um regulador de carga (da bateria), também fazem parte do sistema fotovoltaico e complementam o fornecimento de energia em períodos de baixa irradiação solar ou ao longo da noite, além de estabilizarem a tensão e a corrente do sistema (MME/EPE, 2012). A Figura 2 apresenta a composição de um arranjo fotovoltaico.

Figura 2 – Sistema fotovoltaico



PCS = Subsistema Condicionador de Potência  
(*Power Conditioning Subsystem*);  
CC = Corrente Contínua;  
CA = Corrente Alternada

Fonte: Reis (2003).

Os diversos componentes do sistema se conectam através de ligações elétricas físicas necessárias para que o arranjo apresente a configuração desejada em termos de tensão, corrente e potência nominal (SEVERINO, 2008). O sistema pode incluir estruturas de sustentação dos módulos, com o objetivo de agrupá-los, permitindo sua interligação de maneira simples. Algumas estruturas podem também incluir sistemas que se orientam de acordo com a posição do Sol, a fim de permitirem maior captação da radiação solar pelos módulos fotovoltaicos, gerando mais energia para o sistema.

O sistema fotovoltaico ainda apresenta um subsistema cuja função é controlar e assegurar o bom

funcionamento e a proteção do sistema. Trata-se do subsistema condicionador de potência (PCS), cujo componente mais importante é o inversor de corrente, responsável pela conversão de corrente contínua em corrente alternada (REIS, 2003). Além disso, alguns desses equipamentos oferecem sistemas de medição com envio de dados por rádio para um servidor e, em seguida, para a internet.

### 3 Metodologia

A análise econômica tem a função de apontar, por meio de técnicas específicas, os parâmetros de economicidade que sustentam a decisão de se investir ou não em determinado projeto. Essas técnicas de avaliação se completam, não havendo um modelo único que atenda às diversas questões formuladas para a tomada de decisões (EHRLICH, 2005).

Para a análise dessas técnicas, se faz necessário, inicialmente, a elaboração de um fluxo de caixa que represente o projeto e abranja toda a vida útil do empreendimento. Com base no fluxo de caixa, realiza-se o cálculo dos indicadores econômicos, mediante a aplicação de técnicas de avaliação que dão suporte à análise econômica (POMPEO et al., 2004).

Se a análise econômica do projeto apresenta resultados favoráveis à sua implantação, o projeto quando executado deverá gerar, ao longo de sua vida útil, receitas suficientes para a) cobrir os custos com a aquisição e a instalação de máquinas e equipamentos; b) compensar os custos de operação do empreendimento; e c) remunerar o capital investido, devido ao risco e às incertezas assumidas na execução do projeto (HIRSCHFELD, 2000).

No caso de projetos de geração de energia por fontes alternativas, é importante definir-se, primeiramente, a forma em que foram calculadas algumas variáveis fundamentais que sustentaram toda a análise.

#### 3.1 Energia fotogerada

Diante do fato do efeito fotovoltaico ser fruto da criação de tensão elétrica ou de uma corrente elétrica correspondente em um determinado material após a sua exposição à luz, tem-se que a corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa. De acordo com a tensão elétrica (ou diferença de potencial) exis-

tente e da corrente gerada, pode-se determinar a potência instalada de um sistema fotovoltaico.

Uma vez que a potência elétrica informa a quantidade de energia gerada por unidade de tempo, basta identificar-se o número de horas em que os painéis são estimulados pela luz solar e se efetuar a multiplicação destes valores, expressão (01).

$$E_g = P * HSP * \eta \quad (01)$$

Em que  $E_g$  = Energia Fotogerada (Wh);  $P$  = Potência Nominal Instalada (Wp);  $HSP$  = Horas de Sol Pleno (Horas/Dia); e  $\eta$  = Percentual de Eficiência do Sistema.

Como alguns fatores como temperatura e condições atmosféricas afetam a eficiência das células, o cálculo do montante de energia gerada deverá considerar um determinado percentual de eficiência ( $\eta$ ), que aqui foi considerado como sendo de 90%. Assim, a geração de energia em módulos fotovoltaicos depende da área utilizada (diretamente relacionada à potência instalada do sistema), do nível de insolação do local onde o sistema estiver instalado e da eficiência das células solares.

### 3.2 Custo nivelado da energia (LCOE)

Custo Nivelado da Energia representa o custo da geração de eletricidade a partir de uma fonte específica considerando-se toda a vida útil do projeto. Existem diferenças significativas entre os diferentes tipos de tecnologia de geração de energia elétrica, notadamente quanto ao período de construção do empreendimento, ao período médio de operação anual, ao tempo de vida útil, e ao CAPEX e OPEX. Dessa forma, Custo Nivelado da Energia surge como uma metodologia eficaz na medida em que permite comparar diferentes tecnologias de geração. (ALONSO, 2007).

Esse Custo de um sistema fotovoltaico considera a energia elétrica total que é produzida durante a vida útil dos equipamentos (painéis e inversores), o custo do investimento (CAPEX), os custos de operação e manutenção (OPEX) e o custo do combustível (no caso, zero). Para aplicações residenciais, todas essas parcelas devem ser descontadas a uma taxa que reflita pelo menos a inflação média esperada para o período. A expressão (02) foi utilizada para calcular os custos nivelados de geração de energia (IEA/NEA, 2005).

$$LCOE = \frac{\sum \frac{CAPEX_t + OPEX_t}{(I+r)^t}}{\sum \frac{EP}{(I+r)^t}} \quad (02)$$

Em que  $LCOE$  = Custo Nivelado da Energia Gerada (R\$/kWh);  $CAPEX_t$  = Custos de Investimento do Sistema Fotovoltaico no período  $t$  (R\$);  $OPEX_t$  = Custos de Operação e Manutenção no período  $t$  (R\$);  $CC_t$  = Custos de Operação e Manutenção do Combustível Utilizado no período  $t$  (R\$);  $EP_t$  = Energia Produzida no período  $t$  (kWh).

Deve-se ressaltar que essa é, portanto, uma abordagem que tenta capturar os custos de geração de eletricidade de uma determinada instalação, considerando o total de sua vida útil e o potencial de geração trazido ao seu valor presente.

### 3.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é usada para determinar a sensibilidade dos resultados de um estudo ou de uma revisão sistemática quando suas premissas são alteradas (CLARKE, 2001). Com a análise de sensibilidade é possível avaliar o grau de confiança dos resultados em situações de decisões incertas ou suposições sobre os dados e resultados usados.

As simulações realizadas em análises de sensibilidade permitem avaliar impactos associados a: (i) alterações dos valores das variáveis de entrada e dos parâmetros do sistema; e (ii) mudanças estruturais em um modelo. A sensibilidade do modelo a essas alterações pode ser avaliada por meio da análise das variáveis de saída.

Na medida em que são alteradas as variáveis de entrada, esta metodologia permite identificar o risco associado a determinados cenários, por meio da visualização das mudanças nas variáveis de saída do modelo. A avaliação conjunta dessas variáveis possibilita a construção de vários cenários e permite a sujeição de resultados esperados a condições previamente definidas, a fim de se medir a sensibilidade dos resultados em condições de risco.

### 3.4 Tarifas de energia

Pelo princípio da modicidade tarifária, as tarifas de energia são definidas pela Agência Na-

cional de Energia Elétrica (ANEEL) e devem ser suficientes para garantir o fornecimento de energia com qualidade para o consumidor final e, ao mesmo tempo, assegurar o equilíbrio econômico-financeiro das empresas prestadoras de serviços.

Assim, as tarifas de energia, além de remunerarem os investimentos necessários para a expansão da capacidade do sistema, devem também cobrir custos que as concessionárias têm ao levar a energia elétrica aos consumidores finais. De modo geral, as tarifas de energia devem ressarcir três custos distintos:

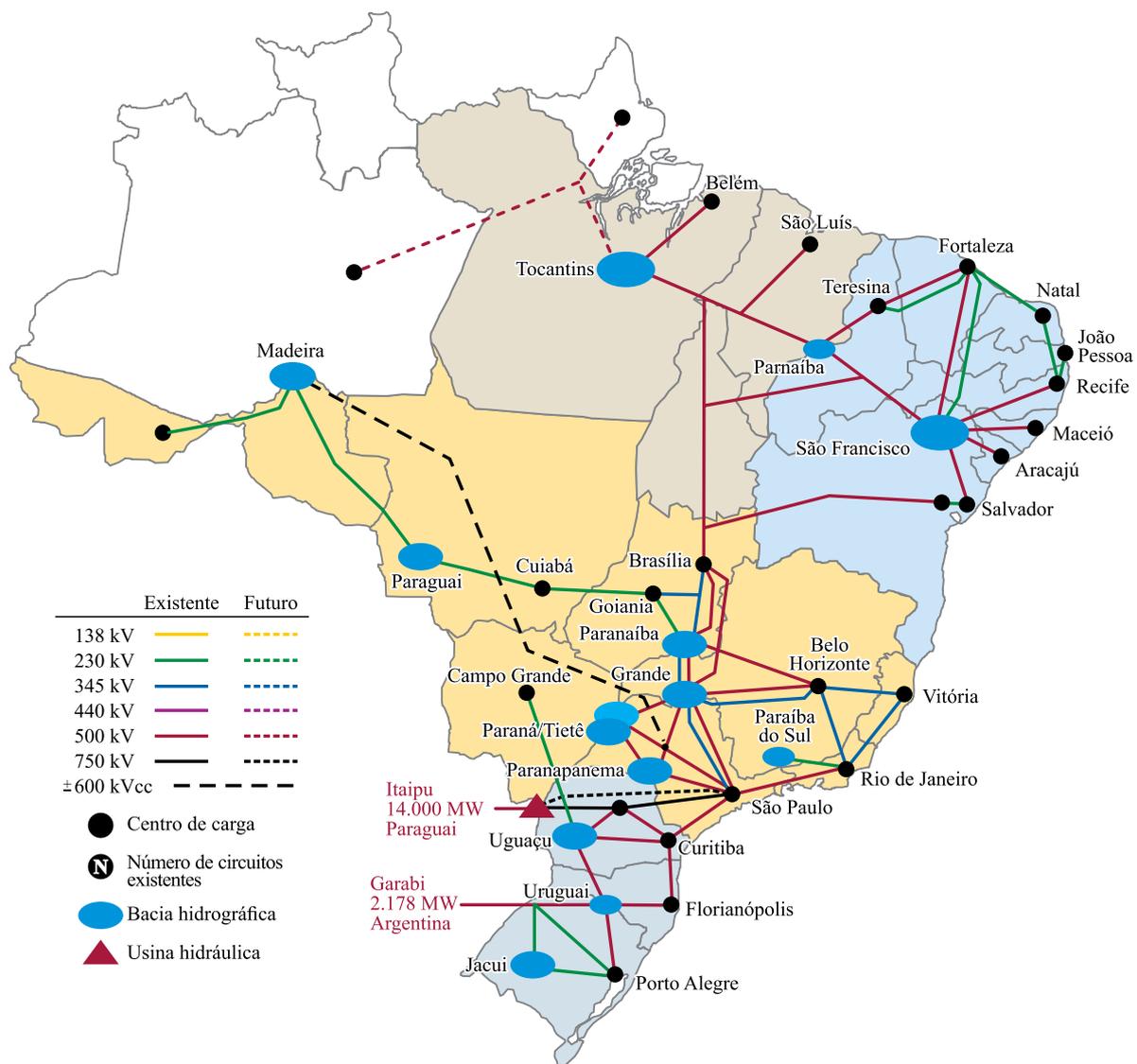
- Geração de Energia;
- Transporte de Energia (transmissão e distribuição); e

- Encargos e Tributos.

A energia chega até os consumidores finais por meio das distribuidoras de energia que conforme a Lei nº 10.848/2004 devem adquirir seus contratos de energia em leilões públicos, cujo objetivo é promover a competição entre geradores buscando melhores preços, além de transparência no custo da compra de energia.

O transporte da energia do ponto de geração até o seu consumidor final é feito através de uma extensa rede de transmissão e distribuição que interliga a maior parte do território nacional, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Rede de transmissão do SIN e suas principais bacias hidrográficas



Fonte: ONS (2012)

A competição nas atividades de transmissão e distribuição, entretanto, é considerada antieconômica, caracterizando-as como monopólios naturais. Por este motivo, a ANEEL atua de forma a fiscalizar tais atividades, garantindo que as tarifas desses segmentos sejam compostas apenas pelos custos que efetivamente se relacionam aos serviços prestados, aplicando o princípio da modicidade tarifária<sup>1</sup>.

Assim, as tarifas de energia remuneram a compra da energia e o seu transporte até o consumidor final. No entanto, ainda fazem parte da conta de luz encargos e tributos. Os encargos são contribuições criadas para fins específicos e são cobrados a uma taxa fixa sobre o volume de energia consumida. Tributos, entretanto, são pagamentos compulsórios pagos ao poder público, que visam garantir recursos para as esferas do governo.

Nas contas de energia elétrica são cobrados tributos federais e estaduais, que são recolhidos pelas distribuidoras e repassados aos cofres públicos. Quanto aos tributos federais, tem-se o Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), cujas alíquotas são de 1,65% e 7,6%, respectivamente. A tributação estadual se limita ao Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), que é regulamentado pelo código tributário de cada estado e cuja alíquota varia conforme o estado.

O cálculo desses tributos foi feito “por dentro”, de modo a integrá-los na própria base de cálculo sobre a qual incidem suas alíquotas.

### 3.5 Indicador de viabilidade

A avaliação da viabilidade econômica do uso residencial de painéis fotovoltaicos nas capitais brasileiras deve ser realizada através da comparação entre o custo nivelado da geração (LCOE) e as tarifas de energia das distribuidoras.

Esta comparação pode indicar que cidades com elevado grau de radiação solar, apesar de exibirem um baixo custo de geração fotovoltaica, não apresentem viabilidade no uso dessa tecnologia uma vez que a tarifa da distribuidora possa ser ainda menor que o custo do sistema, representado pelo LCOE. O contrário também poderá ocorrer, ou seja, regiões menos dotadas do recurso solar,

1 Princípio da Modicidade Tarifária – Critério para definir tarifas que sejam viáveis para o consumidor pagar e que sejam capazes de assegurar retorno satisfatório do investimento elétrico, além de viabilizar a expansão da economia, qualidade de vida e desenvolvimento para a sociedade.

por estarem sob a concessão de distribuidoras que operem com tarifas elevadas, podem apresentar viabilidade no uso da tecnologia de geração solar.

Nesse sentido, a fim de tornar a comparação entre o custo nivelado da geração e as tarifas de energia elétrica mais simples, a viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos poderá ser avaliada através da simples razão entre ambas as variáveis, conforme a expressão (03).

$$\text{Indicador de Viabilidade} = \frac{\text{Tarifa de Energia Acrescida de Impostos}}{\text{Custo de Produção Solar}} \quad (03)$$

Assim, tem-se um indicador de viabilidade capaz de indicar se a tarifa da distribuidora é ou não maior do que o custo de produção de energia por um sistema fotovoltaico. Os resultados que apontarem uma razão maior ou igual a 1 indicam que a tarifa de energia é superior ao custo de produção solar e que, portanto, o uso de sistemas fotovoltaicos seria viável; e razões inferiores a 1, por sua vez, sugerem que a energia solar fotovoltaica ainda não é viável.

### 3.6 Custos dos componentes

De acordo com o consumo residencial, um sistema pode se enquadrar na autossuficiência líquida ou na produção para atendimento de parte de consumo. O presente trabalho, porém, considerou um sistema de 1,5 kWp, suficiente para o atendimento de toda a carga do ponto de consumo. O número de módulos a serem utilizados nesse sistema foi calculado de acordo com a expressão (04).

$$N = \frac{P_t}{P_m} \quad (04)$$

Em que N = Número de módulos necessários para a composição do sistema fotovoltaico;  $P_t$  = Potência nominal total do arranjo fotovoltaico, em Wp; e  $P_m$  = Potência nominal total de cada módulo fotovoltaico, em Wp.

Dessa forma, o sistema se compõe de seis painéis solares fotovoltaicos MITSUBISHI 255 W Premium, além de um inversor Outback GFX 1548 com saída de corrente alternada de 1500 W de potência e eficiência de 93%. Para os condutores de corrente contínua, utilizam-se cabos flexíveis, unipolares, de seção nominal de 6 mm<sup>2</sup>, com isolamento simples e classe de tensão de 600 V e para os de corrente alternada são do tipo tripolar, de seção nominal de 6 mm<sup>2</sup>, com isolamento duplo

e classe de tensão de 600 V. Também compõem o sistema um medidor bidirecional e quatro baterias estacionárias Moura Clean 105 Ah, a fim de armazenar a energia gerada quando esta não estiver sendo consumida, possibilitando seu uso em momentos de menor luminosidade. Todos esses equipamentos são vendidos no mercado nacional ao preço de R\$ 22.770,00<sup>2</sup>.

Para a elaboração do fluxo de caixa do investimento, ainda foram consideradas as seguintes premissas, conforme sugerido em ABINEE (2012): custo de instalação igual a 10% do montante de investimentos realizados em equipamentos e instalações (CAPEX); vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos; custo de O&M (OPEX) estimado como sendo 1% do CAPEX ao ano; eficiência das células - redução de 0,75% ao ano sobre valor original (100%); e taxa de desconto igual a 7,5%.

## 4 Fonte de dados

### 4.1 Radiação solar

A energia solar é medida por meio de instrumentos denominados piranômetros, solarímetros ou radiômetros. A potência solar instantânea que incide em determinado ponto foi medida em W/m<sup>2</sup> (potência/área) e o total de energia em um dia que atinge esse ponto foi medido em kWh/m<sup>2</sup>.dia (energia/área/dia).

O presente trabalho utilizou dados fornecidos pelo programa SunData 2.0. O programa se baseia no banco de dados do Centro de Estudios de la Energia Solar (CENSOLAR) da Espanha e fornece valores de irradiação diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes.

### 4.2 Tarifas de energia

As tarifas de energia para o consumidor residencial foram obtidas na área “Informações Técnicas”, no portal eletrônico da ANEEL. O portal disponibiliza as tarifas de energia elétrica aplicadas aos consumidores finais, inclusive aos consumidores residenciais. Estas correspondem a um valor unitário, expresso em reais por quilowatt-hora (R\$/kWh) e ao ser multiplicado pela quantidade de energia consumida, em quilowatt (kW), repre-

senta o custo com energia elétrica para o período de referência.

Segue abaixo a Tabela 1 com as tarifas residenciais de todas as 63 distribuidoras que atuam no País, conforme disponibilizado pela ANEEL<sup>3</sup>.

Tabela 1 – Tarifas de energia elétrica para consumidores residenciais

Concessionária	Tarifa Residencial (R\$/kWh)	Concessionária	Tarifa Residencial (R\$/kWh)
UHENPAL	0,46079	COELCE	0,36381
ELETROACRE	0,45201	COSERN	0,36373
CEMAR (Interligado)	0,44649	CELG-D	0,36173
EMG	0,44525	CELPE	0,36132
CEPISA	0,44258	DEMED	0,35972
ENERSUL (Interligado)	0,44088	IENERGIA	0,35487
CPFL Mococa	0,42706	ESE	0,35369
AMPLA	0,42701	ELEKTRO	0,35217
CEMAT (Interligado)	0,42359	BANDEIRANTE	0,34894
RGE	0,42253	ENF	0,34818
CELTINS	0,42083	JARI	0,34191
CHESP	0,41939	FORCEL	0,34188
CERON	0,41297	CNEE	0,33846
SULGIPE	0,41264	CPFL-Paulista	0,33715
DEMEI	0,41122	CEEE-D	0,33698
HIDROPAN	0,41031	CFLO	0,33356
ELETROCAR	0,40502	AmE	0,33186
CPEE	0,40444	AES-SUL	0,33135
CEMIG-D	0,40423	CERR	0,32900
COELBA	0,40401	CAIUÁ-D	0,32698
ELFSM	0,40132	EBO	0,32289
CPFL Santa Cruz	0,39938	EDEVP	0,31980
CELPA (Interligado)	0,39517	COCEL	0,31775
EPB	0,38765	Boa Vista	0,31772
CPFL Sul Paulista	0,38596	CPFL- Piratininga	0,31484
ESCELSA	0,38428	CELESC-DIS	0,31380
LIGHT	0,38359	CPFL Jaguari	0,30617
EEB	0,38281	COPEL-DIS	0,29626
COOPERALIANÇA	0,38038	CEB-DIS	0,29615
CEAL	0,36941	ELETROPAULO	0,29114
EFLUL	0,36557	CEA	0,19729
EFLJC	0,36512		
MUXENERGIA	0,36497		

Fonte: ANEEL (2012).

3 Tarifas disponíveis em <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493&idPerfil=2&idiomaAtual=0>> no dia 31 de dezembro de 2012.

2 Preço disponível no endereço eletrônico <<https://www.energiapura.com/categoria/2/>> em 31 de dezembro de 2012.

### 4.3 Impostos

As alíquotas do PIS e da COFINS incidentes sobre a conta de luz são apuradas de forma não cumulativa. O diploma legal da Contribuição para o PIS/Pasep não cumulativa é a Lei nº 10.637, de 2002, e o da Cofins a Lei nº 10.833, de 2003 (BRASIL, 2002).

A apuração não cumulativa permite o desconto de créditos apurados com base em custos, despesas e encargos da pessoa jurídica. Nesse regime, as alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP e da COFINS são, respectivamente, de 1,65% e de 7,6%.

O ICMS, por sua vez, conforme previsto no artigo 155 da Constituição Federal de 1988, incide sobre as operações relativas à circulação de mercadorias e serviços e é de competência dos governos estaduais e do Distrito Federal. O ICMS é regulamentado pelo código tributário de cada estado, ou seja, estabelecido em lei pelas casas legislativas (BRASIL, 2002).

De acordo com ABRADDEE (2012), a alíquota do ICMS cobrada sobre as tarifas residenciais variam para cada unidade federativa (Tabela 2).

Tabela 2 – Alíquotas de ICMS aplicadas às tarifas de energia elétrica para consumo residencial por unidade da federação

UF	ICMS (Tarifa Residencial)	UF	ICMS (Tarifa Residencial)
AC	25%	GO	29%
AL	25%	MA	30%
AM	25%	MG	30%
AP	12%	MS	25%
BA	27%	MT	30%
CE	27%	PA	25%
DF	25%	PB	27%
ES	25%	PE	25%

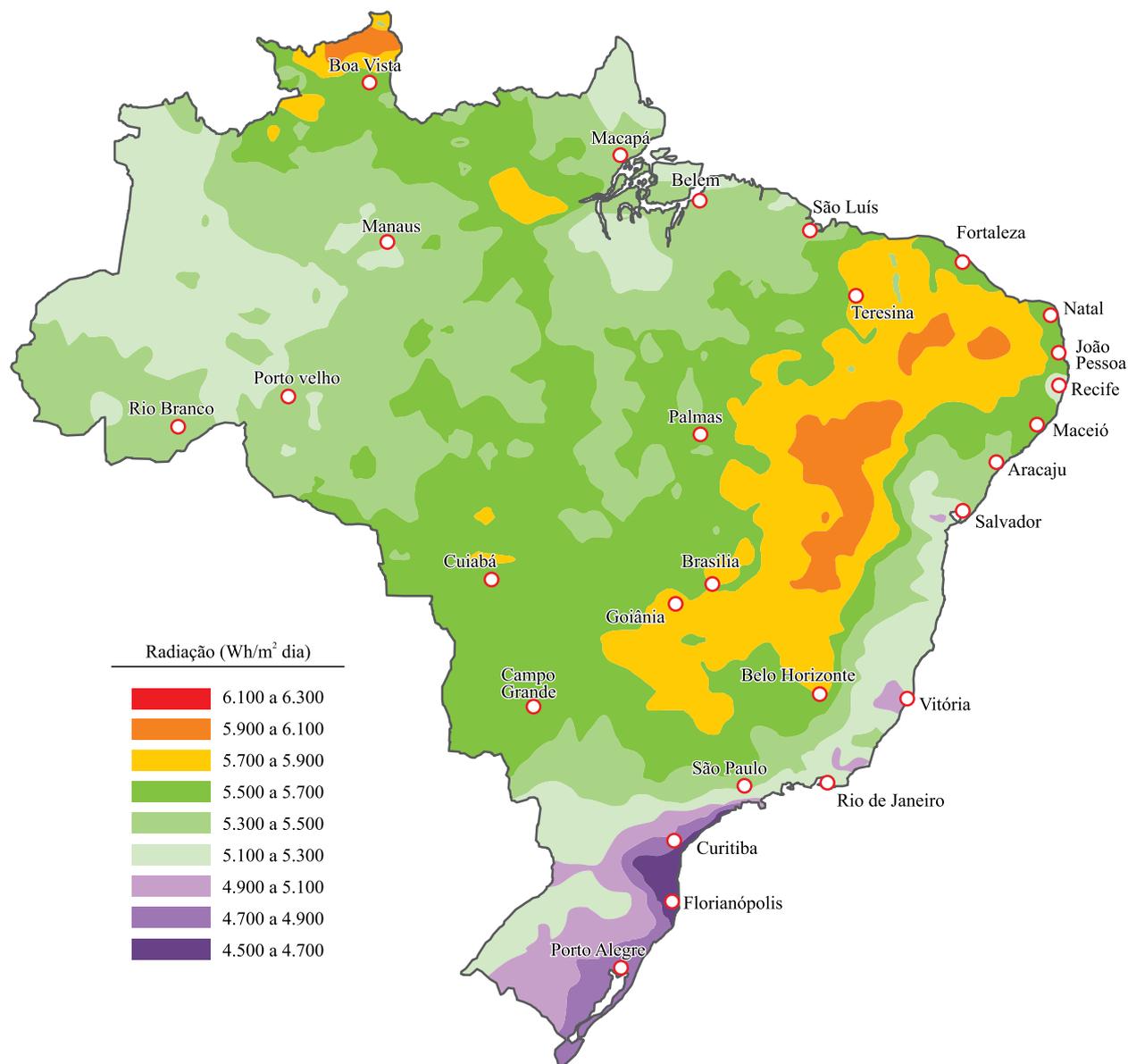
Fonte: ABRADDEE (2012).

Como o presente trabalho objetiva avaliar a viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos para o uso residencial, o custo nivelado da energia gerada por sistemas fotovoltaicos deve ser comparado com os valores da tarifa paga pelo consumidor à concessionária. Nesse caso, entende-se por tarifa o valor final pago pelo consumidor, isto é, a tarifa básica homologada pela ANEEL acrescida de impostos.

## 5 Resultados e discussão

Os movimentos de rotação e translação e a inclinação do eixo da Terra fazem com que a radiação solar seja distribuída de forma desigual sobre a superfície do planeta. Condições atmosféricas também influenciam na quantidade de energia recebida por cada região, uma vez que as nuvens, por exemplo, refletem parte dessa radiação de volta para o espaço. Dessa forma, apesar do território brasileiro ser bem provido do recurso solar, verifica-se uma distribuição desigual dessa energia entre as regiões do País. A Figura 4 ilustra a intensidade da radiação solar no território nacional.

Figura 4 – Distribuição da radiação solar no Brasil

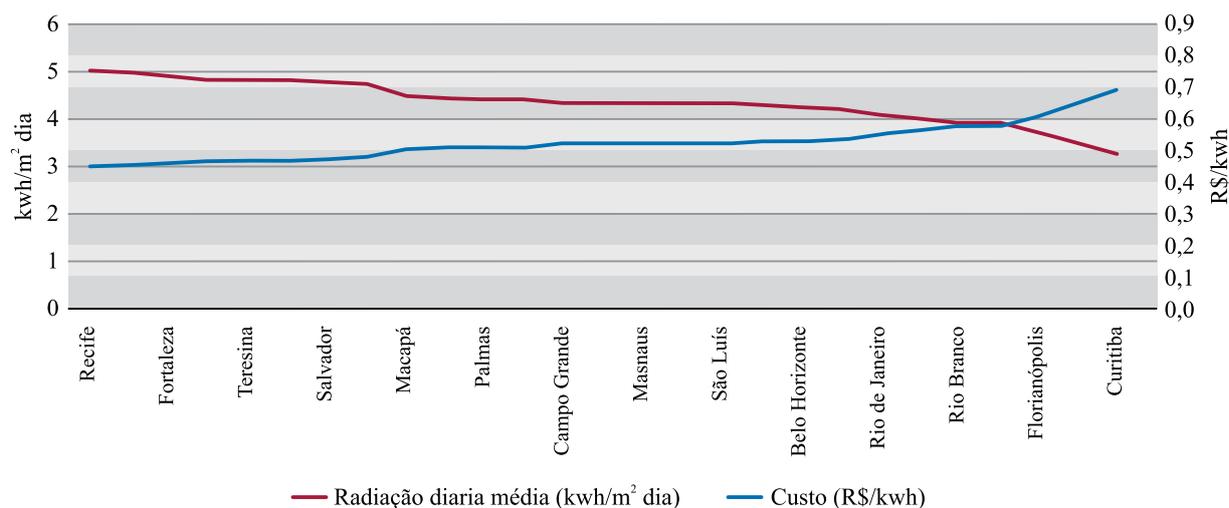


Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

Por meio da Figura 4, percebe-se a forma desigual em que a radiação solar se distribui pelo território brasileiro, concentrando-se principalmente na Região Nordeste. Níveis elevados de radiação são também verificados em partes do Sudeste e do Centro-Oeste, além de áreas menores na Região Norte. As áreas de menor intensidade da radiação são localizadas ao Sul do País, englobando as cidades de Porto Alegre, Curitiba e Florianópolis. Essa distribuição desigual indica que o custo de geração de energia pode variar muito de uma região para a outra, sendo necessárias análises individuais para cada área.

A energia gerada por um sistema fotovoltaico é diretamente proporcional ao nível de radiação solar sobre o qual é submetido. No entanto, o custo do sistema, pelo método do custo nivelado da energia, é inversamente proporcional ao volume de energia gerada pelos painéis fotovoltaicos. Então, quanto maior for a radiação solar incidente sobre uma determinada região, menor será o custo de nela se instalar sistemas fotovoltaicos, como se pode observar na Figura 5.

Figura 5 – Radiação solar e custo de geração fotovoltaica



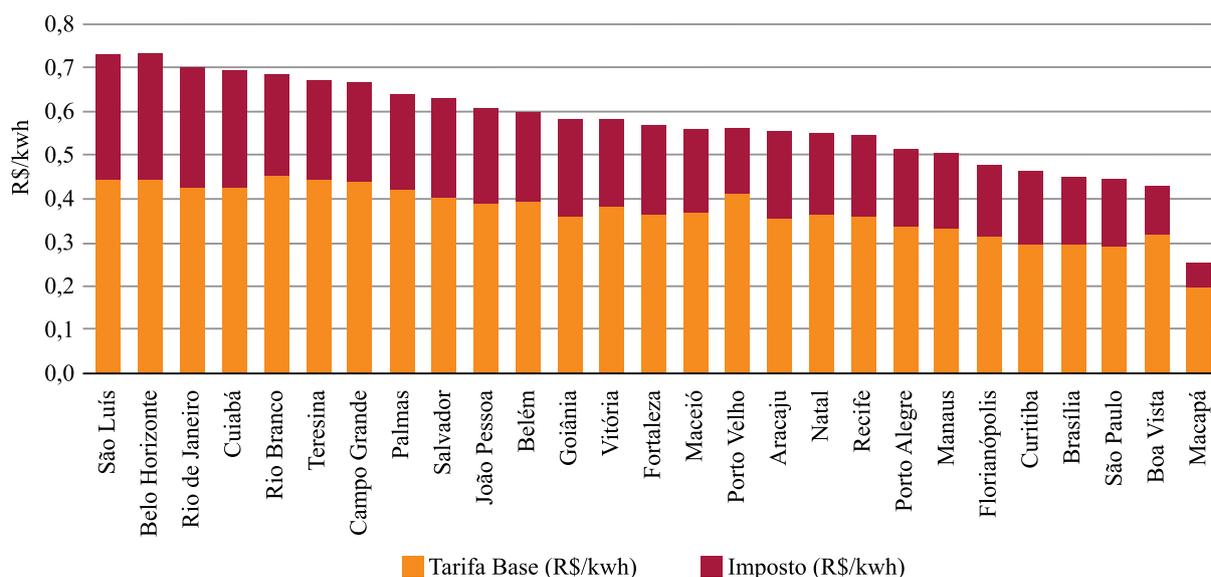
Fonte: elaboração própria a partir de dados da CENSOLAR (1993) e de resultados da pesquisa.

As regiões mais intensamente atingidas pela radiação solar apresentam menores custos na geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos e as regiões onde a intensidade da radiação é menor expõem maiores custos. Isso não significa dizer que as regiões mais bem dotadas do recurso solar apresentam viabilidade no uso dessa tecnologia para a geração de energia, nem que não haja viabilidade nas regiões menos dotadas. A viabilidade do uso dessa tecnologia só poderá ser identificada quando o custo nivelado da energia gerada pelo sistema for comparado a um custo de forne-

cimento alternativo, nesse caso, pelas tarifas das distribuidoras de energia elétrica.

A tarifa de eletricidade representa o custo de cada kWh de energia elétrica fornecido pela distribuidora ao consumidor final. Sobre a tarifa incidem tributos federais e estaduais, sendo que estes podem variar conforme o estado, afetando diretamente o valor final das tarifas de energia elétrica. A Figura 6 expõe o atual quadro de tarifas homologadas pela ANEEL para cada uma das capitais brasileiras e os impostos que incidem sobre elas, compondo as tarifas finais.

Figura 6 – Tarifas de distribuição aplicadas às capitais estaduais e ao Distrito Federal



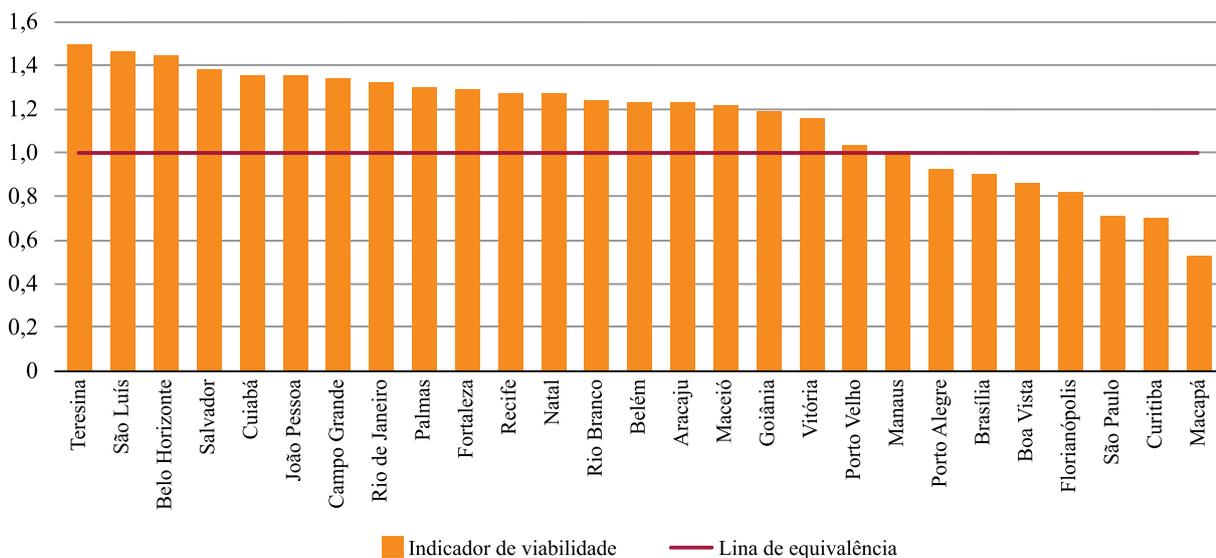
Fonte: elaboração própria a partir de dados da ANEEL (2012).

Como se pode observar pela Figura 6, as tarifas para consumidores residenciais variam por área de concessão, isto é, pelos territórios onde cada distribuidora é contratualmente obrigada a fornecer energia elétrica. Dessa forma, para se avaliar a viabilidade econômica do uso residencial de painéis fotovoltaicos nas capitais brasileiras, a comparação entre o custo nivelado da geração e as tarifas de energia das distribuidoras deve ser feita de forma individual, isto é, para cada

uma das cidades em análise.

Conforme mencionado anteriormente, essa comparação deve ser feita através do Indicador de Viabilidade, cujo valor é resultado direto da razão entre a tarifa de energia aplicada pela distribuidora já acrescida de impostos e o custo da geração de energia, representado pelo LCOE. Ao se aplicar essa ideia às capitais brasileiras, são obtidos os resultados ilustrados na Figura 7.

Figura 7 – Viabilidade do uso da tecnologia fotovoltaica para o consumo residencial de energia elétrica



Fonte: resultados da pesquisa.

A Figura 7 apresenta a razão entre as tarifas de energia elétrica e o custo nivelado da geração para cada uma das capitais brasileiras. A linha de equivalência serve apenas como uma referência que aponta a igualdade entre o custo nivelado da geração e as tarifas das distribuidoras, de modo que todos os indicadores de viabilidade acima dessa linha sugerem que a geração de energia por painéis fotovoltaicos já seria viável para cada cidade de referência.

Observa-se, por meio da Figura 7, que a tecnologia fotovoltaica parece se mostrar interessante para a grande parte das capitais avaliadas, principalmente para as cidades da Região Nordeste. O custo nivelado da geração ficou abaixo do valor da tarifa de eletricidade em vinte das capitais brasileiras, indicando viabilidade econômica dessa tecnologia e a possibilidade de expansão no uso dessa fonte a partir de importantes centros urbanos do País, criando uma demanda necessária para se es-

timular a formação de uma forte indústria nacional de fotovoltaicos.

Entre as sete capitais onde não se identificou a viabilidade do uso de painéis solares para atender ao consumo residencial, estão importantes centros urbanos como Brasília, Porto Alegre, Curitiba, Florianópolis e São Paulo. Nestas capitais, verificam-se ou baixos níveis de radiação solar, ou baixas tarifas de distribuição, ou ambos, mas de forma que as tarifas de distribuição ainda sejam mais baratas que o custo nivelado da geração fotovoltaica.

Ao se considerar fixos os níveis de radiação solar e a tarifa da distribuidora, o uso de sistemas fotovoltaicos em São Paulo, por exemplo, só apresentaria viabilidade com uma redução de cerca de 35% no custo do investimento. Contudo, Florianópolis, apesar de estar localizada em latitude mais meridional, teria o uso dessa tecnologia viabilizado caso o preço dos equipamentos que compõem

o sistema tivessem redução de 25%. Isso ocorre porque, apesar de sofrer uma menor incidência de radiação solar, Florianópolis tem uma tarifa de energia elétrica residencial 8% mais cara do que a de São Paulo, por exemplo.

Nesse sentido, a acelerada curva de aprendizado do setor será capaz de tornar viável o uso dessas tecnologias na medida em que se tornarem mais baratas. No entanto, apesar da redução média de 8% ao ano no custo de sistemas fotovoltaicos (NREL, 2012), que cria expectativas de expansão no uso dessa tecnologia, o investidor interessado em gerar sua própria energia deve estar atento a elementos que trazem incerteza à decisão e podem colocar em risco os seus resultados inicialmente projetados. Isso ocorre porque as tarifas de energia passam anualmente por um reajuste tarifário (normalmente acompanham o IGP-M acumulado no período) que tem como objetivo restabelecer o poder de compra da receita obtida por meio das tarifas praticadas pela concessionária. Em adição, as tarifas também passam por revisões tarifárias periódicas, sendo esse um processo cujo principal objetivo é analisar, após um período previamente definido no contrato de concessão (geralmente de 4 anos), o equilíbrio econômico-financeiro da concessão.

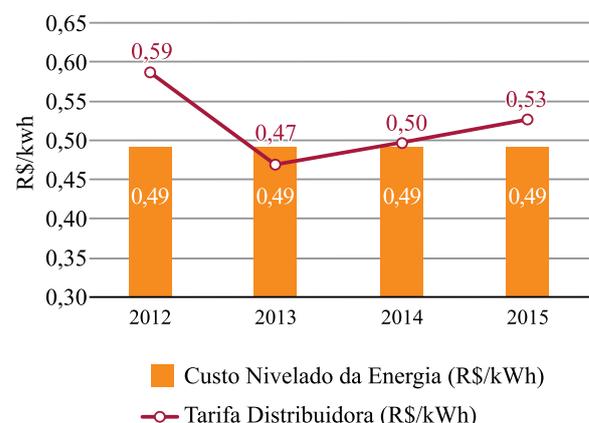
Enquanto nos reajustes tarifários anuais os custos gerenciáveis das distribuidoras são atualizados monetariamente pelo IGP-M, no momento da revisão tarifária periódica são calculadas a receita necessária para cobertura dos custos operacionais eficientes e a remuneração adequada sobre os investimentos realizados pelas distribuidoras.

Além dos reajustes anuais e das revisões periódicas, a ANEEL também pode realizar a revisão tarifária extraordinária a qualquer tempo, a pedido da distribuidora, quando algum evento provocar significativo desequilíbrio econômico-financeiro. Também pode ser solicitada em casos de criação, alteração ou extinção de tributos ou encargos legais, após a assinatura dos contratos de concessão, e desde que o efeito sobre as atividades das empresas seja devidamente comprovado. Assim, cria-se uma dificuldade de se prever mudanças no valor das tarifas, principalmente nos casos de revisões periódicas e extraordinárias.

Vale destacar ainda que o alto custo da energia elétrica no Brasil tem feito com que o governo se mostre preocupado e intencionado em atacar as

tarifas de energia elétrica, a fim de tornar a indústria nacional mais competitiva e de estimular um maior crescimento na economia nacional. Com isso, foi publicado no dia 11 de setembro de 2012 a Medida Provisória nº 579, que busca, através de redução de encargos e da antecipação de concessões de transmissão e geração, tornarem as tarifas de energia mais baratas para todos os consumidores do País. Para os consumidores residenciais, as tarifas devem cair em média 20% a partir do final de fevereiro de 2013, o que aponta incertezas para o consumidor interessado em investir em um sistema fotovoltaico, pois as tarifas devem ficar menores do que o custo nivelado de geração em locais onde hoje esta tecnologia se mostra viável. A Figura 8 ilustra o que ocorreria com as tarifas em Goiânia no caso de uma revisão tarifária extraordinária que resultasse na redução de 20% sobre as tarifas de energia a partir 2013.

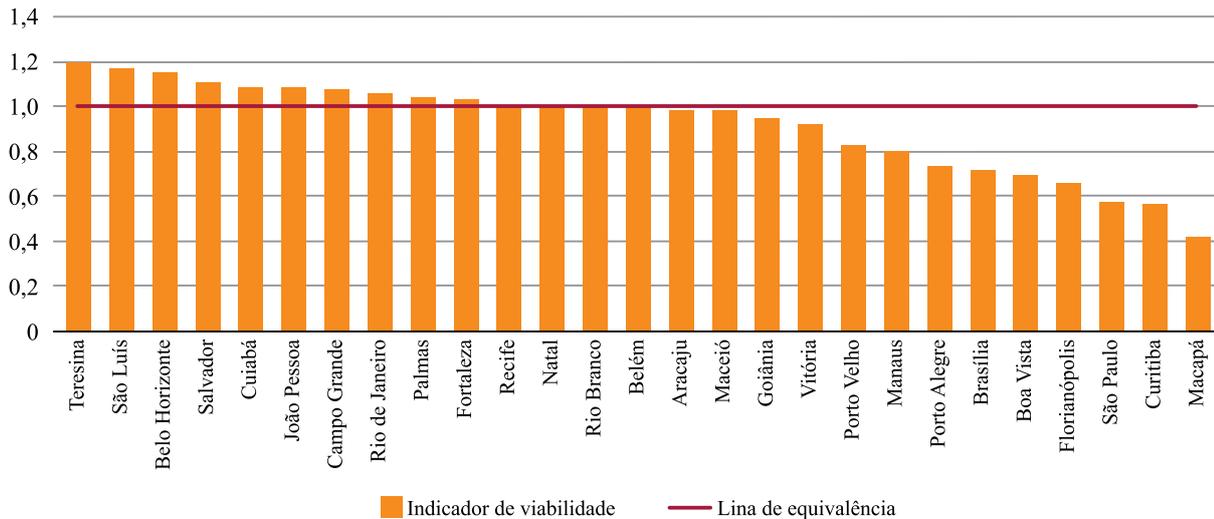
Figura 8 – Possíveis efeitos de revisões extraordinárias e periódicas sobre a viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos em residências de Goiânia



Fonte: resultados da pesquisa.

Com a redução de 20% frente à tarifa vigente em 2012, a tecnologia fotovoltaica só voltaria a se mostrar viável para o uso residencial em Goiânia a partir de 2014, quando, através das revisões periódicas, a tarifa voltaria a superar o custo nivelado da geração de energia dessa capital. Caso a redução indicada pelo governo realmente se verifique, a implantação de sistemas fotovoltaicos não deixará de ser viável no curto prazo apenas em Goiânia, mas em outras seis capitais além das sete que já não apresentavam viabilidade antes da revisão extraordinária, conforme apresentado pela Figura 9.

Figura 9 – Viabilidade do uso da tecnologia fotovoltaica para o consumo residencial de energia elétrica sob condição de redução de 20% nas tarifas de energia



Fonte: resultados da pesquisa.

A redução nas tarifas de energia das distribuidoras tem um efeito direto e positivo ao aumentar a renda disponível das famílias e ao reduzir os custos do comércio e da indústria com eletricidade, tornando a economia mais competitiva. No entanto, a expansão da indústria fotovoltaica pode se desacelerar, uma vez que a demanda por sistemas fotovoltaicos tenderia a diminuir, ao menos no curto prazo.

Nesse contexto, a solução para a manutenção da viabilidade do uso de sistemas fotovoltaicos em residências poderia se fundamentar na combinação de três alternativas principais: (i) redução no custo dos equipamentos; (ii) estruturação de mecanismos mais agressivos de incentivo financeiro para o uso de tecnologia fotovoltaica; e (iii) condições especiais de financiamento. Todas essas possibilidades apresentam um efeito individual sobre a expansão da capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no País, mas sua combinação deve acelerar a demanda por essa tecnologia, superando o impacto da redução nas tarifas das distribuidoras.

A redução no custo dos equipamentos pode ocorrer através de avanços tecnológicos da indústria solar, de ganhos de escala na produção de módulos, de subsídios governamentais à compra de equipamentos, da isenção de impostos sobre os componentes do sistema e de incentivos fiscais diversos, como descontos sobre o IPTU de residências que gerem energia por tecnologia fotovoltaica.

Mecanismos de incentivo financeiro à geração residencial de energia solar também parecem ser

uma alternativa eficaz no sentido de viabilizar o uso de sistemas fotovoltaicos em lugares onde o custo nivelado da energia ainda é superior à tarifa local de energia elétrica. Tarifas prêmio ou *feed-in tariff* (FIT), por exemplo, são um mecanismo que possibilita aos produtores a venda de excedentes produzidos a um preço mais elevado que as tarifas de distribuição, estimulando a expansão do uso dessa tecnologia. Esse mecanismo poderia ser utilizado para viabilizar a geração de energia por fonte solar naquelas capitais onde o nível de radiação solar é muito baixo, por exemplo.

Além disso, condições especiais de financiamento também podem contribuir para a expansão da demanda pela tecnologia fotovoltaica, suavizando o fluxo de caixa do interessado em utilizar painéis solares para a geração de sua própria energia. Em Orlando, nos Estados Unidos, por exemplo, consumidores interessados na aquisição de sistemas fotovoltaicos podem fazer empréstimos de até US\$ 20.000,00 a taxas de juros de 2% a 5,5% ao ano, por períodos de até dez anos para a amortização da dívida (ABINEE, 2012). Além disso, esses empréstimos podem ser pagos diretamente nas contas de luz pagas à distribuidora, simplificando o processo, que pode se tornar ainda mais simples na medida em que o mercado de energia solar amadurecer.

Todas essas iniciativas resultariam no estímulo da demanda por sistemas fotovoltaicos, que, por sua vez, deve criar um ambiente que fomente o investimento na indústria solar do País. Os ga-

nhos de escala associados à ampliação na oferta, somados à acelerada curva de aprendizagem do setor, devem reduzir ainda mais os custos do investimento no médio prazo, tornando o uso residencial de sistemas fotovoltaicos viável mesmo em condições de baixas tarifas de distribuição ou de menores níveis de radiação solar. Esta perspectiva também minimiza o risco do investimento em painéis solares, uma vez que o custo nivelado da energia gerada tende a se reduzir, ficando menos sensível à alteração de outras variáveis que afetam a viabilidade do seu uso.

Apesar de todas as vantagens que a exploração do recurso solar propicia, a geração fotovoltaica enfrenta algumas barreiras à sua expansão, que são alheias à sua avaliação puramente econômica. Nesse sentido, a intermitência na geração fotovoltaica devido, por exemplo, a alterações nas condições atmosféricas do local onde se localiza o sistema cria incertezas quanto ao volume de energia capaz de ser gerado pelos painéis solares. A intermitência na geração e suas variações bruscas no curto prazo podem dificultar o controle do sistema pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico.

A intermitência na geração de energia solar caracteriza essa fonte como uma fonte “não firme” de energia, sendo inapropriada para substituir outras fontes como a hidráulica e a térmica, cujo despacho pode ser feito na medida em que a carga do sistema exige.

A energia fotovoltaica, entretanto, se configura como uma importante fonte complementar para o Brasil devido à abundância não só do recurso solar, mas de matérias-primas da indústria fotovoltaica. A viabilidade de seu uso aponta para o potencial de uma expansão mais acelerada na demanda por essa tecnologia no médio prazo, contribuindo para a diversificação da matriz elétrica nacional de forma limpa e sustentável.

## 5 Considerações finais

O território brasileiro é rico em recursos que possibilitam o desenvolvimento da indústria fotovoltaica. No entanto, o impulso a esse desenvolvimento deve surgir pelo lado da demanda, criando um ambiente seguro para que a iniciativa privada tenha os estímulos necessários para promoção de investimentos nessa indústria.

A demanda pela tecnologia fotovoltaica, por sua vez, está condicionada ao custo dos equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico, ao nível de radiação solar incidente e às tarifas de distribuição, variáveis que, sob uma análise conjunta, são capazes de indicar se o uso dessa tecnologia para a geração de energia elétrica é economicamente viável ou não.

Através dessa lógica, o presente trabalho identificou a viabilidade econômica no uso residencial de painéis fotovoltaicos para a maior parte das capitais brasileiras, com destaque para as da Região Nordeste, apontando a existência de uma demanda potencial capaz de estimular o desenvolvimento da indústria fotovoltaica no País.

Apesar de se apresentar economicamente viável, a demanda por painéis fotovoltaicos ainda precisa de estímulos que a transformem em um movimento efetivo, suficiente para dar à energia solar participação maior na matriz energética brasileira. Outros países têm utilizado uma grande variedade de incentivos para encorajar a instalação ou expansão de indústrias da cadeia fotovoltaica como forma de melhorar o seu desempenho econômico e social. Além disso, esses países também estão procurando colaborar com políticas de combate às mudanças climáticas, possibilitando maior acesso às fontes de energia renováveis. O Brasil ainda precisa destravar algumas barreiras para a expansão fotovoltaica no País.

A grande pergunta é: como fazer isso? Esse movimento deverá ser feito através da criação de incentivos na forma de crédito mais barato, melhores condições de financiamento e reduções tributárias, além do contínuo aperfeiçoamento do ambiente regulatório. Inclusive, deve-se ter estímulos específicos para cada região, conforme suas peculiaridades.

Enfim, ainda existem desafios para a expansão do uso residencial de painéis fotovoltaicos no Brasil. Entretanto, é importante salientar que sua riqueza quanto ao recurso solar garante viabilidade econômica no uso dessa tecnologia para a maior parte das capitais brasileiras e sugere grande potencial de expansão na participação dessa fonte na matriz energética nacional ao longo dos próximos anos.

## Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para a inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. São Paulo: ABINEE, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Alíquotas ICMS 2012**. Disponível em: <<http://www.abradee.org.br/setor-de-distribuicao/banco-de-dados/financeiro>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- ACRA, A.; RAFFOUL, A.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions**. Paris: Unicef, 1984.
- ALONSO, J. G. **Economic analysis of the levelized cost of electricity generation**. La Marquesa: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2007.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas da energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.
- \_\_\_\_\_. **Banco de informações de geração**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- BANCO MUNDIAL. **Indicadores**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicador>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- BRASIL. Lei nº 10.637 de 30 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a não-cumulatividade na cobrança da contribuição para os Programas de Integração Social (PIS) e de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep), nos casos que especifica; sobre o pagamento e o parcelamento de débitos tributários federais, a compensação de créditos fiscais, a declaração de inaptidão de inscrição de pessoas jurídicas, a legislação aduaneira, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2002. p. 018055.
- CENSOLAR. **Valores medios de irradiacion solar sobre suelo horizontal**. Sevilla: Centro de Estudios de la Energia Solar, 1993.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO; CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas solarimétrico do Brasil**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.
- CLARKE, S. D. **Applications of sensitivity analysis for probit stochastic network equilibrium**. Viena: Elsevier, 2001.
- EHRlich, P. J. **Avaliação e seleção de projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2005.
- FLOOD, M. **Solar cells, edesign and innovation**. New York: Open University Press, 1986.
- HÉMERY, D.; BEBIER, J. C.; DELÉAGE, J-P. **Uma história da energia**. Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 1993.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- INSTITUTO IDEAL. **Cartilha educativa sobre eletricidade solar**. Trindade, 2012.
- ILLINOIS EDUCATION ASSOCIATION; NATIONAL EDUCATION ASSOCIATION. **Projected costs of generating electricity**. London: OECD Publishing, 2005.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Special Report on renewable energy sources and climate change mitigation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- JUNK, W. J.; MELLO, N. Impactos ecológicos das represas hidroelétricas na bacia amazônica brasileira. **Tumb. Geograph. Stud**, v. 95, p. 375-87, 1987.
- LEITE, A. D. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro: MME, 2012.

\_\_\_\_\_. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 Anos (2011-2020)**. Rio de Janeiro: MME, 2011.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Renewable energy technical potentials: a gis-based analysis**. Golden, U. S., 2012.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Mapas do SIN**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/mapas\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx)>. Acesso em: 10 dez. 2012.

PIDWIRNY, M. **Atmospheric effects on incoming solar radiation**. Cleveland: Cutler, 2007.

POMPEO, J. N.; HAZZAN, S. **Matemática financeira**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

REIS, L. B. dos. **Geração de energia elétrica**. São Paulo: Manole, 2003.

SEVERINO, M. M. **Avaliação técnico-econômico de um sistema híbrido de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas da Amazônia**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2008.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Verificação do custo do apagão energético de 2001: relatório de auditoria**. Brasília, DF: TCU, 2009.

TSAO, J. **Solar frequently asked questions**. Washington, U.S. Department of Energy, 2005.