

## **Uso da energia fotovoltaica em detrimento da hidroeletricidade em edificações residenciais no estado de Minas Gerais: viabilidade econômica**

*Use of photovoltaic energy to the detriment of hydroelectricity in residential edifications in the state of Minas Gerais: economic viability*

**Rodrigo Araújo Moraes**

Graduando em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário de Patos de Minas.  
e-mail: rodrigoaraujomoraes@hotmail.com

**Fábio de Brito Gontijo**

Professor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário de Patos de Minas.  
e-mail: fabiobg@unipam.edu.br

---

**Resumo:** A crise hídrica vivida no Brasil em 2014 colocou em pauta assuntos como a viabilidade da hidroeletricidade, sendo esta a principal fonte energética da matriz brasileira e considerada uma fonte inesgotável de energia. Por conseguinte, fontes alternativas de energia são objetos de pesquisa cada dia mais importantes. Todo o território brasileiro apresenta ótimas condições climáticas para a implantação do sistema de geração elétrica utilizando a radiação solar. Por tais condicionantes pode-se argumentar que nas próximas décadas o sistema fotovoltaico poderá apresentar uma percentagem significativa na matriz energética nacional, acarretando a longo prazo um aumento de externalidades positivas para a sociedade como um todo. Sendo assim, este trabalho aborda o uso da energia fotovoltaica e sua viabilidade econômica em edificações residenciais no estado de Minas Gerais, considerando desde a evolução das tecnologias de fabricação dos componentes, até a instalação e o preço final para o consumidor residencial. Para tal, utilizaram-se pesquisas qualitativas, quantitativas, bibliográficas e de estudo de campo, em que foram consultados livros e manuais escritos por entidades governamentais e pesquisadores renomados acerca do assunto abordado. Dimensionou-se um sistema fotovoltaico com base nos dados encontrados, sendo o investimento total de aproximadamente de R\$14.000,00. Concluiu-se que a implantação de um sistema fotovoltaico em residências unifamiliares é um investimento economicamente viável a longo prazo, pois o tempo de retorno é de aproximadamente 12 a 13 anos, podendo o consumidor obter benefício real em 12 anos.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica. Economia. Análise Energética.

**Abstract:** The water crisis experienced in Brazil in 2014 has been considered as a viability of hydroelectricity, being this one main energy source of the Brazilian matrix and considered an inexhaustible source of energy. Therefore, alternative sources of energy are increasingly important research objects. The whole Brazilian territory presents excellent climatic conditions for an implantation of the electric generation system using solar radiation. For such conditions it can be argued that the seasonalities of the photovoltaic system may present a significant percentage in

the national energy matrix, causing at long term an increase positive externalities for a society as a whole. Therefore, this work deals with the use of photovoltaic energy and its economic feasibility in residential buildings in the state of Minas Gerais, considering the evolution of the components' manufacturing technologies, the installation and final price for the residential consumer. For this, qualitative, quantitative, bibliographical and field study were used, in which books and manuals written by governmental entities and renowned researchers were consulted on the subject addressed. A photovoltaic system was dimensioned based on the data found, with a total investment of approximately R\$ 14,000.00. It was concluded that the implantation of a photovoltaic system in single-family homes is an economically viable investment in the long term, for a return time of approximately 12 years.

**Keywords:** Photovoltaic energy. Economy. Energy Analysis.

---

## 1. Introdução

Desde a origem da humanidade, com a descoberta do fogo, sabe-se que fontes de energia são de extrema importância para a subsistência do ser humano, tanto para sua alimentação quanto para a garantia do aquecimento nas épocas de frio. A Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII, foi um marco histórico em relação à utilização de novas fontes de energia no setor tecnológico e industrial, com o uso do vapor de água e de carvão (HOBBSAWM, 2004). Desde então, diversas fontes de energia foram desenvolvidas e estão disponíveis, como a eólica, a nuclear, a fotovoltaica, a hidroelétrica e diversas outras, que foram sendo criadas e aprimoradas ao longo do século por diversos pesquisadores.

A principal fonte geradora de energia elétrica no Brasil são as usinas hidroelétricas, devido principalmente às condições climatológicas e botânicas do país, bem como a suas condições de relevo, que em sua maioria são planálticas e às condições do clima tropical, que propiciam chuvas durante todo o ano, favorecendo o acúmulo de um grande volume de água. Tendo o custo-benefício extremamente positivo, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015), 62,5% da energia elétrica disponível no Brasil é oriunda de grandes usinas hidroelétricas.

A crise hídrica, vivida no Brasil em 2014, principalmente no estado de São Paulo, coloca em pauta assuntos como a viabilidade da hidroeletricidade, a qual era considerada uma fonte inesgotável de energia. Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2009), o Brasil tem 12% de toda a água doce do planeta, mas ainda assim o país vivencia uma grande crise hídrica nos últimos anos. O índice pluviométrico mensal do Sistema Cantareira reduziu cerca de 38% em relação à média pluviométrica histórica, no período de maio de 2014 a janeiro de 2015 (SABESP, 2015). A associação desse fato às perdas de água por vazamentos é de até 34%, desde a retirada da represa até a disposição ao cliente (SABESP, 2008), causando uma drástica redução dos volumes dos reservatórios, e fazendo com que grandes cidades do estado de São Paulo já sofram com a escassez de água. O estado de Minas Gerais, apesar de ter sido menos afetado pela crise hídrica, também está em estado de alarme, pois no período de janeiro de 2014 a janeiro de 2015, o volume dos reservatórios do sistema do Paraopeba reduziu 60,67% (COPASA, 2015).

Em países desenvolvidos os investimentos em energia são feitos em diversos tipos de usinas, propriamente para evitar crises quando um modelo de geração apresenta problemas. A Alemanha, sendo um país modelo em sustentabilidade, obtém 22,8% da energia elétrica a partir de fontes renováveis, excluindo-se a hidroeletricidade (AGEB, 2014). Entretanto, mesmo o Brasil sendo um dos países com maior potencial em energias sustentáveis do mundo, esse percentual é de apenas 12,58% (ANEEL, 2015a).

Dito isso, fontes renováveis de energia são objetos de pesquisas cada dia mais importantes. As energias eólica, solar, marítima, geotérmica e biomassa têm como suas principais características o fato de serem praticamente inesgotáveis e consideradas energias limpas, pois não geram poluentes como subprodutos de geração energética (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Todo território brasileiro apresenta ótimas condições climáticas para a implantação do sistema de geração de energia elétrica utilizando a radiação solar. Devido à crise hídrica, provavelmente em breve o governo realizará campanhas de incentivo para a utilização de fontes de energias alternativas, sendo a energia solar uma fonte gratuita e praticamente inesgotável, mas ainda com preços relativamente altos quando se trata de painéis fotovoltaicos, inversores de frequência e outros equipamentos necessários para a montagem de um sistema fotovoltaico.

Segundo a ANEEL (2005), a conversão da energia solar em energia elétrica ocorre através dos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais semicondutores<sup>1</sup>, que têm esta denominação por conduzirem eletricidade de maneira menos efetiva que os condutores<sup>2</sup>, porém mais efetiva que os isolantes<sup>3</sup>. O material semicondutor mais utilizado para a produção de energia fotovoltaica é o silício, devido à sua abundância no planeta.

A energia fotovoltaica, quando comparada à energia hidroelétrica, é considerada de extrema eficácia, pois é gerada pela radiação solar, que é praticamente inesgotável, assim como fontes de luz. Segundo o INPE (2006, p. 31),

os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 kWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Europeia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>) e França (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>).

Em 2012 a ANEEL sancionou a Resolução Normativa 482 de 17/04/2012 (ANEEL, 2012), a qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas no sistema de distribuição de energia elétrica e no sistema de compensação

---

<sup>1</sup> Materiais semicondutores são aqueles que, à temperatura de zero Kelvin, não conduzem eletricidade, porém à medida que sua temperatura aumenta, os elétrons da camada de valência absorvem energia passando para a banda de condução, assim permitindo que as cargas elétricas se desloquem, conduzindo eletricidade, caso sejam expostos a uma diferença de potencial (ZEGHBROECK, 2011, tradução dos autores)

<sup>2</sup> Materiais Condutores são aqueles nos quais as cargas elétricas se deslocam de maneira relativamente livre (HALLIDAY, 2003).

<sup>3</sup> Materiais isolantes são materiais cujas cargas elétricas não conseguem se mover livremente. (HALLIDAY, 2003)

de energia elétrica, o que permite que clientes residenciais, comerciais e empresariais instalem painéis fotovoltaicos e deduzam essa microgeração de suas contas de energia, podendo também fornecer para a concessionária a energia que não for utilizada. Tais incentivos governamentais são fortes estímulos para o desenvolvimento de pesquisas para reduzir os custos de produção de equipamentos.

Neste contexto este trabalho tem como principal premissa avaliar a viabilidade econômica do uso de sistemas fotovoltaicos em Minas Gerais em detrimento da hidroeletricidade. Para tanto, o objetivo específico deste trabalho é verificar a viabilidade do uso residencial do sistema, analisando o custo de implantação no estado de Minas Gerais e o tempo de retorno.

## 2. Referencial teórico

Nesta sessão serão apresentados os principais autores que balizaram a temática abordada e escreveram sobre conceitos da energia fotovoltaica, dados solarimétricos, rendimento de diversos materiais empregados e equipamentos necessários para a instalação de um sistema fotovoltaico residencial.

### 2.1. A energia elétrica

Definir energia isoladamente não é usual mesmo para os grandes autores das literaturas da física, visto que a energia está ligada macroscopicamente e microscopicamente a todos os constituintes que exercem influência sobre o sistema (uma parte do universo que está em consideração), englobando também os princípios do trabalho e da termodinâmica. Nesse sentido, segundo a obra de Serway e Jewett Jr. (2012, p. 179), “a energia está presente no universo de várias formas. Todo processo físico no universo envolve energia e transferências ou transformações de energia. Assim, energia é um conceito extremamente importante para ser compreendido”.

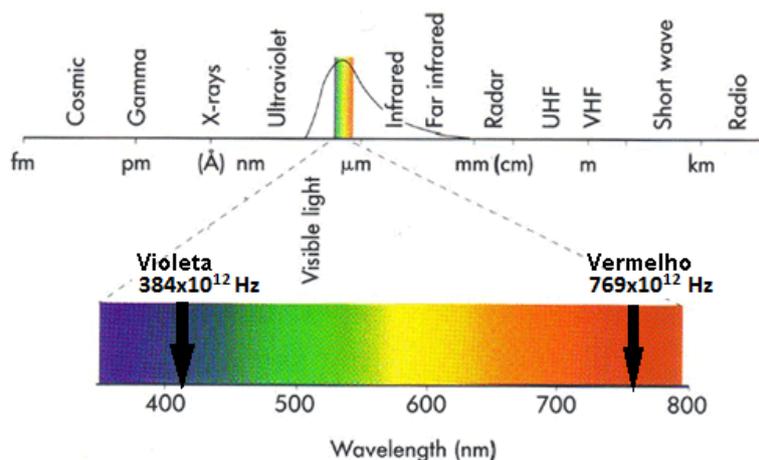
Em consonância com o proposto por Serway e Jewett Jr., Young e Freedman (2008, p. 181) afirmam que “a energia é uma grandeza que pode ser convertida de uma forma para outra, mas que não pode ser criada nem destruída”. Esta definição nos leva ao princípio da conservação de energia, que nos diz que em um sistema a energia sempre se mantém constante, apenas sendo convertida em outras formas. Em 1872, Maxwell propôs uma definição que abrange as energias de um modo geral, dizendo que energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança.

Nesse sentido, podem-se definir quatro formas básicas de energia, que podem se manifestar nos mais diversos tipos de sistemas: a cinética, a potencial, a da massa (energia de repouso) e a dos campos gravitacional e eletromagnético (SOLBES; TARÍN, 1998). Novas denominações como energia química, energia elétrica, energia mecânica, entre outras, não devem ser entendidas como novas formas de energia, mas sim como manifestações das quatro formas básicas em sistemas diferentes (BUCUSSI, 2006).

A conversão da energia cinética do movimento dos elétrons nas células fotovol-

taicas em uma corrente elétrica ocorre através da passagem dos elétrons de um semicondutor ao outro após receberem a radiação do espectro de luz visível, que, segundo Thomé (2003), é a porção do espectro eletromagnético (Figura 1) cujo comprimento de onda da radiação é capaz de sensibilizar o olho humano e também as células fotovoltaicas, sendo este processo denominado como Efeito Fotovoltaico.

Figura 1. Comprimento de ondas



Fonte: OLIVEIRA (2013). Adaptada pelos autores.

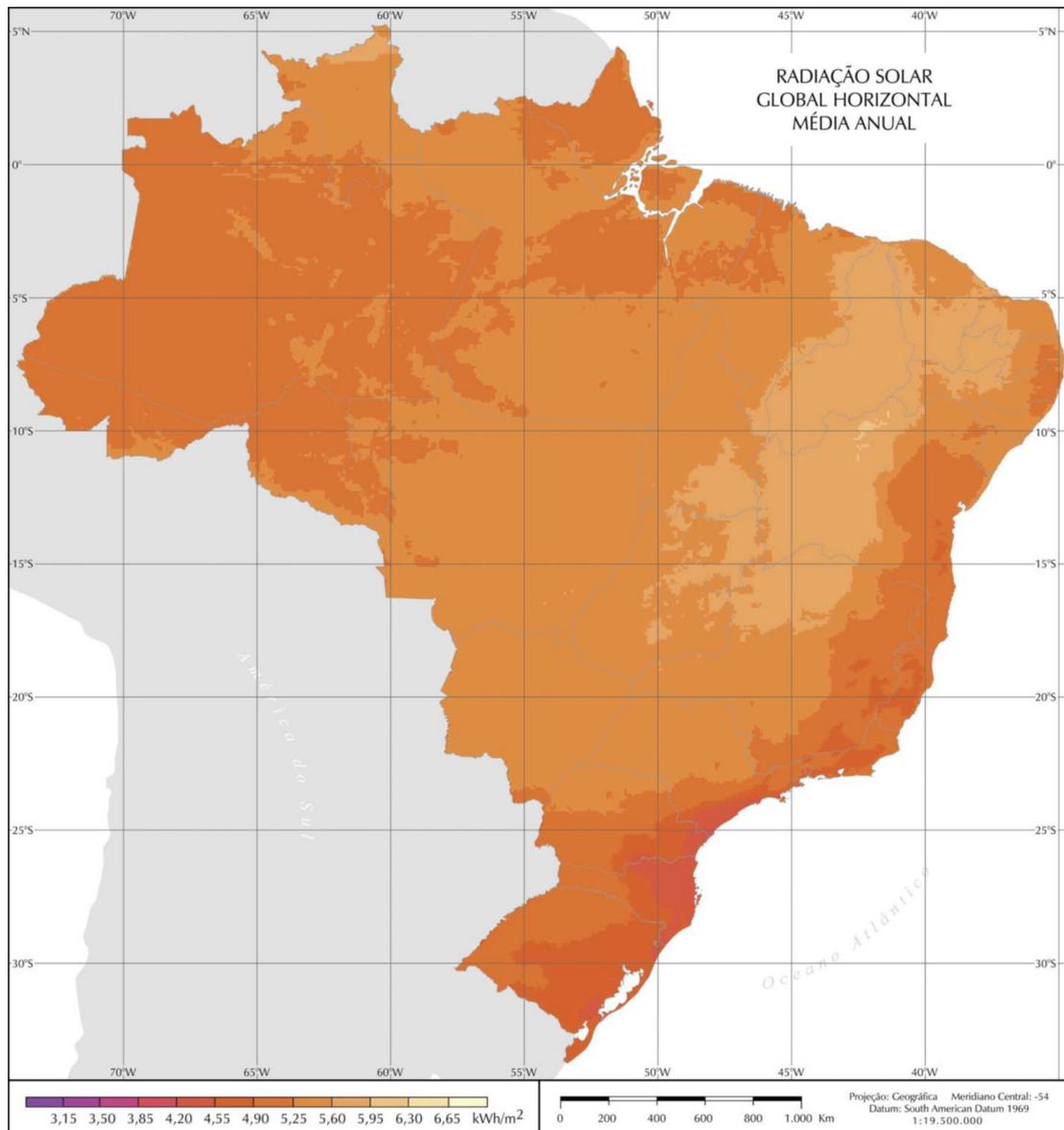
Conforme mostrado na Figura 1, o comprimento de onda que sensibiliza tanto o olho humano quanto as células fotovoltaicas começa na frequência de  $384 \times 10^{12}$  Hz (cor violeta), e vai até a frequência aproximada de  $769 \times 10^{12}$  Hz (cor vermelha).

## 2.2. O sol como fonte de energia

O sol, que é a base da vida na Terra e nossa principal fonte de calor, também pode ser usado como fonte de energia. Conhecer a radiação solar que incide na terra é de fundamental importância em diversas atividades humanas como na agricultura, nos estudos climatológicos, entre diversas outras. O aproveitamento da energia solar de forma funcional é altamente viável, pois segundo o INPE (2006, p.31),

[...] a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global –  $6,5 \text{ kWh/m}^2$  – ocorre no norte do estado da Bahia, [...]. A menor irradiação solar global –  $4,25 \text{ kWh/m}^2$  – ocorre no litoral norte de Santa Catarina [...].

Desta maneira, percebe-se que o Brasil é um país com ótimas condições para a captação e aproveitamento da radiação emitida pelo sol, como pode ser observado no mapa solarimétrico da Figura 2.

**Figura 2.** Radiação solar global horizontal – média anual

Fonte: INPE (2006)

Pode-se observar na Figura 2 que a região onde ocorrem maiores níveis de radiação global durante todo o ano é a região Norte e Nordeste, e menores índices na região Sul e Sudeste. A radiação no estado de Minas Gerais, foco do presente estudo, pode ser comparada à da região Nordeste. Além disso, um fator que interfere diretamente na eficiência do sistema fotovoltaico é a temperatura, sendo as temperaturas amenas propícias para seu maior desempenho. Minas Gerais além de apresentar níveis de radiação comparados a região Nordeste, apresenta uma temperatura média inferior à da região Nordeste, e por conseguinte, é um estado com grande potencial de geração de energia solar.

### 2.3. Energia fotovoltaica

A energia fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade através do Efeito Fotovoltaico (melhor explicado no item 2.4), sendo a célula fotovoltaica um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (CRESESB, 2014).

#### 2.3.1. Histórico da energia fotovoltaica no mundo

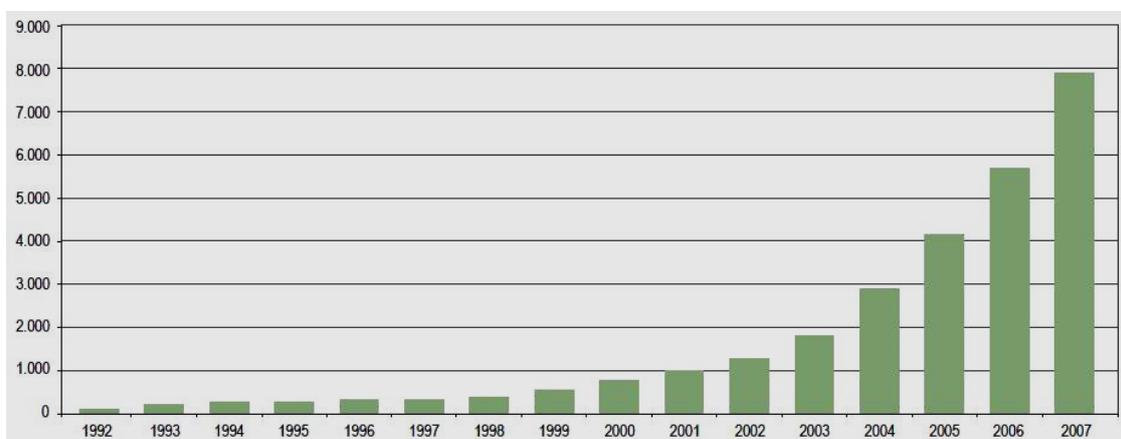
A energia fotovoltaica é uma fonte de energia relativamente nova. Segundo Varella e Brito (2008), em consonância com CRESESB, o efeito fotovoltaico pôde ser observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel, que verificou que placas de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. Apenas em 1954 foi apresentada a primeira célula solar moderna, iniciando-se o processo industrial, com apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, gerando 5 mW de potência elétrica.

A princípio, o desenvolvimento da tecnologia teve como principal sustentáculo as empresas do ramo de telecomunicações, tendo como o maior estimulante a chamada “corrida espacial”. Segundo o CRESESB (2014, p. 52),

a célula fotovoltaica era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo, peso e segurança) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de alimentação de equipamentos eletroeletrônicos no espaço.

Desde então, tal tecnologia cresceu de forma constante ao longo dos anos. No Gráfico 1 pode-se observar a evolução da potência solar instalada no mundo entre 1992 a 2007.

**Gráfico 1.** Crescimento da geração de potência instalada de células fotovoltaicas no mundo (MW)



Fonte: ANEEL (2008)

Nesse contexto, segundo a ANEEL (2008, p. 82),

a participação da energia solar é pouco expressiva na matriz mundial. Ainda assim, ela aumentou mais de 2.000% entre 1996 e 2006. Em 2007, a potência total instalada atingiu 7,8 mil MW, conforme estudo do *Photovoltaic Power Systems Programme*, da IEA. Para se ter uma ideia, ela corresponde a pouco mais de 50% da capacidade instalada da usina hidrelétrica de Itaipu, de 14 mil MW.

Com o grande crescimento da utilização da energia fotovoltaica, podemos prever que em um futuro próximo seu percentual de utilização será expressivo na matriz energética mundial, o que impulsionará o crescimento da utilização deste tipo de energia também na matriz brasileira.

### 2.3.2. Histórico da energia fotovoltaica no Brasil

Um grande incentivo para o desenvolvimento e implantação do sistema fotovoltaico no Brasil foi a crise do petróleo na década de 70, quando o mundo percebeu que os combustíveis fósseis eram finitos. A partir de então, grandes incentivos para a implantação e desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos foram realizados, principalmente para uso residencial e comercial, em aplicações autônomas e conectadas à rede, já que até a década anterior a maior utilização destes sistemas tinha como finalidade gerar energia elétrica para satélites espaciais (VARELLA; BRITO, 2008). Em consonância, Fraidenraich (2005) e Varella e Brito (2008) afirmam que tal crise impulsionou o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil, iniciando, então, naquela época, a comercialização de produtos fotovoltaicos no país.

No Brasil praticamente todos os sistemas em operação não são conectados à rede, segundo o Greenpeace (2004, p. 7):

atualmente, quase que a totalidade dos sistemas fotovoltaicos em operação no Brasil são isolados ou não conectados à rede, e estima-se que a potência total instalada seja de aproximadamente 15 MWp, dos quais 70% estão localizados nas regiões Nordeste, Norte e Centro-Oeste. Esses sistemas, economicamente viáveis para certas regiões do país, podem ser considerados uma opção real e concreta para a energização de comunidades isoladas sem acesso à rede convencional de distribuição de eletricidade.

Neste sentido, foram criados programas de estímulos do uso da energia fotovoltaica no Brasil, segundo Flanagan e Cunha (2002), com o propósito de abrandar o grande problema da falta de acesso à energia elétrica em diversas regiões do país, e programas envolvendo sistemas de energia fotovoltaica para o uso rural foram criados em consonância com as concessionárias de energia. Entre eles pode-se citar o Programa Luz do Sol, na Região Nordeste; o Programa Luz Solar, em Minas Gerais; e o Programa Luz no Campo, em todo o Brasil.

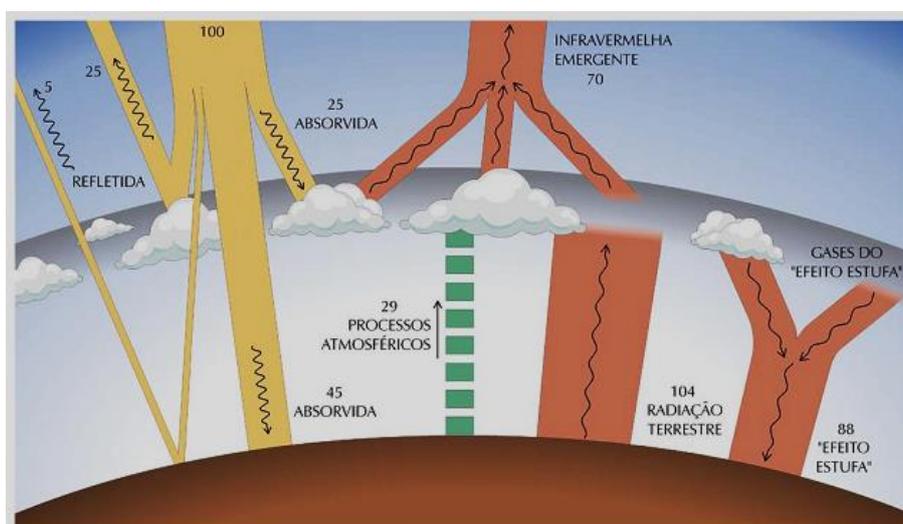
Por conseguinte, em 2012 foi sancionada a resolução normativa 482 da ANEEL, que regulamenta a microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição

de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências, incentivando os consumidores a implantar sistemas fotovoltaicos. Segundo a ABSOLAR (2015), há atualmente no país 960 conexões de micro e minigeração, que totalizam 12 MW. A perspectiva da ANEEL é de que a revisão da resolução 482 no final de 2015 faça o país chegar a até 702 mil conexões e 2,6 GW de capacidade instalada.

#### 2.3.4. Distribuição da radiação solar

A radiação solar global pode ser separada em dois componentes, sendo a direta e a difusa. A radiação solar direta é a radiação que não sofre interferências do meio até a chegada à superfície terrestre. A radiação solar difusa é a parte da radiação global que é espalhada pela camada atmosférica, nuvens, gases aerossóis e partículas de poluentes em suspensão na atmosfera. Quando a radiação solar atinge a Terra, vários fatores atrapalham a absorção. Estima-se que apenas 50% de toda a radiação solar que incidente sobre a Terra chegue à superfície, sendo que a percentagem restante ou é espalhada pelas nuvens, gases atmosféricos e aerossóis, sendo denominada radiação difusa, ou é refletida pela camada atmosférica de volta ao Sol, conforme pode ser visto na Figura 3 (INPE, 2006).

Figura 3. Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre

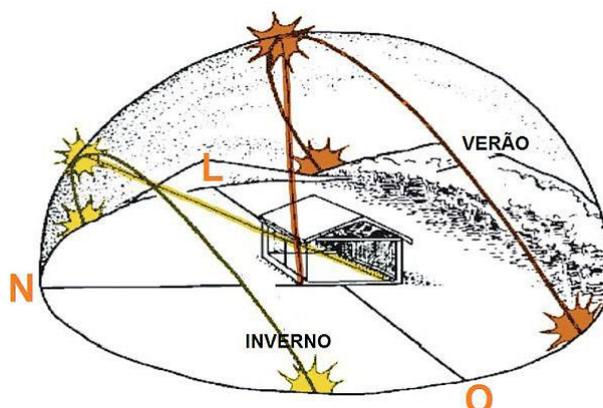


Fonte: INPE (2006)

Ao analisar a Figura 3, pode-se inferir que 25% da radiação solar que atinge a terra é refletida pela atmosfera, sendo 25% absorvida e espalhada pelas nuvens, 5% refletida pela superfície terrestre e 45% é absorvida, vinda da soma da radiação direta e difusa.

Para o projeto proposto, é importante analisar também o valor da radiação no plano inclinado, visto que se o painel fotovoltaico estiver inclinado à latitude do local, este receberá mais radiação direta, conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4. Movimentação do Sol sobre uma residência



Fonte: Portal Solar (2015)

Como o Sol sempre atinge uma residência brasileira em sua fachada Norte, a disposição do painel fotovoltaico que maximiza a geração de energia é sempre com seu plano virado ao Norte, e de forma perpendicular à incidência de raios solares, pois desta maneira maior radiação direta chegará até a placa.

### 3. Material e métodos

Para o presente estudo foram realizadas pesquisas qualitativas, quantitativas, bibliográficas e estudo de campo, nas quais foram utilizados livros e manuais escritos por entidades governamentais brasileiras e por pesquisadores renomados acerca do assunto abordado. Com o estudo aprofundado do tema a partir das referências bibliográficas, foram coletados os dados de radiação solar incidentes no estado de Minas Gerais e informações sobre os equipamentos necessários para a instalação do sistema fotovoltaico residencial.

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, utilizaram-se dados de radiação incidentes no estado de Minas Gerais e a média de consumo energético residencial. Posteriormente, tais dados foram utilizados para a escolha dos componentes do SFV em lojas especializadas *online*. A partir da escolha dos componentes realizou-se um orçamento que serviu de base para a análise de viabilidade econômica. O estudo da viabilidade foi feito através da análise do tempo de retorno do investimento, que será pago com a economia na conta de energia da concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica no estado de Minas Gerais – CEMIG.

### 4. Resultados e discussão

Para o dimensionamento do Sistema Fotovoltaico, foram utilizados dados do consumo médio de energia residencial. Os dados necessários para o dimensionamento do SFV são o número de horas de sol pleno por dia (HSP), que para o estado de Minas

Gerais é em média cinco horas, conforme obtido na Figura 9, e a média de kWh fotovoltaico que o sistema deverá gerar, que foi obtida através da análise dos dados encontrados na Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, publicada pela EPE: “em 2014, o consumo médio de um domicílio brasileiro alcançou a marca de 167 kWh/mês, representando um avanço de 2,6% sobre o valor registrado em 2013 - valor superior à média histórica (cerca de 2%)” (EPE, 2015, p.3).

A CEMIG cobra do consumidor no mínimo o equivalente a 50 kWh/mês para sistemas bifásicos, sendo este valor consumido ou não. Por este motivo, os 50 kWh/mês serão subtraídos da geração fotovoltaica. Neste sentido, o sistema fotovoltaico que será instalado deverá gerar 117 kWh por mês.

Os cálculos utilizados para o dimensionamento do SFV são detalhados a seguir, conforme as equações 2 e 3 (VILLALVA; GAZZOLI, 2012).

$$CMD = \frac{CMM}{30 \text{ dias}} = \frac{117}{30 \text{ dias}} = 3,9 \text{ kWh/dia} \quad (2)$$

Onde:

CMD = Consumo médio diário (kWh/dia)

CMM = Consumo médio mensal (kWh/mês)

$$EMGD = \frac{CMD}{HSP * Cp} = \frac{3,9 \text{ kWh/dia}}{\frac{5h}{\text{dia}} * 0,8} = 0,975 \text{ kWh} \quad (3)$$

Onde:

EMGD = Energia Média Gerada Diária (kWh)

HSP = Horas de sol pleno por dia (h)

Cp = Coeficiente de perda de rendimento ao longo dos anos

O índice EMGD fornece o parâmetro quantitativo a respeito da potência que deverá ser gerada pelo sistema diariamente para a residência em que será implantado. Neste caso, o sistema deverá prover 0,975 kWh ao longo das cinco horas de sol pleno.

Através destes dados, pode-se fazer a cotação dos itens necessários para a montagem do SFV, que são os painéis fotovoltaicos, inversor *grid-tie*, medidor bidirecional, suportes para fixação, cabeamentos e mão de obra. O levantamento de custos foi feito através da verificação dos preços dos itens em lojas *online* de equipamentos fotovoltaicos. Os itens necessários para a instalação são o módulo fotovoltaico, inversor, medidor bidirecional, suporte, cabeamento e mão de obra, conforme é demonstrado as especificações na Tabela 1.

**Tabela 1.** Componentes selecionados para a implantação do SFV

Equipamento	Descrição	Unid.	Quant	Potência	Potência Total	Preço Unit	Preço Total
Módulo Fotovoltaico	Yingli YL250P 29b (250Wp)	Uni	4	250 Wp	1000 Wp	R\$ 815,04	R\$ 3.260,16
Inversor	Inversor Grid-tie 1,5KW PHB Solar - PHB1500-SS	Uni	1	1500 W	1500 W	R\$ 4.990,00	R\$ 4.990,00
Medidor Bidirecional	Ecil MD2400-E1	Uni	1			R\$ 800,00	R\$ 800,00
Suporte	Kit de montagem Thesan para telha cerâmica (com ganchos) - 3 painéis fotovoltaicos	Uni	2			R\$ 863,04	R\$ 1.726,08
Cabeamento	Fios de cobre para ligação						R\$ 300,00
Mão de Obra	Mão de obra especializada	Hora	24			R\$ 110,00	R\$ 2.640,00
						Total Geral	R\$ 13.716,24

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Foram necessários quatro painéis fotovoltaicos, fornecendo juntos 1000 Wp, atendendo à residência com cerca de 2,5% a mais que o necessário. O inversor *grid-tie* central suporta até 1500 W de potência, atendendo perfeitamente às solicitações. Foram adotados suportes para seis painéis, prevendo que o sistema possa ser expandido até 1500 Wp. Todos os equipamentos foram selecionados com desempenho superior ao calculado, prevendo-se que no futuro haja um aumento da demanda do sistema. Tendo como base os cálculos realizados, o investimento total é de aproximadamente R\$ 13.716,24. O sistema montado pode ser visto na Figura 5.

**Figura 5.** Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede

Fonte: PUCRS (2015).

O sistema proposto conciliará o consumo de eletricidade da concessionária com o sistema fotovoltaico. Como o consumidor ainda será dependente da concessionária, será onerado mensalmente em R\$ 50,85, valor equivalente a 50 kWh/mês, valor já descontado para o dimensionamento do sistema.

Para uma maior precisão da análise econômica da viabilidade do sistema, será considerado um reajuste anual de 5,93%, que foi o reajuste estabelecido pela ANEEL para o consumidor residencial de Minas Gerais no ano de 2015 (ANEEL, 2015c). Tal reajuste será aplicado como a taxa de juros no cálculo do tempo de retorno do investimento.

A Tabela 2 apresenta o desembolso inicial de R\$ R\$ 13.716,24 referente aos componentes e instalação do sistema, o valor de R\$ 220,00 ao ano, a partir do oitavo ano referente à manutenção do sistema, o retorno anual obtido pela economia na conta, e o fluxo de caixa. Foi considerado também o reajuste de 5,93% ao ano como taxa de juros.

**Tabela 2.** Fluxo de caixa do investimento no SFV

Ano	Investimento	Retorno Anual	Fluxo de Caixa
1	R\$ 13.716,24	R\$ 805,46	R\$ 12.910,78
2	R\$ -	R\$ 853,23	R\$ 12.057,55
3	R\$ -	R\$ 903,82	R\$ 11.153,72
4	R\$ -	R\$ 957,42	R\$ 10.196,30
5	R\$ -	R\$ 1.014,20	R\$ 9.182,11
6	R\$ -	R\$ 1.074,34	R\$ 8.107,77
7	R\$ -	R\$ 1.138,05	R\$ 6.969,72
8	R\$ 220,00	R\$ 1.205,53	R\$ 5.984,19
9	R\$ 220,00	R\$ 1.277,02	R\$ 4.927,17
10	R\$ 220,00	R\$ 1.352,75	R\$ 3.794,42
11	R\$ 220,00	R\$ 1.432,97	R\$ 2.581,45
12	R\$ 220,00	R\$ 1.517,94	R\$ 1.283,51
13	R\$ 220,00	R\$ 1.607,95	-R\$ 104,44

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Pode-se inferir pela análise da Tabela 2 que o retorno do investimento se dá entre os anos 12 e 13. Segundo os fabricantes, a vida útil dos equipamentos é de 25 anos, portanto o benefício econômico real do sistema é de em média 12 anos.

## 5. Considerações finais

De acordo com a ANEEL (2012), a homologação da resolução normativa nº 482, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, possibilitando também o sistema de compensação, foi um marco brasileiro no que se refere ao uso de energias sustentáveis, principalmente pelo consumidor final, ocasionando a queda dos preços dos componentes do sistema e permitindo possibilidades para que estudos sejam realizados para o desenvolvimento de novas tecnologias. Sendo assim, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede tendem a se tornar um meio promissor de geração de energia sustentável no mercado nacional.

Devido às crises ambientais que o planeta sofre atualmente é necessário cada vez mais que se usem energias limpas, e entre estas pode ser citada a fotovoltaica. Esta energia pode ser gerada no local de seu uso, sendo que a interação entre o silício e a luz solar não produz resíduos. Sendo assim, essa é uma boa alternativa de geração para compensar a alta demanda de energia hídrica na matriz nacional.

Verificou-se que a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede em residências unifamiliares com consumo mensal médio de 167 kWh é um processo economicamente viável. Através da pesquisa deste projeto pode-se destacar que o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 13 anos, podendo o consumidor usufruir do benefício real do sistema durante os 12 anos posteriores, considerando a vida útil dos equipamentos definida pelos fabricantes de aproximadamente 25 anos. O investimento a ser desembolsado no ato da instalação é de R\$ 13.716,24, de acordo com a Tabela 1, valor relativamente alto para o brasileiro, que culturalmente prefere enxergar resultados econômicos em curto prazo.

Este estudo poderá servir de embasamento teórico para que novas pesquisas sejam realizadas nesta temática, como a aceitação da implantação do sistema fotovoltaico pelas diferentes classes sociais, análise dos impactos ambientais relacionados à produção dos equipamentos, pesquisas em instalações comerciais (pequenas, médias e grandes empresas), agrícolas, entre outras.

## Referências

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. *Reestruturação da tarifa será alvo de P&D da ANEEL*. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/re-estruturacao-da-tarifa-sera-alvo-de-pd-da-aneel.html>>. Acesso em: 20 set. 2015.

AG Energiebilanzen e. V. *Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern*. Disponível em: <[http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&file-Name=20150227\\_brd\\_stromerzeugung1990-2014.pdf](http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&file-Name=20150227_brd_stromerzeugung1990-2014.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2015.

Agência Nacional das Águas. *Fatos e tendências –Água*. Brasília, setembro de 2009. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao\\_2.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2015.

Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005.

\_\_\_\_\_. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

\_\_\_\_\_. *Matriz de Energia Elétrica*. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. *Reajuste anual da CEMIG (MG) é aprovado*. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=8476&id\\_area=>](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8476&id_area=>)>. Acesso em: 18 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

BUCUSSI, Alessandro A. *Introdução ao conceito de energia*. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3\\_Bucussi.pdf](http://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3_Bucussi.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2015.

BUENO, Enio Pereira *et al.* *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos: INPE, 2006.

CARNEIRO, Joaquim. *Electromagnetismo B. Módulos fotovoltaicos - Características e associações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Minho. Braga, 2010. Disponível em: <[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos\\_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16961/1/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos_Caracteristicas%20e%20Associa%C3%A7%C3%B5es.pdf)>. Acesso em 04 abr. 2015.

CASTRO, Rui M.G. *Energias renováveis e produção descentralizada*. Introdução à energia fotovoltaica. Edição 0. Universidade de Lisboa: Lisboa, 2002. Disponível em: <[http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao\\_a\\_Energia\\_Fotovoltaica.pdf](http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2015.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. *Sistema de geração fotovoltaica*. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=cse\\_sistema\\_fotovoltaico](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=cse_sistema_fotovoltaico)>. Acesso em: 25 mar. 2015.

Companhia de Saneamento de Minas Gerais. *Nível dos Reservatórios do Sistema Paroapeba*. Disponível em: <<http://www.copasatransparente.com.br/index.php/nivel-dos-reservatorios/>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. *Programa de Redução de Perdas de Água e Eficiência Energética*. Disponível em: <[http://www.aesabesp.org.br/arquivos/etbs/02-progcorporativodeperdas-ceciliahassegawa\\_sabesp.pdf](http://www.aesabesp.org.br/arquivos/etbs/02-progcorporativodeperdas-ceciliahassegawa_sabesp.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2015.

Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. *Situação dos Mananciais*. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/DivulgacaoSiteSabesp.aspx>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

DEMONTI, Rogers. *Sistema de Co-geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Instituto de eletrônica de potência da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

Direct Industry. *Pyranometer*. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/prod/nrg-systems/pyranometers-61562-1552469.html>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

Empresa de Pesquisa Energética. *Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Julho%202015.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

FLANAGAN, P.; CUNHA, A. M. U. S. Agency for International Development (USAID). *Trade Guide on Renewable Energy in Brazil*. Outubro de 2002. Disponível em: <[http://s3.amazonaws.com/zanran\\_storage/www.winrock.org/ContentPages/18904417.pdf](http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.winrock.org/ContentPages/18904417.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2015.

GHERSHMAN, Eduardo. *Historia de la invención del transistor. Estudio de los semiconductores y los mecanismos del transistor*. Disponível em: <[http://www.galileog.com/tecnologia/transistor/transistor\\_1\\_12\\_2014.htm#silicio\\_grado\\_metalurgico](http://www.galileog.com/tecnologia/transistor/transistor_1_12_2014.htm#silicio_grado_metalurgico)>. Acesso em: 23 set. 2015.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. *Energia e meio ambiente no Brasil*. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2015.

GREENPEACE. *Dossiê Energia Positiva Para o Brasil*. Disponível em: <[http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/dossie\\_energia\\_2004.pdf?PHPSESSID](http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/dossie_energia_2004.pdf?PHPSESSID)>. Acesso em: 08 mar. 2015.

HALLIDAY, RESNICK, WALKER. *Fundamentos de Física*. 8 ed. São Paulo: Editora LTC, 2009, vol. 3.

HOBBSAWN, Eric J. *A era das revoluções: Europa 1789-1848*. Trad. Maria Tereza Lopes Teixeira e Marcos Penchel. 18 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

Hukseflux Brasil. *Piranômetro*. Disponível em: <[http://www.huksefluxbrasil.com.br/produto\\_servico/open/piranometro/?gclid=CLPIgqy36sQCFejm7AodfzsAvA](http://www.huksefluxbrasil.com.br/produto_servico/open/piranometro/?gclid=CLPIgqy36sQCFejm7AodfzsAvA)>. Acesso em: 25 mar. 2015.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. *Programa brasileiro de etiquetagem - Tabela de eficiência energética - Sistema de energia fotovoltaica – Módulos*. Edição 02/2014 Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela\\_fotovoltaico\\_modulo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf)>. Acesso em: 04 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. *O que é o Inmetro*. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/inmetro/oque.asp>>. Acesso em: 23 set. 2015.

LandisGyr. *E34A*. Disponível em: <<http://www.landisgyr.com.br/product/e34a/>>. Acesso em: 23 set. 2015.

MARTINS, Geomar M. *Eficientização, gestão e diagnósticos da energia elétrica*. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/desp/geomar/esp1041/Energia.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

MORI, Vânia; SANTOS, Ronaldo Luiz Correa dos; SOBRAL, Luiz Gonzaga Santos. *Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. *Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica*. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização). Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2004.

National Aeronautics and Space Administration. *Orbits 'R' Us!* Disponível em: <<http://spaceplace.nasa.gov/geo-orbits/en/>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

NEOSOLAR. *Inversor Fronius Galvo*. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-galvo-1-5-1.html>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

OLIVEIRA, Junior. *O que é luz?* Disponível em: <<http://www.junioroliveira-luz.com/blog/2013/02/20/o-que-e-luz/>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. *Energia Solar Fotovoltaica*. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/cbsolar/energia.php>>. Acesso em: 18 ago. 2015.

Portal Energia. *Energia Fotovoltaica*. Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. 2004. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. *Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares*. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

Portal Solar. *A melhor direção do painel solar fotovoltaico*. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 27 fev. 2015.

PRESENÇO, J. F. *Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água*. Energia na Agricultura. Tese. (Pós-Graduação Stricto Sensu). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2010.

PRIEB, César. W. M. *Determinação da eficiência de seguimento de máxima potência de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição*. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<ftp://ftp.solar.ufrgs.br/teses/prieb2.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR, John W. *Princípios de Física. Volume 1: Mecânica Clássica*. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. *Fotografias das estações*. Disponível em: <<http://sonda.ccst.inpe.br/fotos/index.html>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

SMA. *Informação Técnica. Derating de temperatura para Sunny Boy e Sunny Tripower*. Disponível em: <<http://files.sma.de/dl/7418/Temp-Derating-TI-pt-13.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2015.

SOLBES, J.; TARÍN, F. *Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía*. Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, 16(3): 387-397, 1998.

THOMÉ, Antonio Carlos Gay. *O espectro eletromagnético*. Disponível em: <[http://equipe.nce.ufrj.br/thome/p\\_grad/nn\\_img03/transp/c1\\_introd\\_v1b.pdf](http://equipe.nce.ufrj.br/thome/p_grad/nn_img03/transp/c1_introd_v1b.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2015.

VILLALVA, M. G.; GAZZOLI, J. R. *Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações. Sistemas Isolados e Conectados à Rede*. São Paulo: Érica, 2012.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. *Física I – Mecânica*. 12 ed. São Paulo: Pearson, 2008.

ZEGHBROECK, Bart Van. *Principles of Electronic Devices*. Disponível em: <[http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter2/ch2\\_3.htm](http://ecee.colorado.edu/~bart/book/book/chapter2/ch2_3.htm)>. Acesso em: 07 mar. 2015.