



**FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL**

LUCIANO RUFATO TEIXEIRA

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E A UTILIZAÇÃO DO SISTEMA *ON GRID*
EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

UBÁ – MG

2016

LUCIANO RUFATO TEIXEIRA

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E A UTILIZAÇÃO DO SISTEMA *ON GRID*
EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Msc. Israel Iasbik

UBÁ – MG

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus: sem Ele jamais teria conseguido alcançar meus objetivos.

Ao Professor/Orientador e Coordenador do curso - Israel Iasbik - sempre presente, incentivando e apresentando perspectivas que valorizaram o trabalho.

Aos mestres do Curso de Engenharia Civil, que durante a graduação, ajudaram-me a compreender melhor as peculiaridades da Engenharia Civil -um grande legado foi criado: conhecemos pessoas de quem jamais nos esqueceremos. Durante a trajetória tornaram-se grandes amigos; os debates sempre estimulantes. Um grupo heterogêneo de profissionais diante da diversidade de formação mantiveram-se presentes durante o curso de graduação. Ensinamentos compartilhados para a vida e para a formação profissional.

Aos meus pais que me iniciaram na arte da existência!

À minha mãe - Iraídes -, por me ter incentivado e apoiado em momentos de grandes decisões. E a meu pai - João Lúcio - por seu incentivo crítico, pela presença sempre firme.

Aos meus irmãos Luciane e Lucinei, pelo apoio constante.

Aos amigos Gustavo Ciotti e Aquenis Gomes, pelo constante incentivo e preciosas sugestões utilizadas para elaborar o melhor conteúdo possível para este Trabalho.

À minha esposa - Gisélia - compreensiva, companheira de sempre, minha cúmplice - por me ter apoiado e incentivado durante mais este percurso da vida conjugal.

Aos meus filhos - Gabriela e Leonardo - a razão de minha vida, de meu esforço e de meus sonhos. Em muitos momentos estive ausente, mas eu precisava me dedicar para agora, agradecer, comemorar e compartilhar esta vitória que também é de vocês.

Aos amigos e familiares, que sentiram a minha ausência em encontros festivos, enquanto eu me dedicava à formação acadêmica, suportando por inúmeras vezes minhas variações de humor e preocupação com o trabalho.

A todos, que direta ou indiretamente, fazem parte de minha história.

RESUMO

Devido aos riscos de escassez dos recursos naturais para as próximas gerações, percebe-se, atualmente, uma intensificação nos estudos das fontes renováveis de energia e sua importância na promoção de ganhos de ordem sustentável, educacional e econômica, destacando-se a energia solar como uma fonte de energia limpa, inesgotável e presente em todo o mundo. Baseado nessa premissa, o presente trabalho apresenta o reconhecimento da utilização da energia solar como principal alternativa para a produção de energia elétrica por meio do sistema fotovoltaico *on grid*, um sistema dotado de placas, cujos componentes absorvem a radiação solar e a convertem em energia elétrica. A simulação da instalação de um sistema fotovoltaico presente no final deste estudo comprova sua eficiência apresentando dados que ratificam a compensação financeira e consequente redução do custo de consumo de energia elétrica via concessionária local.

Palavras-chave: Fontes renováveis de energia. Energia solar fotovoltaica *on grid*. Energia elétrica.

ABSTRACT

Because of the risks of scarcity of natural resources for the next generations, there is now an intensification in the study of renewable energy sources and its importance in promoting sustainable, educational and economic gains, with solar energy as a source Of clean energy, inexhaustible and present throughout the world. Based on this premise, the present work presents the recognition of the use of solar energy as the main alternative for the production of electric energy through the photovoltaic system on grid, a system endowed with plates whose components absorb solar radiation and convert it into electric energy. The simulation of the installation of a photovoltaic system present at the end of this study proves its efficiency by presenting data that ratify the financial compensation and consequent reduction of the cost of electricity consumption through the local concessionaire.

Keywords: Renewable energy sources. Photovoltaic solar energy on the grid. Electricity.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude das constantes mudanças climáticas decorrentes da ação do homem a partir da Revolução Industrial e significativamente, vivenciadas a partir dos anos 1970, observa-se atualmente uma grande preocupação com as consequências das atividades humanas ao redor do planeta envolvendo a emissão de poluentes na atmosfera e contribuindo, conseqüentemente, para o aquecimento global.

Podendo acarretar grandes catástrofes, interferindo no ciclo hidrológico e influenciando negativamente a economia mundial, além de possibilitar perdas irreparáveis para a biodiversidade, a preocupação com o meio ambiente tem sido tema de constantes debates e tratados internacionais. A partir da década de 1990, acordos e compromissos mais rígidos foram firmados entre diversos países com o propósito de reduzir a emissão de gases que provocam o efeito estufa, além de buscar alternativas sustentáveis para o planeta, como reformar setores da energia e promover o uso de fontes energéticas renováveis.

Uma fonte renovável de energia pode ser considerada como toda aquela de caráter inesgotável para o consumo humano. Como fontes renováveis de energia podem ser citadas a eólica, a oceânica, a geotérmica, a biomassa, a hidrelétrica e a mais importante entre elas, a solar.

No Brasil a maior parte da eletricidade é composta por fontes de energia renováveis, tendo nas usinas hidrelétricas o fornecimento para a maior parte da demanda energética nacional. Por possuir um grande volume hídrico, o Brasil priorizou a produção de energia elétrica gerada pela força das águas, relegando a utilização de outras fontes renováveis de energia, como o sol, cuja energia pode ser aproveitada para a geração de energia térmica, obtida através de coletores solares ou energia elétrica, gerada por meio da absorção da radiação solar por sistemas fotovoltaicos.

Um sistema de energia solar fotovoltaico é uma fonte de produção de energia elétrica baseada na utilização de células fotovoltaicas para a conversão direta da energia dos raios solares em eletricidade, sendo importante como gerador independente de energia elétrica ou combinado com o fornecimento de energia elétrica pela concessionária. Atualmente, os sistemas fotovoltaicos têm ganhado importância em função de sua capacidade econômica e sustentável.

A divulgação de informações relativas aos diversos meios renováveis de geração de energia elétrica é muito importante, pois esclarece à população dúvidas sobre alternativas possíveis ao fornecimento convencional realizado pelas concessionárias e suas políticas de

aumentos abusivos. Em igual relevância, orienta a sociedade a evitar a utilização de energias não-renováveis, responsáveis por liberar poluentes na atmosfera, causando diversos impactos ambientais.

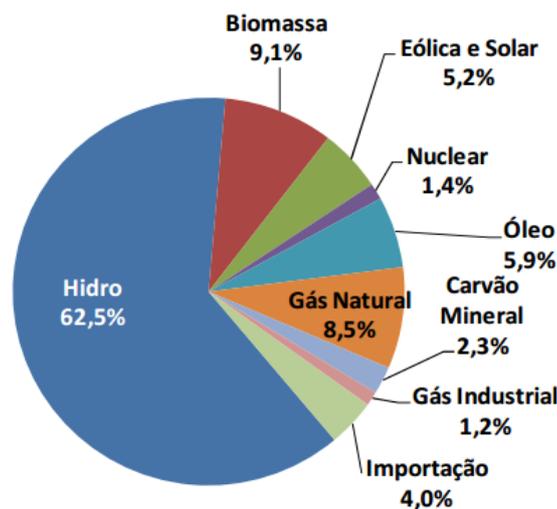
Com base no exposto, torna-se objetivo deste trabalho aprofundar os estudos sobre o tema “sistema solar fotovoltaico *on grid*”, aplicando-os no dimensionamento de um sistema completo e eficaz em uma residência unifamiliar.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fontes renováveis de energia no Brasil

O Brasil é um dos países do mundo, onde mais se utiliza de fontes de energia renováveis na cadeia produtiva da eletricidade, como pode ser observado na FIG. 1, correspondente à matriz energética¹ no Brasil no ano de 2015. Verifica-se a supremacia da potência hidráulica, participando com 68% de toda energia produzida pelo país. A participação das fontes renováveis fica próxima de 80%, em contraste à média mundial, em torno de 20%, segundo dados do Ministério das Minas de Energia (MME) na Resenha Energética Brasileira, editada em maio de 2016².

FIGURA 1 – Matriz energética brasileira (Maio 2016)



Fonte: (MME, 2016)³

¹ Matriz energética é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos, é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região. Disponível em: <https://www.significados.com.br/matriz-energetica>. Acesso em 10 set. 2016.

² Disponível em: <<http://goo.gl/toX2yO>>. Acesso em 10 de set. de 2016.

³ *Ibidem*.

Em virtude do alto emprego de energia hidráulica para a produção de energia elétrica e consequentemente o aporte financeiro para o desenvolvimento do setor, o Brasil ainda não experimenta um crescimento mais rápido em busca de novas fontes renováveis, comparando com outros países do mundo, como a China, Portugal e Alemanha, por exemplo⁴.

Com essa intenção, o MME criou em 2002 o Programa de Incentivo às Fontes Renováveis de Energia (Proinfa) com o “objetivo de desenvolver fontes alternativas e renováveis de energia para a produção de eletricidade, levando em conta características e potencialidades regionais e locais e investindo na redução de emissões de gases de efeito estufa”⁵.

Uma das alternativas escolhidas pelo Proinfa para a produção de energia limpa e renovável no Brasil foi a produção de energia eólica. De acordo com a Assessoria de Comunicação Social do MME, “entre os países de maior geração eólica, o Brasil é o que tem o maior fator de capacidade, que aponta o aproveitamento do vento para gerar energia” (MME, 2016)⁶. No Brasil, os maiores parques de energia eólica estão alocados no Ceará, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul. Também foi concebido pelo Proinfa a criação de energia a partir das biomassas, mas não foi abordado pelo programa a produção de energia elétrica a partir da luz solar.

Nos últimos anos, o Governo Federal percebeu que a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma excelente alternativa a produção de energia elétrica por meio da luz solar, gerando visibilidade perante a população e intenso interesse do setor privado, na produção de equipamentos receptores. Sendo assim, o Governo começou a se engajar na criação de programas de incentivo na produção desse tipo de energia alternativa, criando o Programa de Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), assinado em 15 de dezembro de 2015, com o objetivo de estimular a geração de energia pelos próprios consumidores, com previsão de R\$ 100 bilhões em investimentos até 2030.

⁴ Ver. GUADAGNIM, C. **8 países onde a energia limpa avança a passos largos**. Curitiba: Gazeta do Povo, 2016. Disponível em: <<http://goo.gl/8wR4jy>>. Acesso em 10 set. de 2016.

⁵ Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>>. Acesso em 10 set. 2016.

⁶ Disponível em: <<http://goo.gl/24L5x6>>. Acesso em 10 set. 2016.

2.2 Energia solar fotovoltaica

Inicialmente concebida para atender a pequenos sistemas isolados ou autônomos em locais que não eram atendidos pela rede elétrica, a energia solar fotovoltaica tem sido um mercado de investimentos promissor no segmento de produção de energia elétrica alternativa, pois apresenta mais regularidade no fornecimento de eletricidade do que a energia eólica e pode ser produzida em qualquer parte do país.

Privilegiado pelos valores de insolação incidentes no país e dimensões territoriais, o Brasil pode esperar, para as próximas décadas, uma produção de energia solar fotovoltaica até dez vezes maior que a Alemanha, país que atualmente figura como maior produtor desse tipo de energia. Em dados, a Alemanha produz, hoje, 20 Gigawatts (GW), representando 50% da eletricidade produzida no país, com uma taxa de insolação não superior a 3500 watt-hora por metro quadrado (Wh/m²) por dia⁷. Comparativamente, com uma taxa de insolação variável entre 4500 e 6000 Wh/m², o Brasil poderia produzir até 200 GW de eletricidade a partir da luz solar, segundo afirma Villalva (2015).

O interesse pela produção de energia solar fotovoltaica ganhou ainda maior notoriedade após os constantes aumentos nos preços da energia elétrica fornecida pelas concessionárias, “acumulando inflação de 60,42% no período de 12 meses, segundo dados de março do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)” (ABDALA, 2015)⁸. Diante do crescente encarecimento da energia elétrica e após constantes avanços na regulamentação do setor de energia fotovoltaico no Brasil, hoje se pode falar no surgimento de uma cultura de produção de eletricidade a partir da luz solar, de grande interesse para a sociedade brasileira e para as questões que envolvem a conservação do meio ambiente.

Além disso, “no lugar de grandes investimentos concentrados, a geração distribuída de eletricidade com sistemas fotovoltaicos tem a possibilidade de pulverizar investimentos e recursos, criando milhares de empregos diretos e indiretos em todas as regiões do país” (VILLALVA, 2015, p. 35).

⁷ KIRSCHBAUM, E. Germany sets new solar power record, institute says. **Reuters**, Berlin, 26 de maio de 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/4ZHrpq>>. Acesso em 10 set. de 2016.

⁸ ABDALA, V.. **Custo da energia elétrica aumenta 60% em 12 meses**. Brasília: Empresa Brasil de Comunicação – EBC, 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/sLKcHo>>. Acesso em 10 set. 2016.

2.2.1 Conceitos físicos básicos sobre a produção de energia solar fotovoltaica

Reverendo os conceitos básicos da Física clássica, a energia do sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética, possuindo frequências e comprimentos de onda diferentes. Quanto maior sua frequência, maior energia a onda poderá produzir, segundo a equação de Planck-Einstein⁹.

Entretanto, as ondas eletromagnéticas do sol possuem comportamentos diferentes em decorrência do seu ângulo de incidência sobre a Terra. Sendo assim, as ondas eletromagnéticas solares incidem com maior frequência na zona tropical do planeta, compreendida entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, tornando-se uma zona mais quente e iluminada do que as zonas temperadas.

Quando as ondas eletromagnéticas do sol incidem sobre um corpo que possui a capacidade de absorver radiação, a energia eletromagnética é transformada em energia cinética e transmitida para as moléculas desse corpo. Quanto maior for a agitação das moléculas desse corpo, mais elevada será sua temperatura. Em suma, esse processo corresponde à transmissão de calor ou energia térmica.

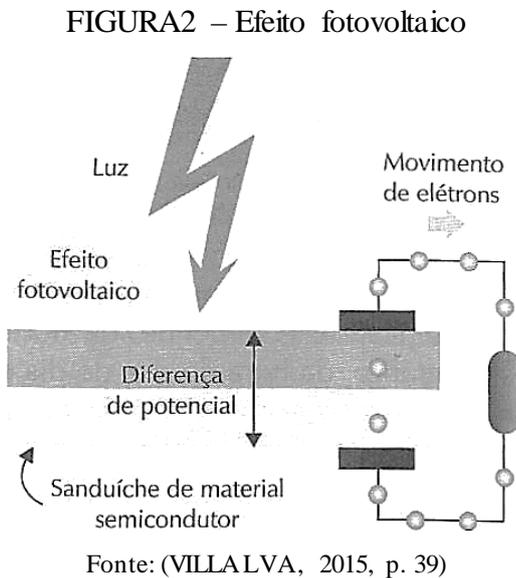
Incidindo sobre determinados corpos, entretanto, “as ondas eletromagnéticas, em vez de transmitir calor, podem produzir alterações nas propriedades elétricas ou originar tensões e correntes elétricas, dentre eles o efeito fotovoltaico e o efeito fotoelétrico” (VILLALVA, 2015, p. 39).

O efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, consiste na transformação da radiação eletromagnética do sol em energia elétrica através da criação de uma diferença de potencial, ou uma tensão elétrica, sobre uma célula formada por um sanduíche de materiais semicondutores (VILLALVA, 2015, p. 39).

Os estudos sobre o efeito fotovoltaico foram observados pela primeira vez pelo físico francês Alexander Edmond-Becquerel em 1839, servindo como base para a produção das primeiras células fotovoltaicas em 1956, impulsionada pelas novas descobertas da

⁹ A relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética é traduzida pela equação $E = h \times f$, em que E é a energia da onda (Expressa em joules [J]), f , sua frequência (expressa em hertz [Hz]), e h , uma constante física de proporcionalidade, chamada constante de Planck, que vale aproximadamente $6,636 \times 10^{-34}$ [J.s] (VILLALVA, 2015, p. 37).

microeletrônica, segundo Nascimento (2004)¹⁰. A FIG. 2 ilustra o funcionamento do efeito fotovoltaico.



2.2.2 Medição e captação de energia solar

Para quantificar a radiação solar, uma grandeza empregada é a irradiância, ou irradiação, expressa por watt por metro quadrado (W/m^2). Os sensores de radiação solar ilustrados na FIG. 3 fornecem medidas em irradiância e é prática comum quantificar a irradiância de determinado local várias vezes ao dia ao longo de semanas, meses ou até um ano, a fim de se obter uma série histórica de dados para a realização do dimensionamento de um sistema fotovoltaico para um determinado local.

¹⁰ NASCIMENTO, C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21f. Monografia (Pós-Graduação *lato-sensu* em fontes alternativas de energia) - Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em 10 set. 2016.

FIGURA 3 – Medidor de radiação solar



Fonte: (PCE MEDIDORES, 2016)¹¹

A insolação, por sua vez, expressa a potência da irradiância. Sabe-se que a potência é quantidade de energia medida em certo intervalo de tempo, ou a taxa de variação de energia em decorrência do tempo. Sua unidade padrão é watt-hora por metro quadrado (Wh/m^2) e assim como a irradiância, o levantamento de uma série histórica de dados é de extrema importância para o dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico.

Segundo Zilles *et al.* (2012), atualmente, existem várias estações solarimétricas que realizam o levantamento da insolação em vários pontos do mundo. No Brasil,

o programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (CRESESB, 2016).¹²

O programa SunData é gratuito e de acesso a toda população. Basta inserir a latitude e a longitude de um local e obter os resultados, conforme orienta a FIG. 4

¹¹ Disponível em: <<http://www.pce-medidores.com.pt/fichas-dados/imagens/medidor-radiacao-pce-spm1-uso2.jpg>>. Acesso em 11 set. 2016.

¹² Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em 11 set. 2016.

FIGURA 4 – Programa SunData disponibilizado pelo site da CRESESB

Intenção do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Foi usado no dimensionamento dos sistemas nas diversas fases do PRODEEM.

- Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)
- Busca por Coordenadas
- Cálculo da Irradiação no plano Inclinado
- Apresentação dos Dados
- Sobre o Sundata

Coordenada Geográfica

Latitude Sul Longitude Oeste

Norte:

- graus decimais (00.00°)
- graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar Limpar

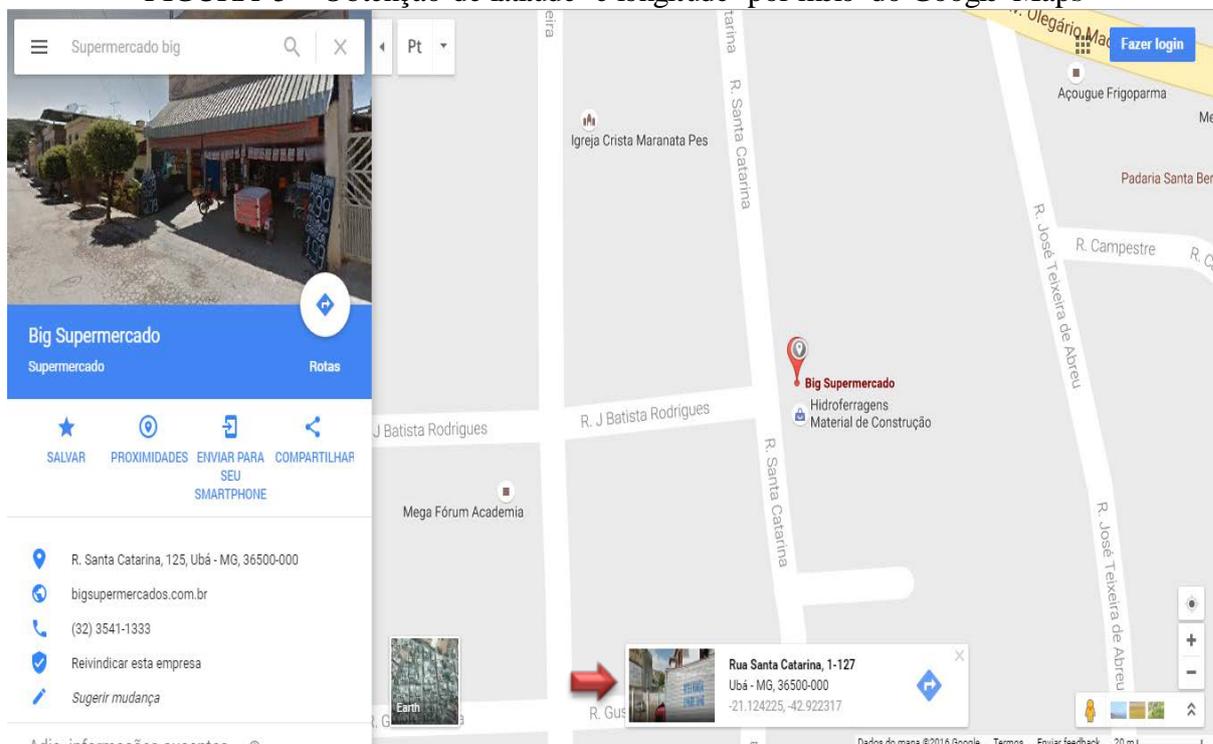
! Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de 30° Oeste e 80° Oeste. Em caso de dúvida entre em contato conosco.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
 Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária - Rio de Janeiro - RJ - Brasil, CEP 21941-911
 Tel: 55 (21) 2598-6174 / 2598-6187 - Fax: 55 (21) 2280-3537 - E-mail: crese@cepel.br
 (Atendimento de segunda à sexta, das 8:00 às 16:30)
 Arte e Desenvolvimento Web: Bruno Montezano, 2014

Fonte: (CRESESB, 2016)¹³

Para descobrir a latitude e longitude de um local, basta fazer uma pesquisa por endereço no *site* Google Maps¹⁴ e obter os dados desejados, como ilustra a FIG. 5.

FIGURA 5 – Obtenção de latitude e longitude por meio do Google Maps



Fonte: (GOOGLEMAPS, 2016)¹⁵

¹³ Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 11 set. 2016.

¹⁴ Disponível em: <<http://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 11 set. 2016.

¹⁵ *Ibidem*.

Inserindo os dados obtidos na FIG. 5 nos campos da FIG 4, obtêm-se os valores de insolação desejados. Se, porventura, não existir uma estação solarimétrica nas proximidades, o software automaticamente, sugere as estações mais próximas e apresenta os valores de insolação desses locais, cabendo ao analista escolher a cidade que possui as condições climáticas mais semelhantes à cidade analisada. Nesse caso, a cidade escolhida como referencial foi Cataguases, MG, como ilustra a FIG. 6.

FIGURA 6 – Valores de insolação anual para a cidade de Cataguases – MG

Estação: Cataguases

Município: Cataguases, MG - BRA

Latitude: 21,3° S

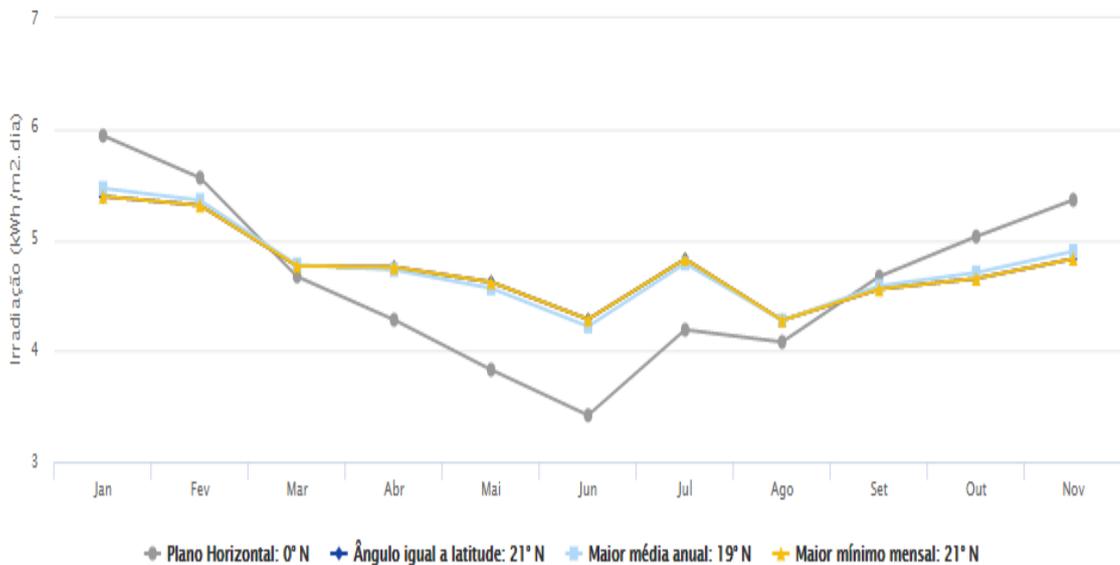
Longitude: 42,696666° O

Distância do ponto de ref. (21,124225° S; 42,922317° O):30,5 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
☑	Plano Horizontal	0° N	5,94	5,56	4,67	4,28	3,83	3,42	3,81	4,19	4,08	4,67	5,03	5,36	4,57	2,52	
☑	Ângulo igual a latitude	21° N	5,39	5,31	4,76	4,76	4,62	4,29	4,73	4,83	4,28	4,56	4,65	4,83	4,75	1,12	
☑	Maior média anual	19° N	5,46	5,36	4,78	4,73	4,56	4,22	4,66	4,79	4,27	4,59	4,70	4,90	4,75	1,24	
☑	Maior mínimo mensal	21° N	5,39	5,31	4,76	4,76	4,62	4,29	4,73	4,83	4,28	4,56	4,65	4,83	4,75	1,12	

Irradiação Solar no Plano Inclinado -Cataguases-Cataguases, MG-BRA

21,3° S; 42,696666° O



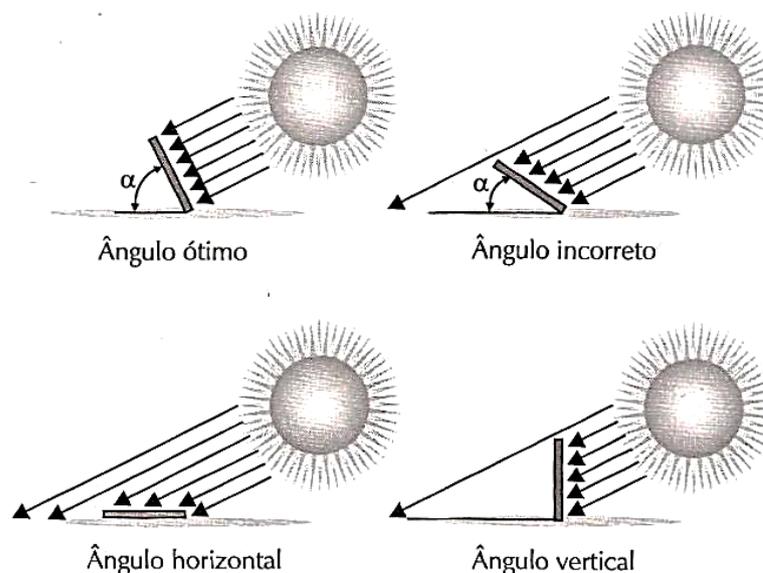
Fonte: (CRESESB, 2016)¹⁶

O próximo passo para o levantamento de dados sobre a energia solar utilizada para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos é a escolha do ângulo de inclinação desses módulos para a captação da energia solar. De acordo com Kalogirou (2016), a maior parte desses painéis possui um ângulo fixo e por esse motivo, deve ser escolhido o ângulo que

¹⁶ Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em 11 set. 2016.

proporcione a melhor absorção dos raios solares. A FIG. 7 apresenta o posicionamento dos módulos fotovoltaicos em um ângulo ótimo, cujo cálculo pode ser obtido por meio da TAB. 1. Além da inclinação ótima apresentada na FIG. 7 também pode ser visualizado o ângulo incorreto, ou seja, aquele que desperdiçará a energia solar, o ângulo horizontal, ideal para a primavera e verão e o ângulo vertical, ideal para o outono e inverno. Juntamente com o cliente, cabe ao projetista definir entre os ângulos ótimo, horizontal e vertical qual a melhor alternativa para a produção de energia elétrica fotovoltaica, considerando que a inclinação ótima atende satisfatoriamente todas as estações do ano, conforme ilustra a FIG. 8. Estudos empíricos também apontam como ótima a inclinação sendo igual à latitude, segundo Villalva (2015).

FIGURA 7 – Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico na captação de energia



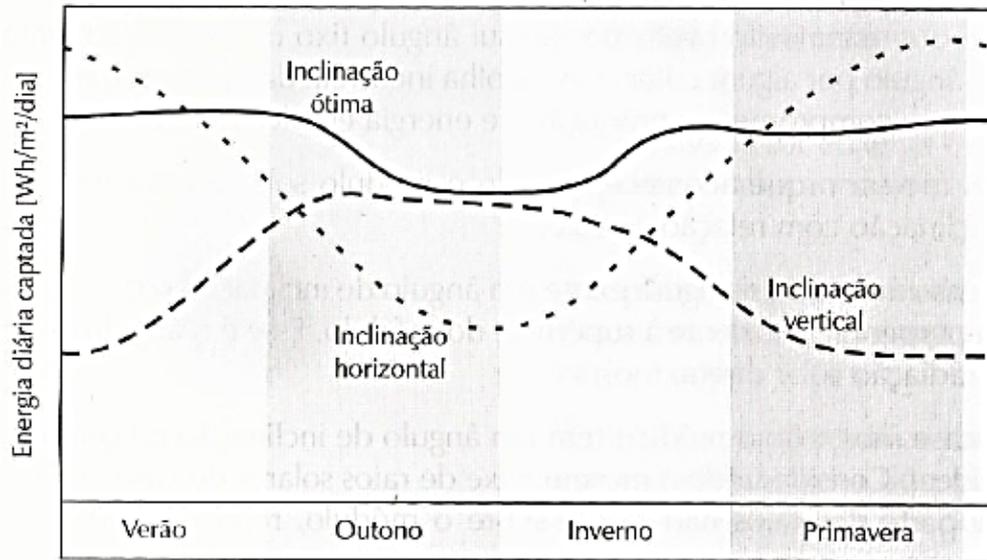
Fonte: (VILLALVA, 2015, p. 56)

TABELA 1 – Escolha do ângulo de inclinação do módulo

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: (Elaborado pelo autor *apud* VILLALVA, 2015, p. 57)

FIGURA 8 – Energia solar captada ao longo do ano com diferentes inclinações



(VILLALVA, 2015, p. 56)

2.2.3 Módulos, placas ou painéis fotovoltaicos

“Um módulo, placa ou painel fotovoltaico é constituído de um conjunto de células fotovoltaicas¹⁷ montadas sobre uma estrutura rígida e conectadas eletricamente” (VILLALVA, 2015, p. 72).

Normalmente, os módulos fotovoltaicos encontrados no mercado são compostos por silício cristalino, envoltos por uma moldura de alumínio e recebendo ainda uma película superficial resistente às intempéries, conforme ilustra a FIG 9. Produzem entre 50W e 300W de potência, com tensões máximas de até 40V e fornecendo até 8A de corrente elétrica. Entretanto, a corrente máxima que o módulo pode fornecer também varia de acordo com a irradiância. Pouca luz reduz severamente a capacidade de produção de energia elétrica pelo painel fotovoltaico.

Também existem outros tipos de módulos fotovoltaicos, como o de filme fino de silício, por exemplo, porém são mais difíceis de empregar e não geram atualmente uma boa relação custo-benefício para o usuário.

¹⁷ Uma célula solar ou célula fotovoltaica é um dispositivo elétrico de estado sólido capaz de converter a luz proveniente do sol (energia solar) diretamente em energia elétrica por intermédio do efeito fotovoltaico. Disponível em: <<http://goo.gl/LdAUck>>. Acesso em 11 set. 2016.

FIGURA 9 – Módulos fotovoltaicos de silício cristalino



Fonte: (NEOSOLAR, 2016)¹⁸

2.2.4 Sistemas fotovoltaicos autônomos

De acordo com Kalogirou (2016), os sistemas fotovoltaicos autônomos são aqueles utilizados em áreas onde não há atendimento de rede elétrica para fornecimento de energia. Também chamados isolados ou *off grid*, eles exigem pouca manutenção, são silenciosos e ecológicos e podem ser utilizados para fornecer energia em zonas rurais, ilhas e até mesmo para fornecer energia elétrica para veículos náuticos, como é o caso dos grandes cruzeiros, por exemplo.

Um sistema fotovoltaico autônomo é constituído de uma placa ou um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e conforme o caso, um inversor de tensão contínua para tensão alternada¹⁹.

¹⁸ Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/images/saiba-mais/Painel-Solar.jpg>>. Acesso em 11 set. 2016

¹⁹ A diferença [entre a corrente alternada e a corrente contínua] é o sentido da corrente. Uma corrente elétrica nada mais é que um fluxo de elétrons [...]. Se os elétrons se movimentam num único sentido, essa corrente é chamada de contínua. Se eles mudam de direção constantemente, estamos falando de uma corrente alternada. Na prática, a diferença entre elas está na capacidade de transmitir energia para locais distantes. A energia que usamos em casa é produzida por alguma usina e precisa percorrer centenas de quilômetros até chegar à tomada, logo, utiliza corrente alternada. Se todos os sistemas de transmissão fossem em corrente contínua, seria preciso uma usina em cada bairro para abastecer as casas com eletricidade. O único problema da alta voltagem transportada pela corrente alternada é que ela poderia provocar choques fatais dentro das residências. “Por isso, a alta voltagem é transformada no final em tensões baixas. As mais comuns são as de 127 ou 220 volts”, diz o físico Cláudio Furukawa, da USP. Portanto, a corrente que chega à tomada de sua casa continua sendo alternada, mas com uma voltagem bem mais baixa. Já a corrente contínua sai, por exemplo, de pilhas e baterias, pois a energia gerada por elas, usada nos próprios aparelhos que as carregam, não precisa ir longe. Também há muitos equipamentos eletrônicos que só funcionam com corrente contínua, possuindo transformadores internos, que

A presença de uma bateria faz-se necessária para o fornecimento contínuo de energia, uma vez que os sistemas fotovoltaicos são alimentados pela luz do sol e há momentos onde a insolação é baixa, principalmente nos dias de chuva. Dessa forma, a bateria armazena, para uso posterior, a energia gerada em dias de grande captação de energia solar. Sendo a tensão de saída do módulo fotovoltaico igualmente inconstante, a bateria também funciona como um estabilizador entre o módulo e o restante do sistema, permitindo uma tensão de saída constante.

Para controlar e regular a energia armazenada na bateria,

Os sistemas fotovoltaicos com baterias devem, obrigatoriamente, empregar um controlador ou regulador de carga. O controlador de carga é o dispositivo que faz a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada excessivamente. (VILLALVA, 2015, p. 108)

A FIG 10 representa os componentes básicos de um módulo fotovoltaico *off grid*. O sistema também pode contar com um inversor que transforma a tensão contínua em tensão alternada.

O inversor pode alimentar lâmpadas, aparelhos eletrodomésticos, computadores e qualquer tipo de equipamento que normalmente é alimentado pelas redes residenciais de tensão alternada. Aparelhos que usam tensão e corrente contínuas podem ser ligados diretamente ao controlador de carga, sem a necessidade do inversor (VILLALVA, 2015, p. 101)

FIGURA 10 – Componentes básicos de um sistema fotovoltaico do tipo *off grid*



Fonte: (FOMATHEUS, 2016)²⁰

Ainda podem ser citados sistemas fotovoltaicos *off grid* que dispensam a presença de baterias, utilizando diretamente a energia elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico. Sistemas de bombeamento de água são um ótimo exemplo desse tipo de aplicação, pois empregam corrente contínua e não há necessidade de armazenamento de energia, uma vez que a energia fornecida para acionar a bomba permite que a água seja bombeada para o reservatório para fins de armazenamento, sem a necessidade de armazenamento de energia nas baterias, de acordo com Zilles *et al.* (2012). Esse tipo de sistema necessita apenas de uma caixa de controle e possui baixo custo de investimento.

No Brasil, desde 2011, várias mini usinas fotovoltaicas têm sido implantadas em comunidade isoladas, pelo programa do governo federal intitulado “Luz para todos”.

2.2.5 Sistemas fotovoltaicos conectados à corrente elétrica

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica conectados à rede ou chamados simplesmente de sistemas *on grid* operam diferentemente dos sistemas fotovoltaicos autônomos. Ligados à rede elétrica, eles podem gerar energia elétrica para consumo local, reduzindo o consumo proveniente da rede pública ou mesmo gerando um excedente de energia elétrica.

²⁰ Disponível em: <<https://fomatheus.files.wordpress.com/2015/06/sistema-fotovoltaico-autonomo.jpg>>. Acesso 18 set. 2016.

Segundo Villalva (2015), “em alguns países os consumidores são incentivados a produzir excedente de energia e são remunerados pela eletricidade que exportam, [...] deixam de ser consumidores e tornam-se produtores de eletricidade. ”

O Brasil já começa a caminhar na mesma direção. Com a implantação do ProGD em 15 de dezembro de 2015, o país espera investir até 2030, R\$ 100 bilhões e contar com a adesão de 2,7 milhões de unidades consumidoras, gerando em torno de 48 milhões de Megawatt hora (MWh) na finalização da implantação do projeto, que corresponderia a 50% da energia produzida pela usina hidrelétrica de Itaipu em 1 ano e ainda reduzindo a emissão de CO₂ em 20 milhões de toneladas.²¹

Para isso, o Ministério de Minas e Energia também propõe a criação e expansão de linhas de crédito e financiamento de projetos de sistemas de Geração Distribuída e a modernização da Resolução 482 de 2012 da Agência nacional de energia elétrica (Aneel), considerada o marco inicial para a difusão do tema “energia fotovoltaica” no Brasil. Agora, o prazo para o consumidor utilizar os créditos com a sobra de energia fornecida para a distribuidora sobe de 3 para 5 anos e o consumidor poderá utilizar seus créditos para abater a fatura de outro imóvel que possua, mesmo em outro local. Em Ubá, a Energisa, concessionária de energia da cidade, já participa do programa e explica - quem quer ser beneficiado tem que procurar a empresa e apresentar o projeto. Depois de concluído, é necessário realizar a instalação de um medidor, que calcula o consumo e a geração de energia e apresenta os resultados. Gerando créditos, o consumidor pode utiliza-los nos meses seguintes.

2.2.6 Tarifação *net metering*

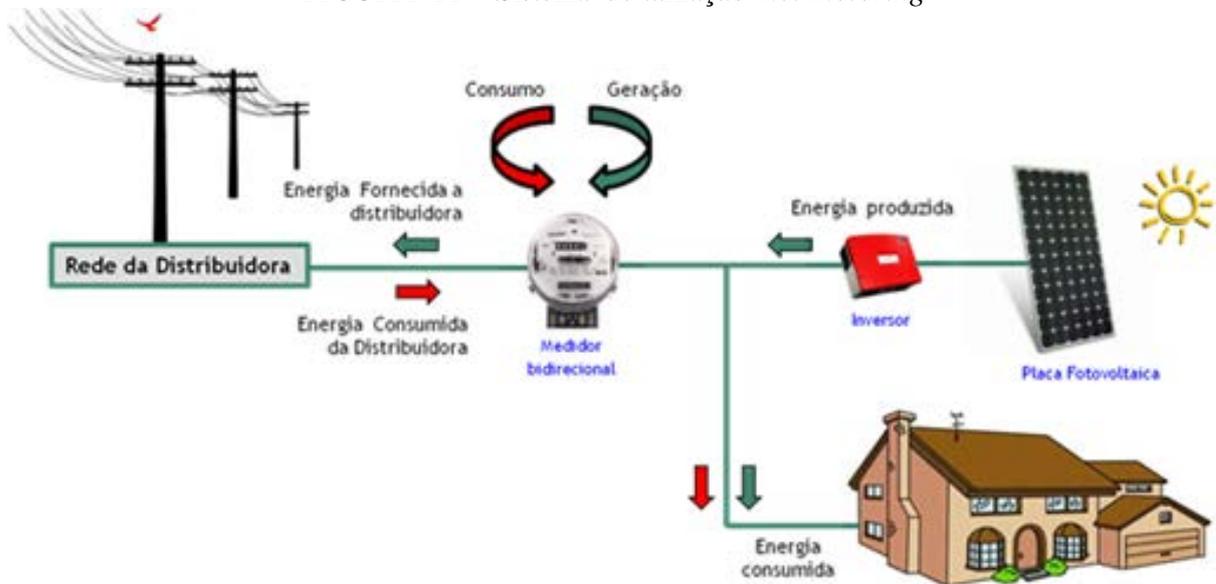
Conforme dito anteriormente, a energia gerada por um sistema fotovoltaico *on grid* pode ser creditada para a concessionária de energia elétrica, que realiza a compra do excedente bonificando o consumidor através de créditos em sua fatura. As regras de compra e venda para o microgerador de energia elétrica são as mesmas empregadas por usinas hidrelétrica e termelétricas, aplicando-se as mesmas tarifas e requisitos técnicos padronizados para essa finalidade.

²¹ Disponível em: <<https://goo.gl/3rzRel>>. Acesso em 18 set. 2016.

No entanto, como também citado na seção 2.2.5 a concessionária realiza a instalação de um medidor para aferir os resultados da produção de energia fotovoltaica e bonificar o microgerador.

A tarifação *net metering*, ou medida de energia líquida, exige um medidor eletrônico que se assemelha ao medidor tradicional, mas a grande diferença é que esse medidor gira para os dois lados. “Se estivermos consumindo energia, o medidor registra o consumo. Se estivermos exportando, o medidor gira no sentido contrário e vai diminuindo o valor do consumo que foi gerado”, explica Villalva (2015, p. 153). O microgerador então, no final do mês, só paga a diferença entre o que gerou e o que consumiu, ainda em conformidade com Villalva (2015). A FIG. 11 demonstra o sistema de tarifação *net metering*.

FIGURA 11 – Sistema de tarifação *net metering*



Fonte: (FOMATHEUS, 2016)²²

2.2.7 Inversores para a conexão à rede elétrica

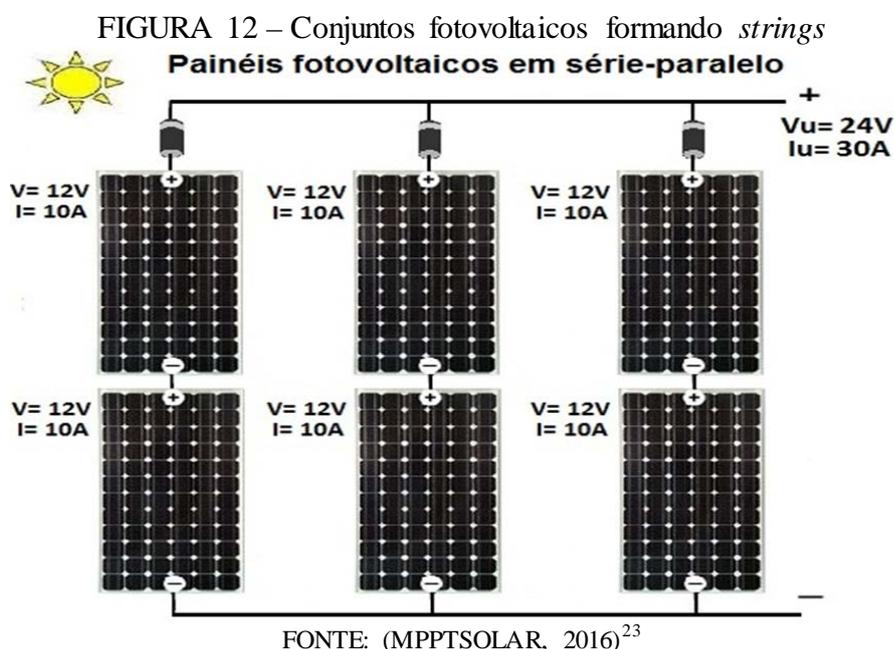
Como citado na seção 2.2.4, os inversores para a conexão de sistemas fotovoltaicos convertem a eletricidade da corrente contínua em corrente alternada. Nos sistemas fotovoltaicos *on grid*, os inversores funcionam de uma forma um pouco diferente, pois sua função agora é fornecer o excedente da corrente elétrica para a concessionária, e também fornecer tensão para os consumidores. Na ausência de eletricidade fornecida pela concessionária o inversor desliga-se, pois não foi projetado para operar sem a rede elétrica.

²² Disponível em: <<https://fomatheus.files.wordpress.com/2015/11/sem-tc3adtulo.png>>. Acesso em 18 set. 2016.

Segundo Villalva (2015), os inversores para conexão à rede elétrica são monofásicos, com potências que variam entre 2,4 kW e 9 kW.

2.2.8 Strings

Strings são conjuntos de módulos ligados em série, [como mostra a FIG. 12]. Geralmente, quando se constrói um sistema fotovoltaico, os módulos são primeiramente ligados em série, formando *strings*, para proporcionar a tensão de trabalho adequada. Para aumentar a potência do sistema acrescentam-se *strings* em paralelo, formando conjuntos fotovoltaicos com vários *strings* (VILLALVA, 2015, p. 160).



Para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para sistemas *on grid*, geralmente calcula-se, primeiramente, a quantidade de módulos que serão conectados em série em cada *string*, ou fileira, escolhendo entre a quantidade máxima e mínima possíveis de utilização de acordo com o inversor escolhido. Em seguida, de acordo com a potência desse mesmo inversor, escolhe-se a quantidade de *strings* que serão conectados em paralelo, formando o conjunto.

2.2.9 Normatização brasileira

²³ Disponível em: <<http://www.mpptsolar.com/pt/images/paineis-solares/paineis-solares-em-serie-paralelo.jpg>>. Acesso em 18 set. 2016.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) já aborda a temática, caracterizando normas específicas. A primeira norma produzida com a intenção de abordar a produção de energia solar fotovoltaica e sua conexão à rede elétrica foi a Norma Brasileira Recomendada (NBR) 62116 (ABNT, 2012). A norma, intitulada “Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica”, regulamenta a capacidade dos conversores em desconectar-se da rede quando o sistema fotovoltaico fica ilhado. Nessa situação, caso não haja uma interrupção, o sistema fotovoltaico poderia continuar alimentando sozinho os consumidores, energizando indevidamente a rede elétrica, sobrecarregando o sistema e potencializando perigos de curto-circuito e incêndio. Esse recurso garante a segurança das pessoas, equipamentos e instalações nas situações de interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Em seguida foram elaboradas as normas NBR 16149 (ABNT, 2014), regulamentando os sistemas fotovoltaicos e as características necessárias para conexão à rede elétrica; a NBR 16150 (ABNT, 2013), normatizando os procedimentos de ensaio para a aferição dos projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica e NBR 16274 (ABNT, 2014), regulamentando os requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho para os sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Em conformidade e complementação à normatização técnica, cabe também às concessionárias estabelecerem métodos de implantação com critérios de aceitação e cuidados técnicos aos projetistas e usuários, chamados acessantes pela concessionária de eletricidade. A própria Energisa, em sua Norma de Distribuição Unificada (NDU) 13, estabelece os critérios para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição da Energisa²⁴.

2.2.10 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico *on grid*

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico pode ser realizado por meio de cálculos manuais ou por meio de um software especializado. Atualmente, conta-se com o programa PVsyst²⁵ para a realização dos cálculos assistidos por computador, um software desenvolvido na Universidade de Genebra, Suíça, com aplicabilidade mundial. Entretanto, neste trabalho de conclusão de curso, o objetivo é apresentar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico a partir de cálculos manuais, demonstrando a facilidade da operação.

²⁴ Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/Documents/ndu/ndu013.pdf>>. Acesso em 18 set. 2016.

²⁵ Disponível em: <<http://www.pvsyst.com/em>>. Acesso em 28 set.2016.

Os cálculos começam a partir da quantidade de energia que se deseja obter e normalmente são parametrizados como a média mensal do consumo da residência, dado que pode ser facilmente coletado na conta de energia elétrica. Após, é necessário conhecer os detalhes técnicos do sistema fotovoltaico que se deseja utilizar e a quantidade de energia produzida por ele. Com base nesses critérios, determina-se o número de módulos pela Equação 1:

$$N_m = \frac{E_{SIS}}{E_m}$$

Onde,

N_m = Número de módulos utilizados pelo sistema fotovoltaico;

E_{SIS} = Energia produzida pelo sistema [kWh] em um determinado intervalo de tempo;

E_m = Energia produzida por um módulo [kWh] no mesmo intervalo de tempo.

Logo após a definição da quantidade de módulos fotovoltaicos que serão utilizados, é necessário realizar o dimensionamento dos inversores através da potência de pico dos módulos fotovoltaicos, considerando um fator de segurança empírico de 0,85. Conhecendo a ficha técnica do modelo do inversor que se quer empregar no sistema, é possível quantificá-los.

2.3 Exemplo prático para dimensionamento de um sistema fotovoltaico *on grid*

O exemplo a seguir tende a representar a realidade de uma residência unifamiliar de quatro habitantes, localizada na cidade de Ubá – MG e já referenciada na FIG.5 e sua média mensal de consumo de energia elétrica nos últimos 12 meses foi de 290 kWh. Para uma residência ligada em modo bifásico a concessionária de energia elétrica cobra um custo de disponibilidade de 50 kWh, sendo o ideal que o sistema dimensionado produza o restante, ou seja, $E_{SIS} = 240$ kWh/mês. No período de um ano, a estimativa de produção de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico é de 2880 kWh para os dados obtidos.

O custo mensal da energia consumida por essa residência, então, pode ser calculado multiplicando a média mensal consumida pelo preço unitário de kWh²⁶ cobrado pela concessionária, no caso, a Energisa. Logo,

$$Custo_{mensal} = 290kWh \times \frac{R\$0,79}{1 kWh} = R\$229,10$$

Com a produção de energia fotovoltaica pelo consumidor, sua economia seria cerca de R\$ 2275,20 por ano, sem considerar a inflação e os índices de reajustes, como pode ser observado abaixo:

$$Economia_{anual} = 240kWh \times \frac{R\$0,79}{1 kWh} \times 12 = R\$2275,20$$

Conhecendo a quantidade de energia que se deseja produzir pelo sistema fotovoltaico em um determinado intervalo de tempo (E_{SIS}), faz-se necessário conhecer a quantidade de energia produzida por um módulo fotovoltaico (E_m).

Para o exemplo proposto foi utilizado um módulo fotovoltaico da marca Canadian, certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), especificado na FIG. 13.

²⁶ Até a presente data, o custo unitário do kWh cobrado pela concessionária de energia elétrica Energisa para a cidade de Ubá era de R\$0,49672 + impostos. Disponível em:<<https://goo.gl/XoSRvA>>. Acesso em 28 set. de 2016.

FIGURA 13 – Módulo fotovoltaico Canadian



Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Condições padrões de Teste (STC*)

Máxima Potência (Pm):	250 Watts
Tolerância:	0 / 5 Watts
Voltagem de Máxima Potência (Vm) :	30,2 Volts
Corrente de Máxima Potência (Im):	8.43 Amps
Voltagem de Circuito Aberto (Voc):	37,4 Volts
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	9.0 Amps
Voltagem Máxima do Sistema:	1000 Volts
Eficiência do Painel:	15,85%
Coefficiente de Temperatura da Potência(Pm):	-0,43 %/°C
Coefficiente de Temperatura da Corrente(Isc):	0,065 %/°C
Coefficiente de Temperatura da Voltagem(Voc):	-0,34 %/°C
Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT):	45±2°C

* STC/CPT: Irradiação de 1.000 W/m², Espectro de Massa de Ar 1.5 e Temperatura de Célula de 25°C

Dimensões

Dimensões do painel:	(1638 x 982 x 40) mm
Código IP da caixa de junção:	IP 67, 3 diodos
Número de células e tipo:	60, Silício Policristalino
Peso do módulo:	18,0 kg
Vidro, tipo e espessura:	Alta Transmissividade, Baixo Ferro, Vidro Temperado 3,2mm
Fonte: (NEOSOLAR, 2016, modificado pelo autor) ²⁷	

²⁷ Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian-csi-cs6p-255p-255wp.html>>. Acesso em 28 set. 2016.

A energia produzida pelo módulo pode ser assim calculada pela Equação 2:

$$E_m = I_m \times T_D \times \eta_p \times A_p \times 30 \text{ dias}$$

Onde:

E_m = Energia produzida por um módulo [kWh] no intervalo de um mês;

I_m = Irradiação solar média [kWh/m² × dia]²⁸

T_D = Taxa de desempenho do sistema [%]²⁹

η_p = Eficiência do painel [%]³⁰

A_p = Área da placa [m²]³¹

Logo,

$$E_m = 4,75 \times 0,90 \times 0,1585 \times (1,638 \times 0,982) \times 30 = 32,70 \text{ kWh/mês}$$

Retornando à Equação 1, obtêm-se:

$$N_m = \frac{E_{SIS}}{E_m} = \frac{240 \text{ kWh/mês}}{32,70 \text{ kWh/mês}} = 7,34 \cong 8 \text{ placas}$$

Definido o número de placas que serão utilizadas, é necessário quantificar os inversores que serão utilizados no sistema. Para o exemplo proposto foi utilizado um inversor da marca PHB Solar, certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), especificado na FIG. 14.

A potência de pico dos módulos, ou potência máxima (P_m), pode ser observada na FIG. 13 e é igual a 250 W. Multiplicando o número de placas utilizadas no sistema pela potência de pico de cada placa tem-se a potência de pico total dos módulos. Logo:

$$P_{m\text{total}} = 250 \times 8 = 2000 \text{ W}$$

A potência máxima do inversor pode ser consultada na FIG. 14 e é igual a 5400 W. Adotando o fator de segurança de 0,85 para o inversor citado, chega-se a uma potência nominal de 4600 W. Logo, para o sistema fotovoltaico desse exemplo, apenas um inversor é o bastante para o conjunto dimensionado.

²⁸ Dados obtidos através da irradiação solar sobre a cidade de Cataguases, como ilustrado na FIG. 6.

²⁹ Adotar estimativa empírica de desempenho igual a 90%.

³⁰ Utilizar dados fornecidos pelo fabricante, conforme FIG. 13.

³¹ Utilizar dados fornecidos pelo fabricante, conforme FIG. 13.

FIGURA 14 – Inversor PHB Solar

Inversor Grid-Tied 4,6Kw PHB Solar - PHB4600-SS

SKU 1221



Parâmetros da Entrada

- Potência fotovoltaica máxima: 5400W
- Tensão máxima: 580Vcc
- Faixa de operação SPMP (MPPT): 125 a 550
- Tensão CC de partida: 125V
- Corrente CC máxima: 20A
- Número de Strings em paralelo: 02
- Consumo em Standby: 5W

Parâmetros da Saída:

- Potência CA Nominal: 4600
- Potência Máxima em CA: 5100W
- Corrente Máxima em CA: 25A
- Saída nominal CA: 220Vca - 60Hz
- THD: <5%
- Fator de potência: unitário
- Conexão CA: Monofásica

Eficiência:

- Eficiência máxima: 97,8%
- Eficiência SPMP (MPPT): >99,5%

Segurança do Equipamento:

- Monitoramento da corrente de fuga: Integrado
- Proteção Anti-Ilhamento: AFD (Active Frequency Drift)
- Monitoramento de rede: Integrado
- Concessão INMETRO: 000150/2015
- NBR (Normas Brasileiras): ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116

Dados Gerais:

- Dimensões (LxAxP): 390mm x 417mm x 142mm
- Peso líquido: 18Kg
- Ambiente de operação: Interno ou externo
- Montagem: Fixação na parede
- Temperatura de operação: -20°C a +60°C (acima de 45°C com derate)
- Umidade relativa: 0% a 95%
- Altitude: 2000m
- Grau de proteção: IP65
- Topologia: sem transformador
- Ventilação: Convecção natural
- Nível de ruído: <25
- Display: 4" LCD (português)
- Comunicação: USB2.0 e RS485 (Wi-fi) opcional
- Garantia: 05 anos contra defeitos de fabricação

Fonte: (MINHA CASA SOLAR, 2016, modificado pelo autor)³²

2.3.1 Projeção custo/benefício do sistema fotovoltaico dimensionado

Com base no dimensionado realizado na seção 2.3 pode-se, enfim, realizar o levantamento dos custos do sistema dimensionado. Os dados da TAB. 2 foram orçados na empresa SOLG Representações Ltda. na cidade de Ubá - MG, que em parceria com a empresa Solstício Energia, da cidade de Campinas - SP, realiza a instalação do sistema fotovoltaico na cidade de Ubá e região.

A análise do retorno financeiro pode ser conferida na TAB. 3, que esquematiza o custo do projeto e a economia anual com os gastos em energia elétrica, fornecendo ao microgerador uma estimativa do momento em que ele obtém o retorno do capital investido e começa a lucrar com seu investimento. A tabela também fornece o valor acumulado em 20 anos. Também é levada em consideração a taxa anual de inflação de 8%, valor estimado pelo Banco Central do Brasil (BACEN) como sendo a taxa média de inflação do ano de 2016.

³² Disponível em: <<https://goo.gl/wVgu65>>. Acesso em 28 set. 2016.

TABELA 2 – Custos do projeto

Custos do projeto			
Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Módulo Fotovoltaico	8	890,00	7120,00
Inversor	1	8580,00	8580,00
Estrutura de Montagem (por módulo)	8	300,00	2400,00
Instalação (mão de obra e materiais)	1	5000,00	5000,00
Valor do Investimento			23100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 3 – Retorno do investimento

Retorno do Investimento				
Valor do Investimento			R\$ 23.100,00	
Valor atual do kWh (Energisa, 2016)			R\$ 0,79	
Quantidade de energia produzida por ano			2880 kWh	
Taxa de Inflação (BACEN, 2016)			8%	
Ano	Custo de Energia (R\$)	Valor da Energia Gerada (por ano)	Ganho acumulado (por ano)	Status do Investidor
1	0,79	2.275,20	-20.824,80	Sem retorno
2	0,85	2.457,22	-18.367,58	Sem retorno
3	0,92	2.653,79	-15.713,79	Sem retorno
4	1,00	2.866,10	-12.847,69	Sem retorno
5	1,07	3.095,38	-9.752,31	Sem retorno
6	1,16	3.343,02	-6.409,29	Sem retorno
7	1,25	3.610,46	-2.798,84	Sem retorno
8	1,35	3.899,29	1.100,46	Com retorno
9	1,46	4.211,24	5.311,69	Com retorno
10	1,58	4.548,14	9.859,83	Com retorno
11	1,71	4.911,99	14.771,81	Com retorno
12	1,84	5.304,95	20.076,76	Com retorno
13	1,99	5.729,34	25.806,10	Com retorno
14	2,15	6.187,69	31.993,79	Com retorno
15	2,32	6.682,70	38.676,49	Com retorno
16	2,51	7.217,32	45.893,81	Com retorno
17	2,71	7.794,70	53.688,51	Com retorno
18	2,92	8.418,28	62.106,79	Com retorno
19	3,16	9.091,74	71.198,54	Com retorno
20	3,41	9.819,08	81.017,62	Com retorno

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do exemplo prático presente neste trabalho demonstram que o aproveitamento da energia solar na produção de energia elétrica pode proporcionar ganhos econômicos e ambientais substanciais para as residências onde o consumo de energia elétrica é superior ao custo de disponibilidade cobrado pelas concessionárias. Tais resultados representam apenas uma parte do potencial de aproveitamento da energia solar na cidade de Ubá - MG, podendo ser maximizado com a inclusão de novas residências e pontos de demanda de energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Além dos ganhos financeiros mencionados, também é possível prever a formação de uma cultura sustentável de caráter educacional e uma conscientização geral sobre os benefícios da geração de energia elétrica distribuída por meio do sistema fotovoltaico *on grid*, podendo, inclusive, tornar-se um setor de geração de empregos, diretos e indiretos, impulsionando vários setores da economia.

Com base nas pesquisas e cálculos apresentados conclui-se que o sistema fotovoltaico *on grid* é uma excelente alternativa ao consumo tradicional de energia elétrica obtida por meio das concessionárias de energia, possibilitando ao usuário, não só produzir energia elétrica para consumo próprio, mas também contribuir para o desenvolvimento sustentável de sua cidade utilizando a radiação solar como fonte de energia renovável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALA, V.. **Custo da energia elétrica aumenta 60% em 12 meses**. Brasília: Empresa Brasil de Comunicação – EBC, 2015. Disponível em: <<http://goo.gl/sLKcHo>> Acesso em set. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60304**. Instalação de sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2012

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>> Acesso em set. 2016.

GUADAGNIM, C.. **8 países onde a energia limpa avança a passos largos**. Curitiba: Gazeta do Povo, 2016. Disponível em: <<http://goo.gl/8wR4jy>> Acesso em set. 2016.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 708 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>> Acesso em set. 2016.

KALOGIROU, S. A.. **Engenharia de energia solar: processos e sistemas**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016. 864 p.

KIRSCHBAUM, E.. Germany sets new solar power record, institute says. **Reuters**, Berlin, 26 de maio de 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/4ZHrpq>> Acesso em set. 2016.

MINISTÉRIO DAS MINAS DE ENERGIA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> Acesso em set. 2016

NASCIMENTO, C.. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21f. Monografia (Pós-Graduação *lato-sensu* em fontes alternativas de energia) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf> Acesso em set. 2016.

RÜTHER, R.. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Labsolar, 2004. 114 p.

VILLALVA, M. G.. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

ZILLES, R. *et al.*. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 208 p.