

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA
PARA O PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE MÓDULOS SOLARES.

Ana Luíza Giacon de Miranda

Prof(a). Dr(a). Clauciana Schmidt Bueno De Moraes (orientador)

Rio Claro (SP)

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

ANA LUÍZA GIACON DE MIRANDA

TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS E DESENVOLVIMENTO
DE PROGRAMA PARA O PLANEJAMENTO DE SISTEMAS
DE MÓDULOS SOLARES.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Rio Claro - SP
2017

ANA LUÍZA GIACON DE MIRANDA

621.47 Miranda, Ana Luíza Giacon de
M672t Tecnologias fotovoltaicas e desenvolvimento de
 programa para o planejamento de sistemas de módulos solares
 / Ana Luíza Giacon de Miranda. - Rio Claro, 2017
 60 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Clauciana Schmidt Bueno De Moraes

1. Energia solar. 2. Planejamento de sistemas
fotovoltaicos. 3. Sustentabilidade. 4. Sistemas fotovoltaicos. I.
Título.

ESTUDO DAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS
DISPONÍVEIS NO BRASIL E DESENVOLVIMENTO DE
PROGRAMA PARA O PLANEJMANETO DE SISTEMAS DE
MÓDULOS SOLARES.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof(a). Dr(a). Clauciana Schmidt Bueno De Moraes (orientadora)
Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento/UNESP/Rio Claro

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia
Departamento de Petrologia e Metalogenia/UNESP/Rio Claro

Eng. Ambiental Caroline Antonelli Santesso
Mestre em Ciências pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo/USP/São Carlos

Rio Claro, 28 de junho de 2017.

Ana Luíza Giacon de Miranda

Prof(a). Dr(a). Clauciana S. B. De Moraes

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz e Eliana, que sempre me apoiaram e me ajudaram em todos os momentos e decisões. Obrigada por tudo que vocês já fizeram por mim e por sempre acreditarem no meu potencial. Tenho muita sorte de ter vocês como pais. Amo vocês.

À minha tia Cida, por ter ajudado a me criar, por todo o amor, cuidado e carinho sempre. Amo você, madrinha.

Às minhas amigas de faculdade, sala e república, Nathalia, Cássia, Giovanna, Larisse, Caroline, Letícia, Raíssa e Renata. Tenho muita sorte de ter amigas e irmãs tão queridas e especiais. Agradeço por todos esses anos juntas e por todos os outros que ainda estão por vir. Amo muito todas vocês.

Ao meu namorado, Eduardo, por todo apoio, incentivo, carinho e companheirismo. Amo você.

Ao Prof. Dr. Michael E. Walker responsável pela disciplina “*Special Topics of Environmental Engineering*”, cursada em um intercâmbio na *University of Colorado at Boulder*, pelo incentivo nas pesquisas sobre energias renováveis e por ensinar sobre desenvolvimento de modelos.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Clauciana Schmidt Bueno De Moraes pela ajuda e assistência nesse trabalho.

RESUMO

A crescente utilização de energia elétrica pela sociedade moderna provocou o aumento de sua produção a partir das mais variadas fontes. Mesmo países com grandes recursos hídricos, como o Brasil, acabam fazendo uso de outras fontes mais poluentes para suprir a demanda em períodos de estiagem. Paralelamente, são cada vez mais disponíveis fontes renováveis e menos poluentes de energia que podem compor a matriz energética dos países, como a energia elétrica produzida a partir de células fotovoltaicas. Para tanto, há que se baratear os custos para sua produção, bem como facilitar projetos para o seu dimensionamento. O presente trabalho propõe um modelo que a partir da insolação local e consumo da população considerada define o número de módulos solares necessários para suprir a demanda e seu custo final aproximado. Para possibilitar o desenvolvimento do modelo “Energia Solar”, realizou-se pesquisa bibliográfica sobre a aplicação dessa tecnologia no Brasil e sobre os módulos solares disponíveis no mercado. O banco de dados foi criado a partir dessas informações, apresentando valores de insolação mensal das capitais brasileiras e especificações das tecnologias solares comercializadas atualmente no país. O modelo “Energia Solar” fornece dados para realizar simulações da implantação de sistemas fotovoltaicos tanto em cidades como em residências. Através dessa estratégica prática é possível verificar a quantidade de módulos a serem instalados, área necessária, economia anual, redução de dióxido de carbono e tempo de retorno do investimento. Com isso, discutiu-se as vantagens da energia solar, observando diferentes cenários da aplicação de sistemas fotovoltaicos, como ilustrado no estudo de caso, e colaborando com o incremento da utilização da energia solar para a produção de eletricidade, fonte menos poluidora e, portanto, mais sustentável. Como exemplo, ao utilizar o modelo para simular a instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência na cidade de Rio Claro – SP – Brasil, assumindo que este produziria toda a energia consumida pelos 4 moradores, os resultados foram 25 módulos solares, uma área de 38,9 metros quadrados, o investimento de R\$ 29.538,50, economia anual de R\$ 5282,30 com o tempo de retorno de 5,6 anos e redução da emissão de 0,00263 toneladas de dióxido de carbono por dia.

Palavras-chave: Energia Solar, Sustentabilidade, Módulos Solares, Sistemas Fotovoltaicos.

ABSTRACT

The increasing use of electric power by modern society has caused the growth of its production from the most varied sources. Even countries with large water resources, such as Brazil, make use of other more polluting sources to supply the demand in periods of drought. At the same time, renewable and less polluting energy sources that can make up the country energy matrix, such as electricity produced from photovoltaic cells, are increasingly available. To do so, it is necessary to reduce the costs of its production, as well as to facilitate projects for its dimensioning. The present work proposes a model that based on the local insolation and consumption of the considered population defines the number of solar modules needed to supply the demand and its approximate final cost. In order to enable the development of the "Solar Energy" model, a bibliographic research was carried out on the application of this technology in Brazil and on the solar modules available in the market. The database was created considering this information, presenting values of monthly insolation in each Brazilian State Capital and specifications of the solar technologies that are sold in the country. The "Solar Energy" model provides data to perform simulations of the implantation of photovoltaic systems both in cities and in residences as well. Through this strategic practice it is possible to verify the number of modules to be installed, required area, annual savings, reduction of carbon dioxide and the returning time of the investment. The aims are to discuss the advantages of solar energy, to analyze different scenarios of the application of photovoltaic systems, as illustrated in the case study, and to collaborate with the expansion of the use of solar energy for the production of electricity, a source that is less polluting and more sustainable. As an example, when using the model to simulate the installation of a photovoltaic system in a residence in the city of Rio Claro - SP - Brazil, assuming that it would produce all the energy consumed by the 4 residents, the results were 25 solar modules, an area of 38.9 square meters, the investment of R\$ 29,538.50, annual savings of R\$ 5282.30 with the returning time of 5.6 years and the reduction of the emission of 0.00263 tons of carbon dioxide per day.

Key words: Solar Energy, Sustainability, Solar Panels, Photovoltaic Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perspectiva otimista para a geração de energia elétrica por fontes renováveis	13
Figura 2. Composição da oferta interna de energia por fonte nos próximos dez anos	14
Figura 3. Produção de energia fotovoltaica no mundo de 2000 a 2014	15
Figura 4. Média Anual do Fator de Emissões registrado entre 2006 e 2016 e previsão da EPE para 2030.	17
Figura 5. Radiação Solar Global Diária - Média Anual Típica (Wh/m ² .dia).	18
Figura 6. Média Anual de Insolação no Brasil (horas).	19
Figura 7. Incidência Solar no Estado de São Paulo – Média Anual por Município	20
Figura 8. Migração de elétrons entre átomos de silício	21
Figura 9. Corrente elétrica criada pelos elétrons livres	22
Figura 10. Composição de um módulo solar típico	22
Figura 11. Sistema Fotovoltaico Anônimo.	24
Figura 12. Sistema conectado à rede	24
Figura 13. Posicionamento do sol ao longo do dia no Brasil	26
Figura 14. Tipos de materiais utilizados e suas respectivas eficiências	27
Figura 15. Tipo de módulos solares de silício monocristalino	28
Figura 16. Células fotovoltaicas e módulo solar de silício policristalino.	28
Figura 17. Módulo solar de silício amorfo (a-Si)	29
Figura 18. Módulo solar de disseleneto de cobre e índio (CIS)	30
Figura 19. Módulo solar de telureto de cádmio (CdTe)	30
Figura 20. Interface do Visual Basic Editor (VBE) do Excel.	31
Figura 21. Caixa de Ferramentas.	32
Figura 22. Interface/“Userform” do Modelo “Energia Solar”	41
Figura 23. Interface ilustrando seleção da cidade de Rio Claro.	43
Figura 24. Interface ilustrando as informações do local carregadas a partir do banco de dados após pressionar o botão “Importar Informações do Local”.	44
Figura 25. Interface ilustrando a seleção do tipo de módulo.	44
Figura 26. Interface ilustrando as informações do módulo solar carregadas a partir do banco de dados após pressionar o botão “Importar Informações do Módulo Solar”.	45
Figura 27. Interface ilustrando a seleção da porcentagem de energia que será produzida pelo sistema fotovoltaico	45
Figura 28. Interface ilustrando os resultados do modelo gerados nessa simulação após pressionar o botão “Calcular Resultados”.	46
Figura 29. Resultados do modelo assumindo que 50% da energia é gerada pelos módulos solares	47
Figura 30. Resultados do modelo assumindo que 100% da energia é gerada pelos módulos solares	47
Figura 31. Interface ilustrando a população alterada para 4 pessoas	48
Figura 32. Aproximação da interface ilustrando a população alterada para 4 pessoas.	49
Figura 33. Interface ilustrando os resultados do modelo gerados nesse exemplo após pressionar o botão “Calcular Resultados”.	49
Figura 34. Resultados do modelo para uma residência com 4 pessoas assumindo que 30% da energia é gerada pelos módulos solares.	50
Figura 35. Resultados do modelo para uma residência com 4 pessoas assumindo que 50% da energia é gerada pelos módulos solares.	51
Figura 36. Resultados do modelo para uma residência com 4 pessoas assumindo que 100% da energia é gerada pelos módulos solares.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tecnologias Solares Disponíveis e Parâmetros.	38
--	----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	9
2.	OBJETIVOS	12
2.1.	Objetivos gerais	12
2.2.	Objetivos específicos	12
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1.	Matriz Energética e Potencial Fotovoltaico	13
3.2.	Panorama brasileiro e resoluções normativas	15
3.3.	Sistema de energia fotovoltaica	21
3.4.	Módulos solares	26
3.5.	“VBA - <i>visual basic for application</i> ”	31
4.	METODOLOGIA	33
5.	RESULTADOS E DICUSSÕES	35
5.1.	Pesquisa de mercado	35
5.2.	Desenvolvimento do modelo “Energia Solar” e do banco de dados	36
5.3.	Opções e equações do modelo “Energia Solar”	37
5.4.	Execução do modelo “Energia Solar”	41
5.5.	Estudo de caso	42
5.5.1.	Estudo de caso – cidade de Rio Claro	43
5.5.2.	Estudo de caso – residência com 4 pessoas na cidade de Rio Claro	48
6.	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES	59
	APÊNDICE A – Base de Dados – Informações Relativas ao Local	59
	APÊNDICE B - Base de Dados – Informações Relativas aos Módulos Solares.	60

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A sociedade moderna é extremamente dependente da energia. Desde a revolução industrial, a demanda por energia experimentou crescimento exponencial e atualmente é praticamente impossível realizar as mais simples atividades sem a utilização da energia, particularmente a energia elétrica.

O consumo e a produção de energia elétrica afetam o meio ambiente e aceleram a destruição dos recursos naturais. Para manter o desenvolvimento mundial e reduzir os impactos ao ambiente é necessária a busca de novas fontes de energias. As fontes de energia alternativas são opções não-tradicionais consideradas potencialmente sustentáveis, renováveis, pouco ou não poluentes e de baixo impacto ao meio ambiente. Além disso, esse conjunto de tecnologias proporciona a diversificação do setor energético, reduzindo a dependência de fontes de energia comuns e apresenta viabilidade econômica.

Dentre as fontes de energia alternativas, a radiação solar é um recurso energético que pode ser transformado em outras formas úteis de energia, como eletricidade e calor. Por ser considerada uma energia renovável, o uso da energia solar, ao invés de formas convencionais de geração de eletricidade, fornece benefícios como a redução da poluição ambiental.

A energia solar tem sido utilizada pelos seres humanos desde as primeiras civilizações. O efeito fotovoltaico foi observado por Edmond Becquerel em 1839 durante um experimento no qual placas de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito e expostas à luz, produziram uma pequena diferença de potencial (BECQUEREL, 1839 apud VALLÊRA; BRITO, 2006). No entanto, os destaques na história dessa forma de energia ocorreram depois de 1900.

Por volta de 1940, a possibilidade de utilizar a radiação solar para aquecer água e casas ganhou atenção e, em 1960, iniciou-se a produção industrial de aquecedores de água utilizando a energia solar (KALOGIROU, 2004). E, em 1953 Calvin Fuller, químico americano, desenvolveu o processo de “dopagem”, no qual impurezas são introduzidas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas. Dessa forma foi criada a primeira célula solar de silício. Após estudos e

aprimoramentos, foram apresentadas em 1954 as novas células solares, dopadas com arsênio seguido por uma difusão de boro (VALLÈRA; BRITO, 2006).

Em 1958, nova versão das células solares de silício foi desenvolvida, melhorando a eficiência do sistema e tornando possível a geração de energia no espaço, onde a única fonte de energia acessível é o sol (KALOGIROU, 2004). Pesquisas adicionais permitiram a descoberta de diferentes materiais fotovoltaicos e técnicas que melhoraram a eficiência desses sistemas. Por volta de 1970, o aumento de pesquisas e investimentos em energia solar ocorreu devido à crise do petróleo e a necessidade de fontes alternativas de energia (CRABTREE; LEWIS, 2007). Desde então, muitas tecnologias focadas no uso da radiação solar foram projetadas e construídas.

A energia solar pode ser convertida em calor para fornecer energia térmica ou pode ser usada para gerar eletricidade por meio de dois métodos: usando o calor e uma instalação de energia típica ou a instalação de um sistema de célula fotovoltaica, que converte a energia solar diretamente em eletricidade (STINE; GEYER, 2001).

Coletores solares interceptam a insolação solar e transformam-na em uma forma de energia que pode ser aproveitada (STINE; GEYER, 2001). Existem diversos tipos de coletores solares disponíveis hoje em dia. O coletor mais utilizado e simples é o aquecedor solar de placa plana. Existem vários modelos, mas geralmente é feito de um material escuro o qual absorve a energia solar e a converte em energia térmica por meio do aquecimento de uma placa. Conduitos removem o calor produzido na placa e o transferem a um sistema, de modo a fornecer água quente ou aquecimento para o local (STINE; GEYER, 2001).

O coletor fotovoltaico de placa plana é um coletor não concentrando composto por um circuito de células fotovoltaicas individuais e "encapsulados numa estrutura com a superfície frontal de vidro ou plástico" (STINE; GEYER, 2001), a fim de reduzir as perdas de energia (TIAN; ZHAO, 2013). O sistema deve estar orientado de modo adequado para permitir que a radiação solar atinja a célula fotovoltaica e gere uma tensão de corrente contínua que forneça energia elétrica (STINE; GEYER, 2001). A eficiência desta tecnologia é baixa e uma grande quantidade de energia é perdida na forma de calor (TIAN; ZHAO, 2013).

O coletor solar concentrado é utilizado quando são necessárias temperaturas mais elevadas de fluidos para gerar energia. A radiação solar atinge uma superfície

refletora, como coletores parabólicos com espelhos e é dirigida a um receptor, onde é convertida em calor e energia. Assim, é possível atingir temperaturas mais elevadas, reduzir a perda de energia devido à radiação e convecção e aumentar a eficiência do sistema (STINE; GEYER, 2001) (TIAN; ZHAO, 2013).

Outra maneira de aproveitar a energia solar é através de um projeto de energia solar passiva. A estrutura de um edifício "pode ser projetada para coletar, armazenar e distribuir a energia solar sob a forma de calor no inverno e rejeitar o mesmo no verão" (NREL, 2011). Este sistema não envolve qualquer dispositivo mecânico e foca no aproveitamento do clima e condições solares locais (NREL, 2011).

A par das características já mencionadas, a utilização da energia solar traz um outro componente fundamental para toda a sociedade: a sustentabilidade nos processos e produção da energia elétrica. Essa tecnologia recente de produção de energia fomenta o crescimento econômico e social, reduz os impactos ambientais negativos e traz vantagens para a indústria, como a melhor exploração dos recursos naturais e a redução de desperdícios. Assim, a energia solar é uma ótima fonte de energia alternativa e menos agressiva ao meio ambiente.

O sol é um recurso energético renovável e previsível. O aproveitamento da irradiação solar para a geração de eletricidade não causa nenhum tipo de poluição, beneficiando o meio ambiente. Os módulos fotovoltaicos, tecnologia envolvida na produção de energia elétrica utilizando a luz solar, apresentam baixa manutenção e vida útil longa, o que reduz o custo do investimento inicial a longo prazo.

Por ser um recurso energético presente em todo o mundo, a geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas pode ser instalada em regiões isoladas e afastadas, abrangendo locais onde a rede de distribuição não está disponível. A instalação de um projeto de utilização da energia solar também gera benefícios econômicos já que reduz o valor da conta de energia elétrica e agrega valor à propriedade. Assim, ressaltam-se nesse trabalho o grande potencial brasileiro para a utilização de módulos solares para a produção energética e pesquisas bibliográficas relacionadas à energia solar e às tecnologias fotovoltaicas disponíveis, visando à redução do valor do investimento inicial e à disseminação dessa alternativa. Finalmente, destaca-se a importância da ferramenta de fácil uso desenvolvida nesse estudo, a qual simula a instalação de sistemas fotovoltaicos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

- Desenvolvimento de uma ferramenta com o programa Excel e a ferramenta “VBA – *Visual Basics for Applications*” para analisar a possibilidade da substituição de diferentes porcentagens da demanda energética de um determinado local do país ou de uma residência pela geração de energia por módulos solares, baseado nos dados de insolação e população e em tecnologias solares disponíveis no mercado.

2.2. Objetivos específicos

- Pesquisa bibliográfica sobre o Energia Solar, sobre as tecnologias fotovoltaicas disponíveis atualmente no Brasil e discussão das vantagens da energia solar e sua relação com a sustentabilidade.

- Criação de um banco de dados do modelo contendo valores de insolação mensal de todas as capitais brasileiras e dados práticos sobre as diferentes tecnologias solares disponíveis no mercado, permitindo a comparação de diversas avaliações finais.

- Determinação do número dos módulos solares necessários de acordo com o modelo, para a geração de determinada quantia de energia, a área superficial dos módulos solares a ser instalada e o custo final, incluindo o valor dos mesmos, sua instalação e manutenção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica são discutidos cinco tópicos relevantes para o trabalho: matriz energética e potencial fotovoltaico, panorama brasileiro e resoluções normativas, sistema de energia fotovoltaica, módulos solares e por fim, a ferramenta “VBA – *visual basic for application*”.

3.1. Matriz Energética e Potencial Fotovoltaico

A matriz energética representa a energia que pode ser modificada e consumida nos processos produtivos, ou seja, é a oferta de energia de um país ou região. O estudo da disponibilidade e “distribuição de recursos é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético” (SIGNIFICADOS, 2017).

Na situação mundial atual, as fontes de energia mais representativas são os derivados do petróleo, porém na figura 1 (IEA, 2008) é apresentada uma perspectiva otimista para a geração de energia elétrica por fontes alternativas, ilustrando a mudança da matriz energética mundial até 2035 e o aumento da utilização de resíduos, energia geotérmica, energia solar, energia eólica e biomassa para a produção de eletricidade. Segundo os dados plotados no gráfico abaixo, o aumento da aplicação das fontes alternativas analisadas inicia-se em 2005, apresentando um crescimento na produção de energia de cerca de 300 TWh nos primeiros 10 anos, e atingindo aproximadamente 600 TWh em 2035.

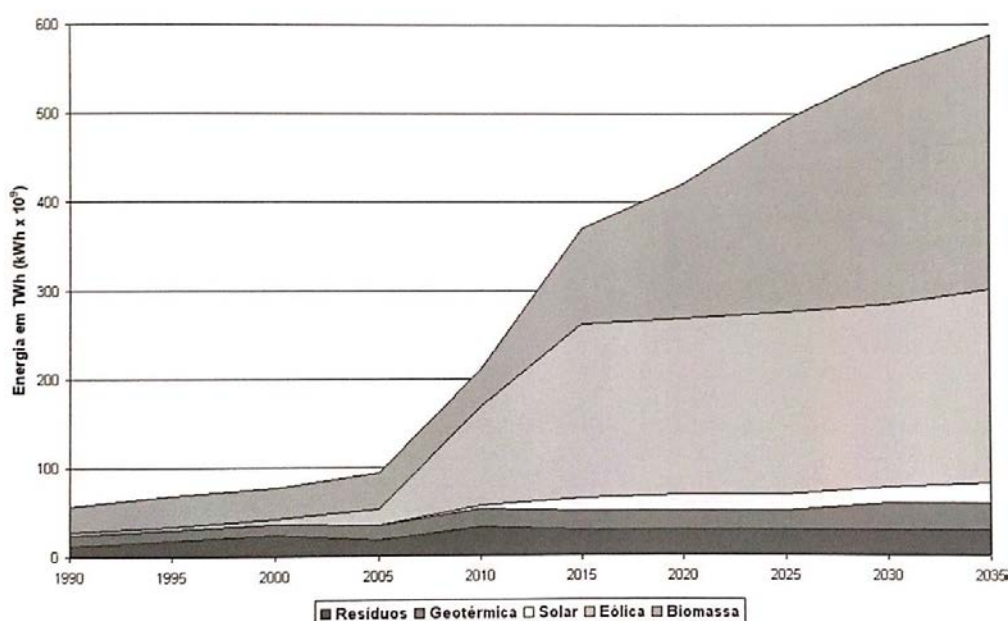


Figura 1. Perspectiva otimista para a geração de energia elétrica por fontes renováveis.
Fonte: IEA, 2008.

Em relação ao cenário nacional, no gráfico a “Composição da oferta interna de energia por fonte nos próximos dez anos” (Figura 2) apresentado no Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 (EPE; MME, 2014) é comparada a matriz energética brasileira de 2014 com a previsão para 2023. Os valores apontam a redução da participação do petróleo e seus derivados na geração de energia e o aumento do uso de energias renováveis no país, atingindo 42,5 % matriz energética brasileira.

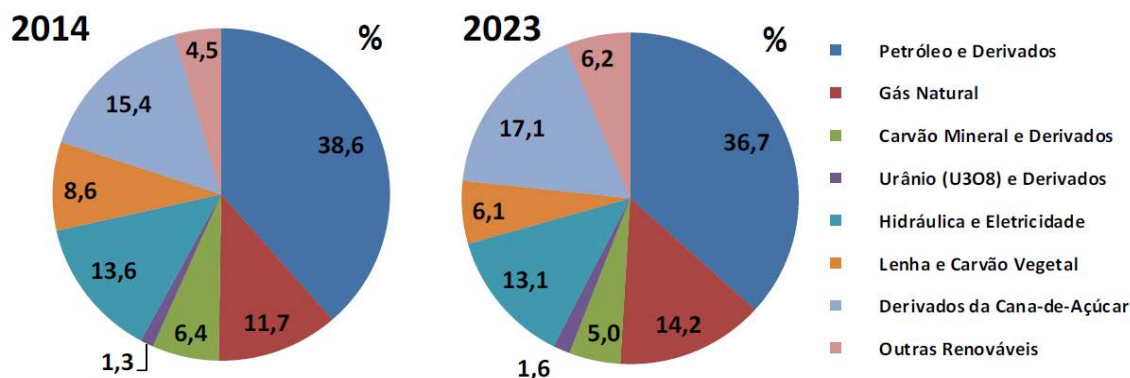


Figura 2. Composição da oferta interna de energia por fonte nos próximos dez anos.
Fonte: EPE; MME, 2014.

Em 2014, o potencial global instalado de energia solar atingiu 178 GW, como pode ser observado na Figura 3. A geração de energia utilizando módulos fotovoltaicos no Brasil ainda é pequena, contando com menos de 1 GW instalado (PORTAL SOLAR, 2016). A principal dificuldade para a expansão do uso da radiação solar para gerar energia elétrica é o custo da tecnologia necessária. A Resolução Normativa ANEEL 482/2012 visa ampliar a competitividade desta forma de energia alternativa por meio do “Sistema de Compensação de Energia” (ANEEL, 2016). Tal sistema possibilita que a energia produzida por pequenas unidades de geração conectadas à rede seja usada para reduzir o consumo de energia elétrica das mesmas, podendo o excedente ser acumulado em forma de créditos de energia por até 60 meses (ANEEL, 2014, 2016) (ASSIREU, 2014). Dessa forma, regulamentando a geração de eletricidade por consumidores que possuem sistemas fotovoltaicos e a troca de energia com a rede de distribuição.

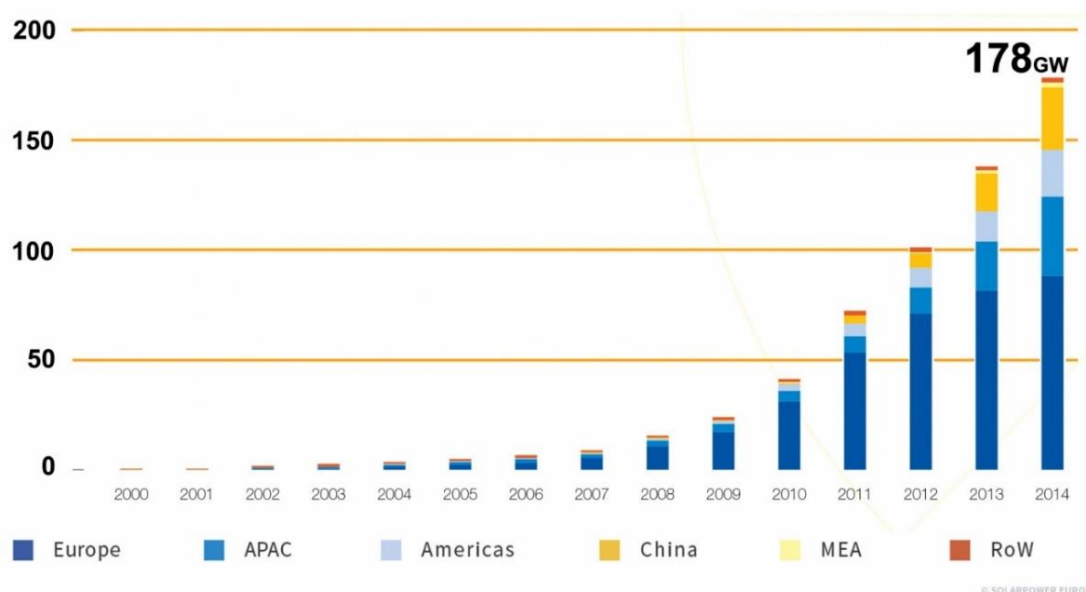


Figura 3. Produção de energia fotovoltaica no mundo de 2000 a 2014.
Fonte: Portal Solar, 2016.

Nos últimos anos surgiram no Brasil vários incentivos ao aproveitamento da radiação solar, entre eles: a criação da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, a ABSOLAR, em 2013, com o intuito de expandir o mercado e reduzir as dificuldades dessa alternativa de geração de energia; o programa social “Solcial”, que pretende expandir o acesso a essa fonte de energia; o financiamento da fabricação de tecnologias fotovoltaicas no Brasil pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES); a publicação do Atlas Solarimétrico Brasileiro, que informa a quantia de irradiação solar recebida em todo o país; e o mapeamento pelo website Portal Solar de empresas que trabalham com energia solar (PORTAL SOLAR, 2016).

Dessa forma, é importante verificar as características da insolação recebida pelo Brasil, a possibilidade da instalação de sistemas fotovoltaicos e as resoluções normativas que regulam esse processo.

3.2. Panorama brasileiro e resoluções normativas

O setor energético brasileiro apresenta alta dependência em relação a energia gerada pelas usinas hidrelétricas, a qual alimenta a maior parte da demanda do país. Apesar de ser uma fonte de energia renovável, mudanças ambientais e sociais, incluindo alterações no regime pluviométrico e a sazonalidade, a expansão de diversos setores da economia e o acréscimo no consumo residencial, afetam de forma negativa a produção e

a matriz energética do Brasil. Visando atender a essa alta demanda de energia, o uso das usinas termelétricas tem se tornado cada vez mais frequente, o que impacta diretamente tanto no custo da energia, quanto no fator de emissão (FE) de dióxido de carbono devido à utilização de combustíveis fósseis (CARSTENS, 2004).

O fator de emissão (FE) aponta a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) emitida decorrente da produção de uma determinada quantidade de energia, de acordo com a matriz energética de cada país (TIAGO FILHO; ROSA, 2013). É possível utilizar esse valor para calcular a redução da emissão de CO₂ quando utilizamos fontes de geração de energia alternativas e renováveis. Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia, de 2006 a 2011 o FE brasileiro variou entre 0,0292 a 0,0512, valores relativamente baixos em função da utilização maciça de hidrelétricas. A partir daí, teve aumento substancial em função da escassez hídrica que resultou na utilização crescente de usinas termelétricas, atingindo o valor máximo de 0,1355 em 2014. Em 2015, com a melhoria das precipitações pluviométricas, o FE foi reduzido para 0,1244 toneladas de CO₂ por cada megawatt-hora gerado e em 2016 esse valor diminuiu para 0,0817 tCO₂/MWh (MCT, 2016). A Empresa de Pesquisa Energética e o Ministério de Minas e Energia desenvolveram o Plano Nacional de Energia 2030, onde o valor prospectado para o FE em 2030 é de 0,156 toneladas de CO₂ por cada megawatt-hora gerado (EPE, 2008 apud SCHINAZI, 2015), o que nos leva a concluir que mesmo com abundantes recursos hídricos e em função do crescimento de consumo projetado, o Brasil tenderá a utilizar mais termelétricas. Os dados podem ser observados na figura 4 abaixo.

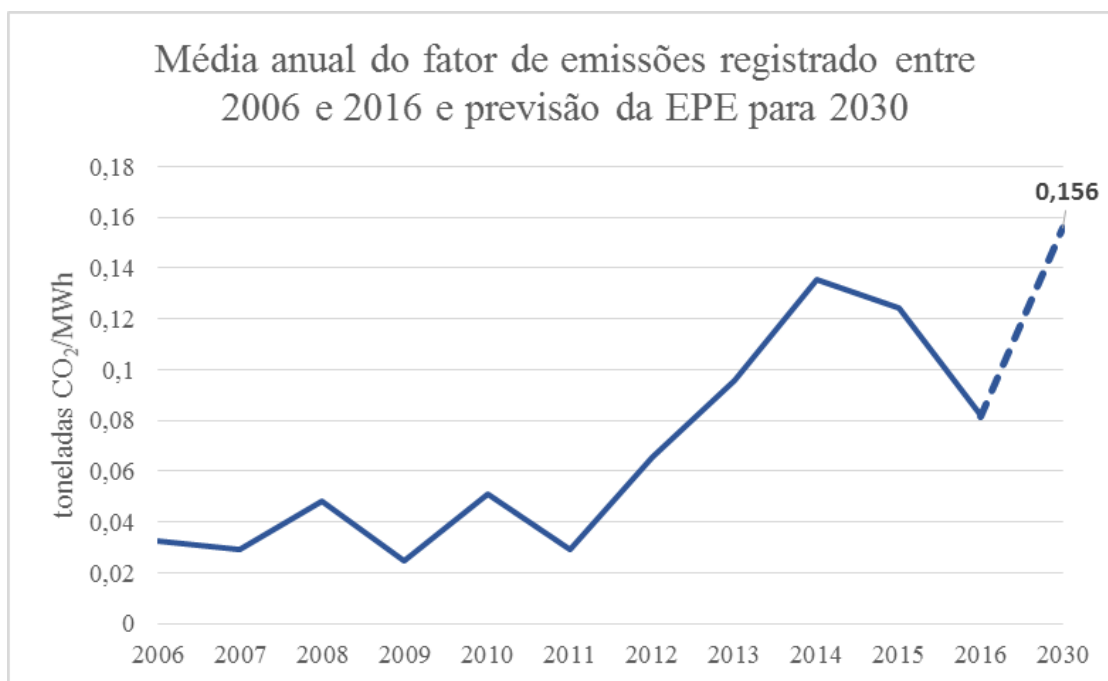


Figura 4. Média Anual do Fator de Emissões registrado entre 2006 e 2016 e previsão da EPE para 2030.

Fonte: Elaboração própria a partir dos fatores publicados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (2016) e do Plano Nacional de Energia 2030 da EPE (2008 apud Schinazi, 2015).

Para reduzir a dependência em relação as hidrelétricas e as chances de uma futura crise energética, o país precisa diversificar as fontes de produção de energia, investir na distribuição e conscientizar a população sobre o uso racional desse recurso. Fontes alternativas já estão sendo estudadas, porém ainda são pouco implantadas no Brasil. Dentre as diversas fontes de energia alternativas, o investimento na geração de energia utilizando sistemas fotovoltaicos é interessante para o país devido ao alto índice de insolação em todo o território nacional, o que possibilita o aproveitamento da energia solar.

O Atlas de Energia Elétrica do Brasil de 2005 disponibiliza um mapa solarimétrico com as médias dos valores de insolação das capitais dos estados brasileiros (Figura 5) em $Wh/m^2.dia$. No Brasil, os valores são relativamente altos e uniformes, o que possibilita a geração de energia utilizando módulos solares. O mesmo Atlas também disponibiliza um mapa das médias anuais de insolação no Brasil em horas (Figura 6). O mapa solarimétrico do estado de São Paulo (Figura 7) é parte do Atlas de Energia Solar Paulista de 2013 e apresenta a incidência anual média por município do estado de São Paulo em $kWh/m^2.dia$. Dados mais precisos e detalhados dos valores de radiação solar estão disponíveis no programa SunData desenvolvido pelo “CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito”. O programa calcula a

radiação solar mensal e a média anual em $kWh/m^2.dia$ para diferentes locais do Brasil.

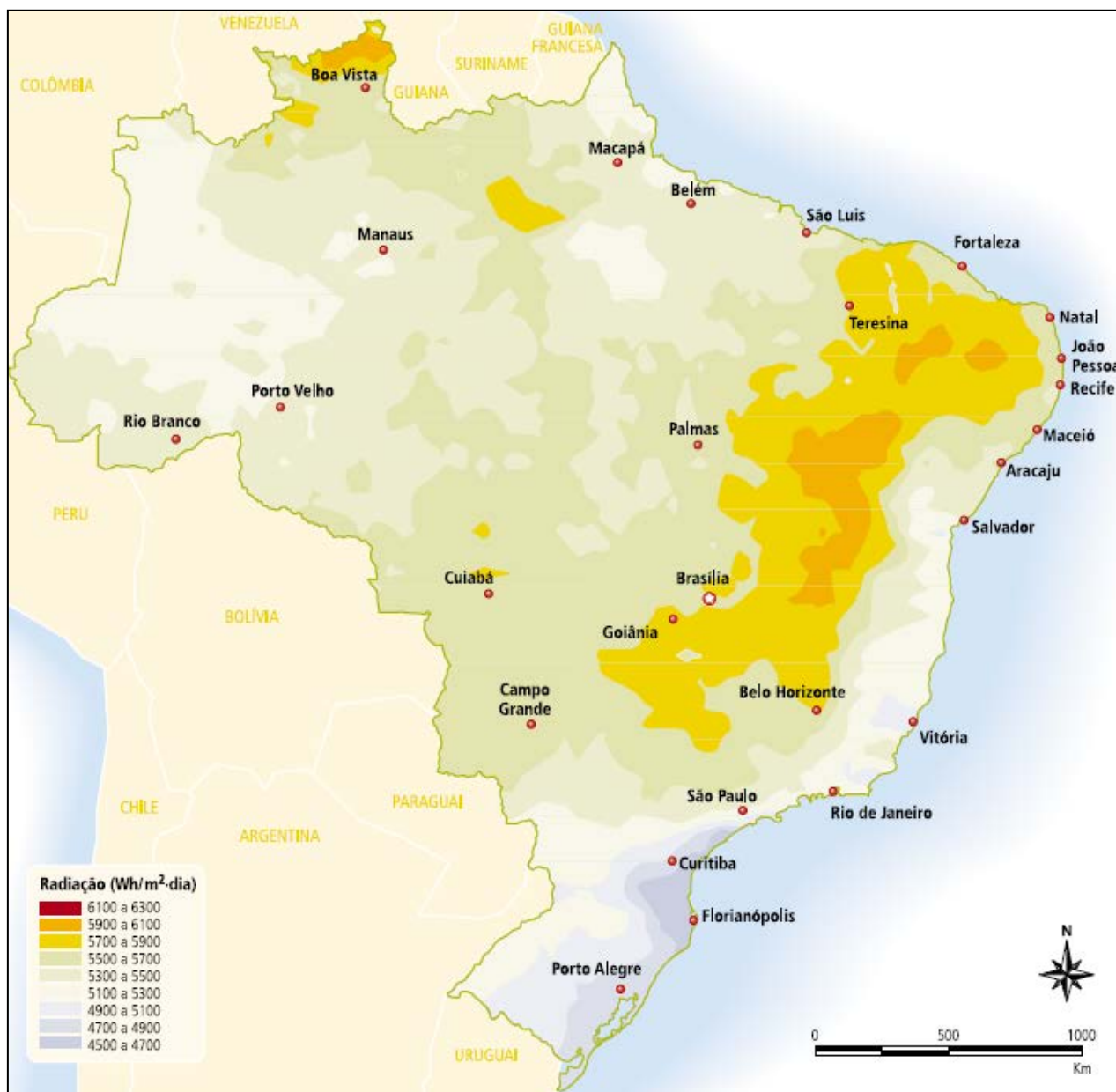


Figura 5. Radiação Solar Global Diária - Média Anual Típica (Wh/m².dia).
Fonte: Atlas de Irradiação Solar no Brasil. 1998 (adaptado) apud (ANEEL, 2005).

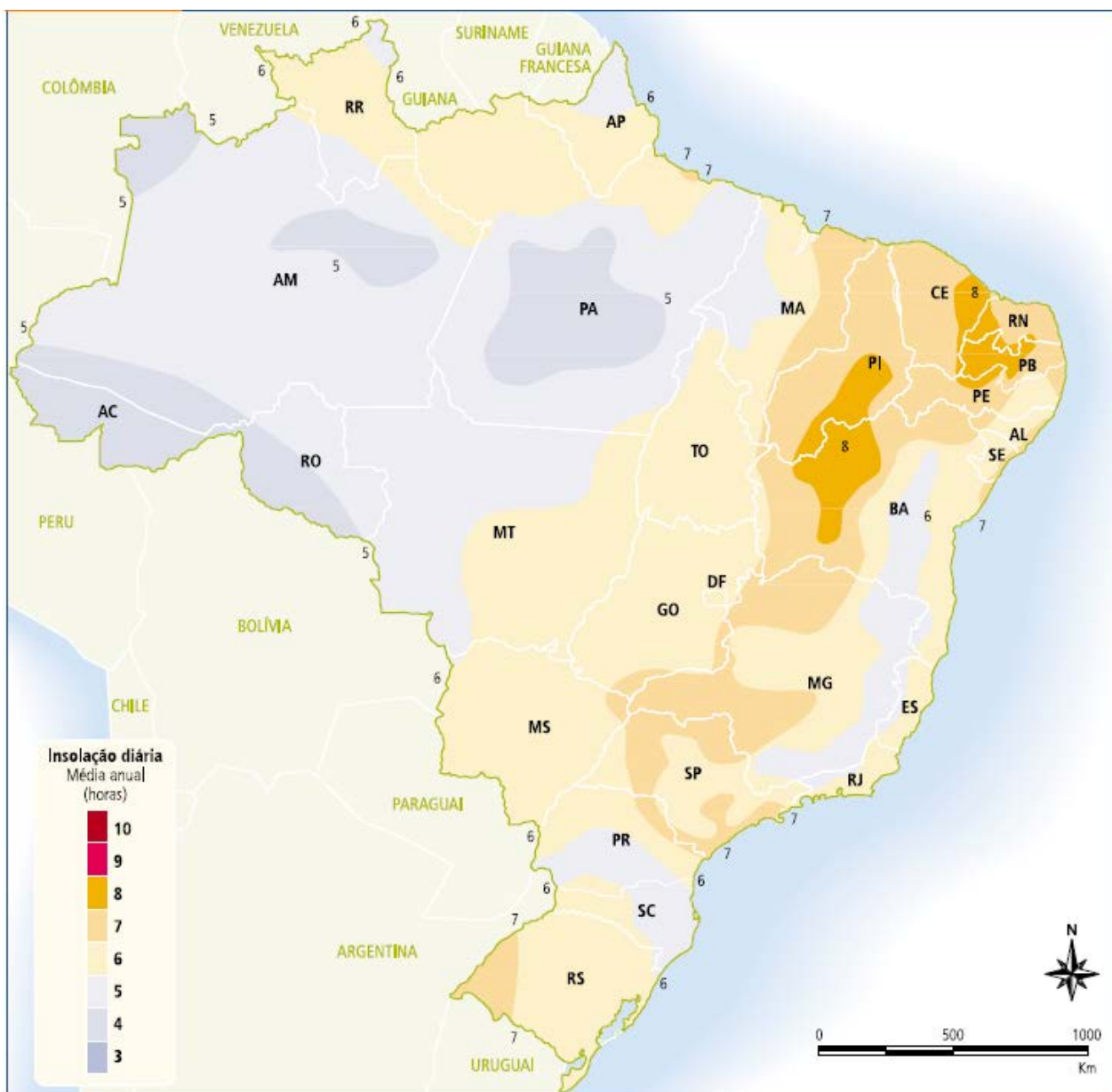


Figura 6. Média Anual de Insoiação no Brasil (horas).

Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000 (adaptado) apud (ANEEL, 2005).

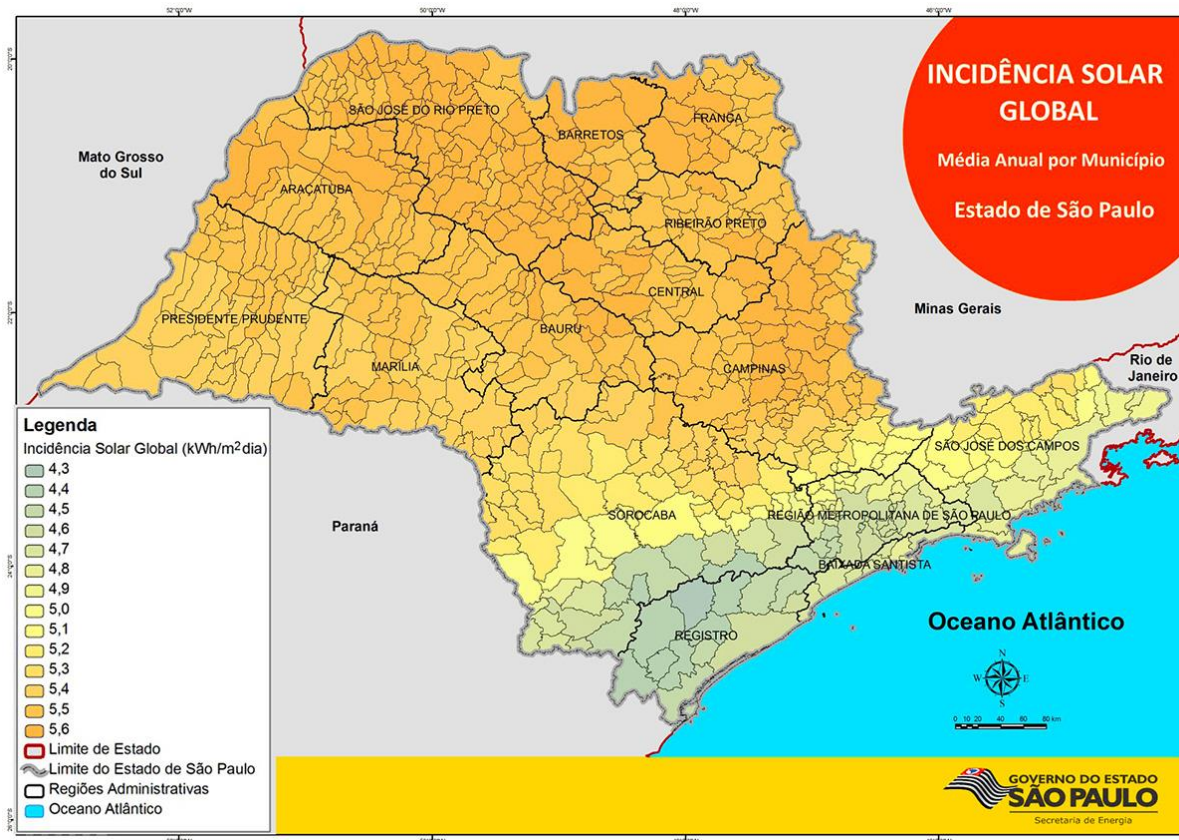


Figura 7. Incidência Solar no Estado de São Paulo – Média Anual por Município.
Fonte: Governo de São Paulo, 2013.

O Brasil apresenta duas resoluções que definem as diretrizes para a instalação de sistemas fotovoltaicos. A Resolução Normativa da ANEEL nº 482, de abril de 2012, regulamenta a mini e microgeração independente de energia no país permitindo a conversão do excedente de energia produzido pelos módulos fotovoltaicos em créditos de energia para serem consumidos posteriormente. A Resolução Normativa da ANEEL nº 687, de novembro de 2015, altera a resolução normativa citada anteriormente. Segundo esses documentos, a energia excedente gerada pode ser injetada na rede distribuidora de energia elétrica, gerando créditos equivalentes que podem ser consumidos em um período de até 60 meses (5 anos). Dessa forma, a energia gerada durante picos de insolação que ocorrem em determinados horários do dia geram créditos em kWh que serão subtraídos do consumo energético noturno ou em dias nublados (ANEEL, 2012, 2015).

Segundo a ANEEL (2012, 2015), a microgeração distribuída corresponde a centrais de geração de eletricidade com potência menor ou igual 75 kW, utilizando qualquer fonte renovável de geração, conectadas a rede de distribuição. A minigeração distribuída corresponde a centrais geração com potência maior que 75 kW e menor ou

igual a 3 MW para geração de eletricidade por meio de hidrelétricas, ou menor ou igual a 5 MW para outras formas de energia renováveis ou cogeração qualificada.

A legislação também possibilita o autoconsumo remoto, ou seja, descontos em mais de uma unidade consumidora. Para tanto, as unidades devem pertencer ao mesmo titular – “titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras” (ANEEL, 2015) – e estarem situadas na mesma área de cobertura da distribuidora de energia (ANEEL, 2015). Por fim, como incentivo para a geração distribuída o governo federal isentou o PIS e COFINS da energia injetada na rede (Lei nº 13.169, 2015).

Com o intuito de explicar a geração de energia utilizando um sistema fotovoltaico, o item a seguir apresenta informações sobre os tópicos efeito fotovoltaico, composição do módulo solar, sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid, além de apresentar as vantagens e desvantagens dessa tecnologia.

3.3. Sistema de energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico ocorre quando os fótons presentes na luz solar atingem os módulos solares e fazem com que os elétrons dos átomos do material semicondutor que compõem as células fotovoltaicas sejam liberados. Os elétrons livres migram para átomos de silício que apresentam ausência de elétrons preenchendo esse “espaço vazio”, como pode ser observado na Figura 8. Esse contínuo fluxo eletrônico cria uma corrente elétrica contínua (Figura 9) (PORTAL SOLAR), gerando eletricidade.



Figura 8. Migração de elétrons entre átomos de silício.
Fonte: Portal Solar, 2016.

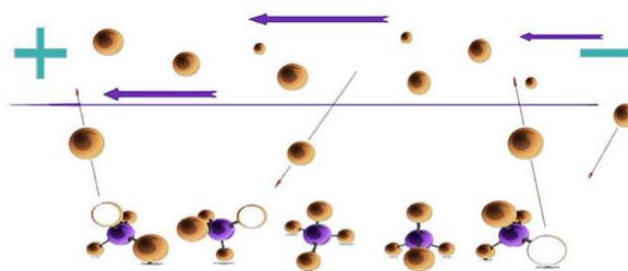


Figura 9. Corrente elétrica criada pelos elétrons livres.
Fonte: Portal Solar, 2016.

Células fotovoltaicas são responsáveis pela transformação da radiação solar em eletricidade e são a base do sistema fotovoltaico. Estas são associadas em grupos de 36, 60 ou 72 células (PORTAL SOLAR, 2016) para formarem um módulo fotovoltaico. Na Figura 10 é apresentada a composição completa de um módulo solar. Os módulos solares mais comuns no mercado são os de silício monocristalino e policristalino. A eficiência do módulo solar, isto é a porcentagem da energia solar que é transformada em energia elétrica por metro quadrado, varia dependendo do material da célula fotovoltaica e é medida em condições de laboratório.



Figura 10. Composição de um módulo solar típico. Componentes: Moldura de Alumínio – adiciona robustez ao painel e garante sua integridade; Vidro Especial – vidro temperado ultra puro com baixo teor de ferro revestido com uma substância antirreflexiva, desenvolvido para refletir menos e deixar o máximo de luz passar através dele; Células Fotovoltaicas – Transforma a luz do sol em energia elétrica através de uma reação físico-química, representa aproximadamente 60% do custo do modelo solar; Película Encapsulante – EVA – material selante que protege as células fotovoltaicas do envelhecimento causado por raios UV, temperaturas extremas e umidade; Backsheet – material plástico e branco que protege os componentes internos do módulo solar e agir como um isolante elétrico; e Caixa de Junção – local onde as células solares são conectadas eletricamente.
Fonte: Portal Solar, 2016.

A produção de energia elétrica depende da área disponível para instalação dos módulos solares e da quantidade de radiação que incide na região. A luz solar atinge o módulo fotovoltaico e produz energia elétrica em corrente contínua. Essa energia é transformada em corrente alternada pelo inversor e segue ao quadro de luz ou de distribuição da residência, dessa forma não são necessárias alterações nas instalações elétricas das residências.

Em sistemas fotovoltaicos autônomos, o banco de baterias armazena a energia para ser utilizada nos períodos de interrupção da iluminação natural (solar) e o controlador de carga determina a carga e descarga das baterias. Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede ou “on-grid”, se a produção de energia for menor que o consumo, a diferença será fornecida pela rede elétrica pública. Porém caso a geração de energia por meio dos módulos fotovoltaicos ultrapasse o consumo, o excedente é direcionado a rede e será contabilizado como um saldo positivo pelo medidor de luz bidirecional (PORTAL SOLAR). Mesmo com a geração de energia distribuída não é possível zerar a conta de energia de uma residência ou de uma empresa, pois é necessário pagar uma taxa mínima para a manter a conexão com a rede da distribuidora de energia local.

Na figura 11 é apresentado um sistema de geração de energia autônomo de uma unidade. Esse sistema fotovoltaico é composto por: módulo solar, controlador de carga, inversor de frequência e banco de baterias.

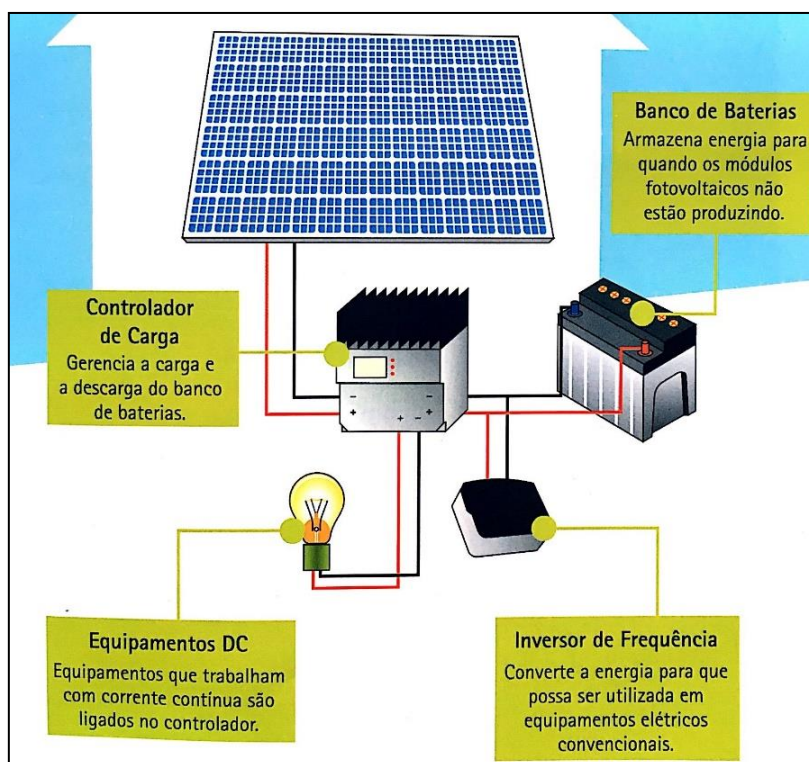


Figura 11. Sistema Fotovoltaico Anônimo.
Fonte: Limersol, 2016.

Na figura 12 é ilustrado um sistema de geração de energia “on-grid”.

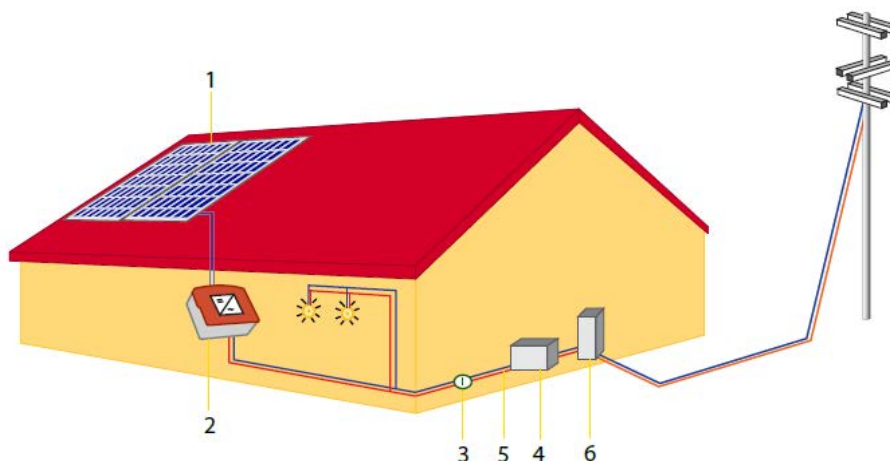


Figura 12. Sistema conectado à rede. 1 - módulos solares, 2 - inversor de corrente, 3 – interruptor de segurança, 4 – quadro de luz da unidade, 5 - eletricidade que alimenta as necessidades da unidade 6 – excedente de eletricidade que retorna a rede de distribuição através do medidor bidirecional, reduzindo a tarifa de energia elétrica (DI SOUZA, 2013).

Fonte: Di Souza, 2013

São inúmeras as vantagens ambientais relacionados com a utilização de energia solar. Esta fonte de energia inesgotável contribui para a redução da emissão de poluentes atmosféricos, tais como dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e de enxofre, o que melhora a saúde pública e o ecossistema; não gera qualquer resíduo

durante a operação, o que melhora a qualidade dos recursos naturais ao redor do sistema de energia solar; é uma forma de produção silenciosa; não consome combustível; auxilia na recuperação de terras degradadas; gera economia durante a longa vida útil do sistema fotovoltaico e apresenta a previsibilidade da geração de energia utilizando a radiação solar. Os módulos solares apresentam vida útil superior a 25 anos, são resistentes a condições climáticas extremas e requerem pouca manutenção (TSOUTSOSA; FRANTZESKAKIB; GEKAS, 2005).

No aspecto socioeconômico, os benefícios da energia solar incluem a valorização do imóvel que sistema fotovoltaico próprio, independência na geração de energia elétrica, o que gera estabilidade e segurança com relação às oscilações do mercado de energia, possibilidade de utilização em áreas afastadas, reduzindo a necessidade de desenvolver novas linhas de transmissão, além da diversificação e expansão da matriz energética do país (TSOUTSOSA; FRANTZESKAKIB; GEKAS, 2005).

Embora a radiação solar seja uma fonte renovável de energia, sua geração, construção e distribuição pode apresentar alguns impactos ao ambiente. Os impactos negativos relacionados a este tipo de geração de energia incluem o possível impacto visual ou estético sobre prédios e terras, o aumento no uso da terra devido à necessidade de grandes áreas para a instalação de usinas de energia solar, e o uso de materiais tóxicos para construir os módulos fotovoltaicos. A energia solar também enfrenta barreiras econômicas devido ao alto investimento inicial, o preço mais elevado quando comparado com formas convencionais de energia e as dificuldades para armazenar a eletricidade e o calor produzido.

Os impactos listados podem ser minimizados por ações específicas para cada projeto. Segundo os autores Tsoutsosa, Frantzeskakib e Gekas (2005), as medidas comuns para reduzir os impactos negativos da energia solar são a determinação do local adequado para a instalação dos módulos fotovoltaico, a correta gestão do sistema, seleção da melhor tecnologia para cada caso estudado, planejamento de projeto completo, o restabelecimento do ambiente regional e um estudo sobre os impactos que este sistema poderia gerar. O impacto visual pode ser resolvido pela escolha adequada da localização dos módulos solares, evitando que a geração de energia influencie de forma negativa o ecossistema e a população local, e pela melhor integração dos sistemas solares às edificações e residenciais. Durante a produção dos módulos solares, as

normas de segurança devem ser seguidas, o que impedirá o impacto ambiental gerado pela liberação de materiais tóxicos perigosos para o meio ambiente.

Por fim, a possibilidade de geração de energia solar utilizando um sistema “on-grid” solucionou a dificuldade de armazenamento da energia gerada pelos módulos solares e a desvantagem da interrupção diária do fornecimento devido à falta de luminosidade durante as noites.

No próximo item são apresentados os fatores que influenciam a geração de energia pelos sistemas fotovoltaicos e as características dos módulos solares disponíveis no mercado.

3.4. Módulos solares

Alguns fatores influenciam a geração de energia pelo sistema fotovoltaico. Entre esses fatores podemos citar a potência dos módulos solares, os níveis de insolação do local, a posição do módulo solar e o coeficiente de temperatura (PORTAL SOLAR, 2017).

Em relação a posição para a instalação dos módulos solares, o ideal no Brasil é que estes estejam voltados para o Norte, já que “o sol nasce no leste, sobe se inclinando ao Norte e se põe no Oeste” (PORTAL SOLAR, 2017) (Figura 13), e este posicionamento evita o sombreamento e garante maior produção de energia. O local deve ser seguro, próximo ao consumo e sem sombreamento, para evitar perdas de eficiência (PORTAL SOLAR, 2017).

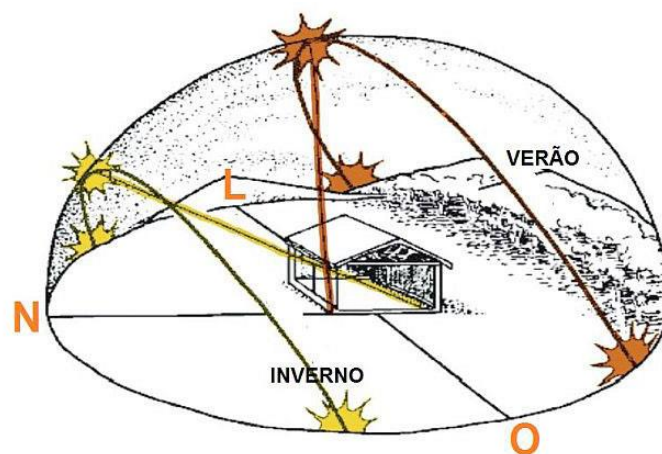


Figura 13. Posicionamento do sol ao longo do dia no Brasil.
Fonte: Portal Solar, 2017.

O coeficiente de temperatura é um fator importante porque materiais semicondutores como o Silício perdem a sua eficiência com o calor, portanto as condições definidas no teste em laboratório não refletem as condições que os módulos serão submetidos. O ideal é utilizar módulos solares com coeficiente de temperatura baixo, abaixo de 0,5%. Para módulos solares cristalinos, os coeficientes de temperatura ideais vão de 0.35 até 0.47% por °C acima 25°C (PORTAL SOLAR, 2017).

Na figura 14 são apresentadas as eficiências aproximadas dos diferentes tipos de materiais utilizados na produção dos módulos solares que serão descritos a seguir.

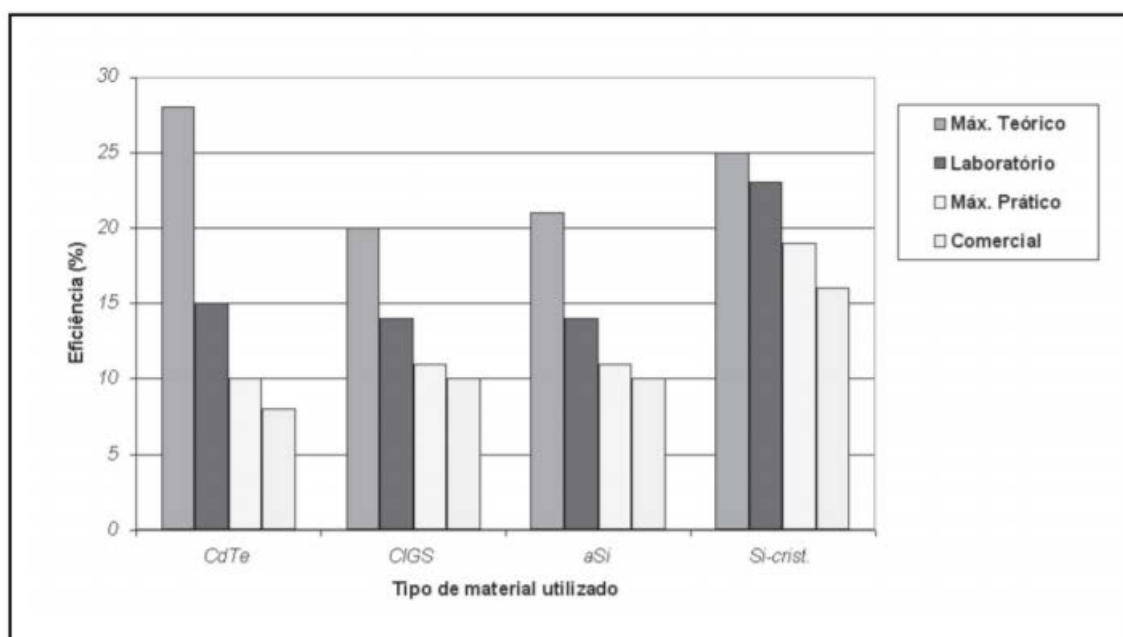


Figura 14. Tipos de materiais utilizados e suas respectivas eficiências. Siglas: CdTe - Módulo Solar de Telureto de Cádmio, CIGS - Módulo Solar de Disseleneto de Cobre e Índio, aSi - Módulo Solar de Silício Amorfo e Si-crist - Módulo Solar de Silício Cristalino.

Fonte: Dernick et al., 1993 apud CEPTEL, 1999.

- Módulo Solar de Silício Monocristalino

Segundo Di Souza (2013), o silício monocristalino é obtido através do método Czochralski, no qual um cristal de silício é adicionado a caldeira com silício policristalino e este orienta outros átomos a cristalizarem em uma única formação cristalina. A eficiência do módulo solar de silício monocristalino varia de 15 a 18% e os tamanhos mais comuns de células fotovoltaicas fabricadas são de 10 x 10 cm², 12,5 x 12,5 cm²; ou diâmetros de 10, 12,5 ou 15 cm (DI SOUZA, 2013). O tamanho de módulo solar mais comum disponível no mercado é o de 1,61 m², porém é possível encontrar dimensões de acordo com a potência desejada. Na figura 15 se pode verificar três tipos de módulos solares de silício monocristalino.

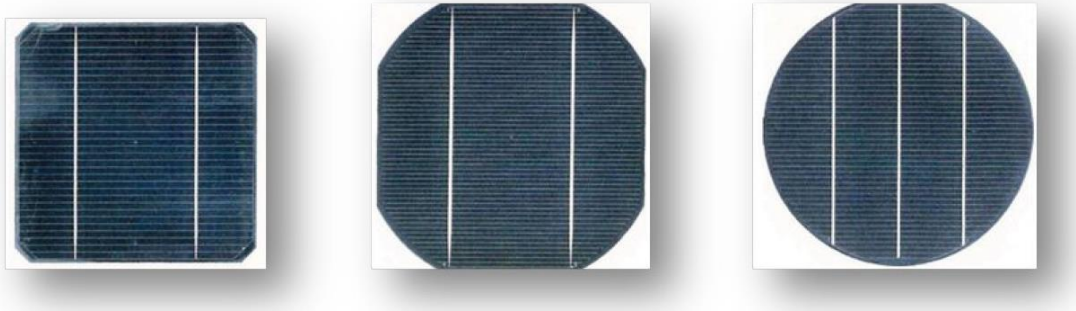


Figura 15. Tipo de módulos solares de silício monocristalino.
Fonte: Di Souza, 2013.

As vantagens do módulo solar monocristalino são a sua vida útil, geralmente maior que 30 anos, o seu melhor funcionamento em condições de pouca luz quando comparado a outros tipos de módulos, a sua alta eficiência e, com isso, menor área necessária para a instalação. Devido a essas vantagens, essa é a tecnologia solar que apresenta o custo mais elevado (PORTAL SOLAR, 2016).

- Módulo Solar de Silício Policristalino

Segundo Di Souza (2013) o silício policristalino é produzido pela “fundição de lingotes, onde o silício bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de 1.500°C e depois resfriado até uma temperatura de 800°C” gerando cristais com orientações diversas. A eficiência do módulo solar de silício policristalino com antirreflexo varia de 13 a 15% e os tamanhos mais comuns de células fotovoltaicas fabricadas são de 10 x 10 cm², 12,5 x 12,5 cm² ou 15 x 15 cm² (DI SOUZA, 2013). Para os módulos solares policristalinos o tamanho mais comum também é o de 1,61 m². Na figura 16 são apresentadas células fotovoltaicas e um módulo solar de silício policristalino.



Figura 16. Células fotovoltaicas e módulo solar de silício policristalino.
Fonte: Di Souza, 2013.

As vantagens do módulo solar policristalino são a sua vida útil, geralmente maior que 30 anos e a menor quantidade de silício residual gerado na produção. Devido a

menor pureza do cristal de silício, a eficiência de produção de energia é menor do que a eficiência do módulo monocristalino (PORTAL SOLAR, 2016).

– Células Fotovoltaicas de Películas Finas

A pesquisa de células fotovoltaicas de película fina se iniciou na década de 90. No processo de produção, um “material semiconductor é aplicado em um substrato, geralmente vidro, através de deposição por vaporização, deposição catódica ou banho eletrolítico” (DI SOUZA, 2013, p. 34). A camada de material criada apresenta menor espessura, ou seja, utiliza um menos matéria prima, e alta absorção luminosa, sendo suficiente para converter a luz solar em eletricidade (LOPEZ, 2012).

As vantagens dos módulos solares de películas finas são a simplicidade na produção em larga escala, o menor preço em comparação com as células solares cristalinas, a aparência homogênea e o fato de que mudanças de temperaturas ou sombreamento tem menor impacto no seu desempenho. Devido a menor eficiência, os módulos de película fina precisam de uma maior área de instalação. Eles também são mais susceptíveis a degradação, reduzindo o tempo de garantia (PORTAL SOLAR, 2016)

– Módulo Solar de Silício Amorfo (a-Si)

Segundo Di Souza (2013), o silício amorfo é um material que apresenta estruturas cristalinas diversas. Um ponto negativo em relação a este tipo de módulo solar é a degradação provocada pela luz, o que reduz a eficiência no primeiro ano após a instalação até atingir um valor estável. A eficiência do módulo solar de a-Si varia de 5% a 9 % e os tamanhos dos módulos standards é de 1,88 m²; e dos módulos especiais é de 6 m². Na figura 17 pode ser visto um módulo solar a-Si.



Figura 17. Módulo solar de silício amorfo (a-Si).
Fonte: Di Souza, 2013.

– Módulo Solar de Disseleneto de Cobre e Índio (CIS)

As células fotovoltaicas de CIS não sofrem degradação devido a exposição a luz, porém os módulos precisam de boa selagem pois esse material não apresenta estabilidade em ambientes quentes e úmidos. A eficiência do módulo solar de CIS varia de 7,5% a 9,5% e o tamanho mais comum é de 0,72 m² (DI SOUZA, 2013). Na figura 18 podem ser vistos módulos solares CIS.

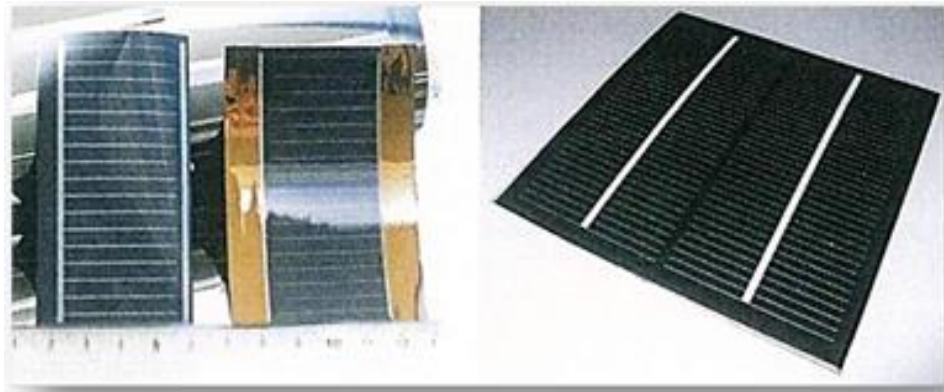


Figura 18. Módulo solar de disseleneto de cobre e índio (CIS).
Fonte: Di Souza, 2013.

– Módulo Solar de Telureto de Cádmio (CdTe)

Outro material que pode ser usado para produzir módulos solares de películas finas é o telureto de cádmio, material atóxico e estável em estado sólido. Mas, pode apresentar risco para o ambiente e a saúde se não corretamente controlado, já que é tóxico quando em forma gasosa. Segundo Di Souza (2013), a eficiência do módulo solar de CdTe varia de 6% a 9 % e o tamanho mais comum é de 0,72 m². Na figura 19 é apresentado um módulo solar CdTe.



Figura 19. Módulo solar de telureto de cádmio (CdTe).
Fonte: Di Souza, 2013.

3.5. “VBA - visual basic for application”.

Nesse item final é apresentada de forma sucinta a ferramenta utilizada para desenvolver o modelo. Segundo Bertolo (2007), o VBA é uma linguagem de programação que permite usuários automatizarem tarefas ou desenvolverem programas dentro do Excel. A programação VBA é feita em um ambiente conhecido como Visual Basic Editor (VBE) do Excel (Figura 20).

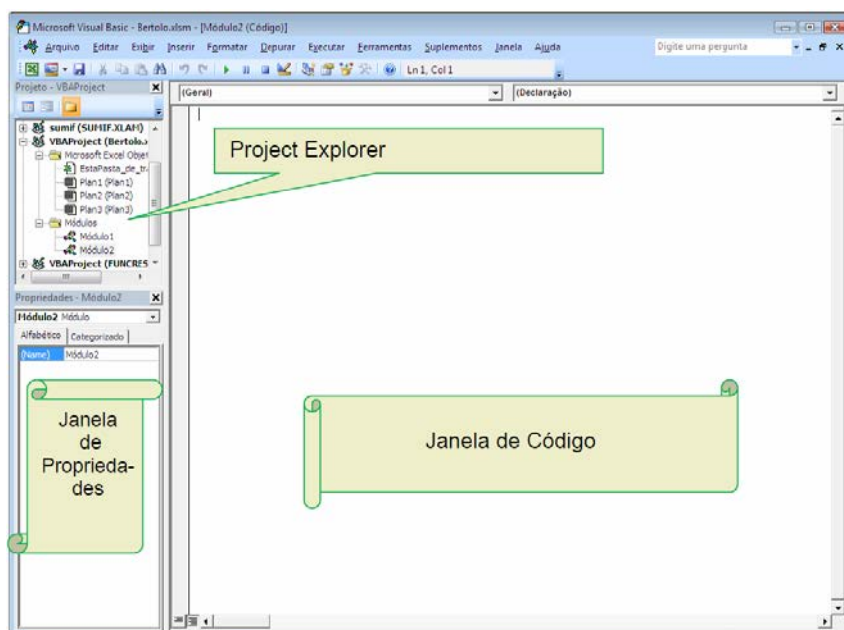


Figura 20. Interface do Visual Basic Editor (VBE) do Excel.
Fonte: Bertolo, 2007.

A janela *project explorer* mostra as diferentes pastas e arquivos, a janela propriedades contém os atributos do objeto ativo e a janela de código é o local onde o código da programação é escrito.

Segundo Bertolo (2007), o “*Userform*” é uma interface desenvolvida pelo programador para facilitar a interação entre o sistema, o usuário e os resultados, possibilitando a entrada de parâmetros e dados, sem a necessidade de preencher as informações nas planilhas. O arquivo do “*Userform*” aparece na janela *project explorer* no tópico formulários. Na janela Propriedades é possível alterar suas características. Ao selecionar o formulário, a caixa de ferramentas aparece no VBE (Figura 21). Esta janela apresenta controles como “botões de comando, caixas de verificação, rótulos, caixas de texto, caixas de listagens, botões de opção e outros utensílios” (BERTOLO, 2007) necessários para criar a interface do formulário, ou seja, o design do modelo (SENAC, 2010).



Figura 21. Caixa de Ferramentas.
Fonte: Bertolo, 2007.

Os controles adicionados ao “*Userform*” precisam ser programados. Para isso, as ações a serem executadas por cada controle inserido devem escritas na forma de código utilizando a linguagem “*Basic*” na janela de código (SENAC, 2010).

4. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho constituiu em 4 etapas explicadas nos itens abaixo.

- Etapa 1 - Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica proporciona maior conhecimento sobre a energia solar e sobre as tecnologias necessárias para a geração de eletricidade. Essa primeira etapa envolve levantamento bibliográfico, incluindo livros e artigos científicos, análise de exemplos e contato com empresas e profissionais especializados na área (GIL, 2007).

Nessa primeira etapa, foram consultadas bibliografias abrangendo os temas: energia solar e a possibilidade de implantação dessa solução energética no Brasil, panorama energético brasileiro, processo de geração de energia fotovoltaica e características das tecnologias solares e módulos solares disponíveis atualmente.

- Etapa 2 - Pesquisa de Mercado para Obtenção de Dados

A pesquisa de mercado tem como objetivo a obtenção de dados e informações práticas sobre as tecnologias solares atualmente disponíveis. Essas informações incluem os tipos de módulos fotovoltaicos, tamanhos, eficiência e valores de comércio, e foram obtidas por meio de contatos com empresas do estado de São Paulo que trabalham no setor de energia solar.

Para obter esses dados foram contatadas empresas do setor de energia solar listadas no website Portal Solar, para as quais foi enviado questionário com perguntas relacionadas aos módulos solares disponíveis no mercado, a área e a eficiência dos mesmos e o custo final do sistema. O intuito dessa etapa foi a obtenção de dados dos módulos solares que estão sendo comercializados atualmente.

- Etapa 3 - Aprendizado sobre o a linguagem do VBA e utilização dessa ferramenta e Desenvolvimento do Modelo “Energia Solar”

O “*Visual Basic*” é utilizado para a criação de programas no “Microsoft Windows”. Essa ferramenta usa o método Visual para desenvolver a interface gráfica do usuário ou GUI, que é a forma como o programa é visto por ele, e a linguagem de programação “*BASIC – Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code*”, utilizada para desenvolver o programa em si (“MICROSOFT, 2016”).

Para programar o Modelo “Energia Solar” no Excel foi necessário aprender sobre essa ferramenta e sobre alguns códigos para automatizar o sistema, assim como desenvolver a interface principal. Nessa etapa, foram buscadas informações em manuais, publicações e foi lembrado o conteúdo de algumas aulas da disciplina “*Special Topics of Environmental Engineering*” cursada durante intercâmbio na *University of Colorado at Boulder*.

Além disso, também foram pesquisados sobre os cálculos de geração de energia por meio de radiação solar, eficiência dos módulos solares e fatores de perda energética para determinar quais parâmetros e fórmulas seriam utilizados no modelo.

Para o desenvolvimento da metodologia foram utilizadas como input as informações referentes a população do local escolhido para análise, a carga per capita, a média anual da insolação por dia, o valor aproximado da tarifa de energia no local, além das três características dos módulos solares, eficiência, área e custo da tecnologia. As equações foram programadas para calcular a geração de energia diária por cada módulo solar, o consumo energético da população estudada, o número de módulos solares e a área requerida, o custo final desse investimento, a economia anual e a quantia de CO₂ que deixou de ser emitido devido a utilização desse sistema fotovoltaico. Como resultado dessa etapa, foram apresentados os cálculos do modelo “Energia Solar” e a sua interface.

– Etapa 4 - Discussões e Conclusões.

Apresentar os resultados obtidos durante a revisão bibliográfica e pesquisa de mercado, o desenvolvimento do programa e as conclusões do projeto de pesquisa.

Nessa etapa, foram ilustradas as fases de desenvolvimento do modelo e as equações usadas, os resultados que podem ser obtidos e foi proposto um estudo de caso que apresenta duas situações nas quais foi possível analisar os resultados apresentados pelo sistema e auxiliar nas conclusões do trabalho.

5. RESULTADOS E DICUSSÕES

5.1. Pesquisa de mercado

Os resultados da pesquisa de mercado confirmaram as informações relacionadas ao tamanho e a eficiência dos diferentes módulos solares apresentadas pelo autor Di Souza no livro digital “Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares”. Em relação a área de terreno necessária para a disposição do sistema fotovoltaico, esta pode ser considerada igual a área total superficial dos módulos solares a serem instalados já que não estamos considerando nenhuma inclinação extra no projeto além da latitude apresentada pelo local de instalação.

Os sistemas fotovoltaicos são compostos pela estrutura, pelos módulos solares e pelo inversor, responsável por transformar a energia gerada em forma de corrente contínua para corrente alternada a ser utilizada no local. Portanto, o custo total do sistema varia dependendo da tecnologia solar escolhida e deve englobar todos os elementos listados. Segundo informações disponibilizadas pela empresa “Limersol”, com sede em Limeira, pela empresa “Neosolar” com sede em São Paulo e pela empresa “LLM Energia Solar Fotovoltaica” com sede em Rio Claro, o valor dos módulos solares corresponde, em média, de 60 a 70% do valor total de um projeto residencial e 50% de um projeto industrial ou de grande escala. Essa informação foi utilizada no modelo para simular um valor final aproximado.

Quanto à manutenção, o custo é praticamente nulo já que na maioria dos casos a chuva é suficiente para a limpeza dos módulos, ou em caso de seca, apenas uma limpeza simples com detergente neutro é suficiente para a conservação do equipamento.

As tecnologias das células solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis para venda no Brasil, portanto no modelo não será possível calcular o custo do investimento utilizando esses três tipos módulos solares.

5.2. Desenvolvimento do modelo “Energia Solar” e do banco de dados

Os cálculos apresentados no modelo são baseados nas informações da localização escolhida para ser analisada. Os parâmetros considerados são a população, a carga per capita ($kWh/hab/dia$), o fator econômico – valor da tarifa de fornecimento de energia do local, insolação por dia ($kWh/m^2/dia$) para cada mês e a sua média anual. O modelo desenvolvido no Excel® contém um banco de dados (APÊNDICE A) com informações completas de todas as capitais brasileiras e mais quatro cidades do interior paulista: Rio Claro, Campinas, Limeira e Piracicaba. Embora o modelo apresente informações pré-definidas, é possível calcular os resultados para qualquer local inserindo os parâmetros necessários manualmente.

O número de habitantes, a carga per capita e a insolação por dia para qualquer local podem ser encontrados por meio de uma pesquisa na internet e, dessa forma, pode ser desenvolvido o banco de dados presente no modelo. A estimativa da população em 2015 para cada cidade é fornecida pela ferramenta cidades (IBGE, 2016) disponível no site do IBGE, o consumo per capita por ano de energia em cada estado brasileiro no ano de 2015 está disponível no capítulo “Consumo ($kWh/mês$) e per Capita (kWh/hab)” do “Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016” (EPE; MME, 2016, Tabela 3.54, p. 166). A média mensal de insolação por dia ($kWh/m^2/dia$) foi retirada do programa SunData disponível no site “CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito”.

O simulador SunData utiliza os valores de insolação do banco de dados “Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal do Centro de Estudios de la Energia Solar” para calcular a irradiação solar média mensal no plano horizontal em qualquer ponto do território nacional. Os dados solares do programa são apresentados em quilowatt-hora por metro quadrado por dia. São também fornecidos os valores de irradiação solar para o plano inclinado que apresenta o ângulo de inclinação igual à latitude (CRESESB e CEPEL, 2017).

Os valores das tarifas de fornecimento de energia de cada capital brasileira foram retirados do ranking de tarifas residenciais desenvolvido pela ANEEL presente no Informativo Tarifário do MME referente ao primeiro quadrimestre de 2016 (ANEEL, 2016). Este ranking apresenta as tarifas de fornecimento de energia homologadas e sem ICMS em R\$/MWh para todas as concessionárias de energia do Brasil. No caso dos

estados que são abastecidos por diferentes concessionárias de energia, a média dos valores foi calculada para obter um valor geral coerente para toda a região. Após a coleta desses dados, foram adicionados ao valor os impostos ICMS - Imposto sobre a Circulação de Mercadoria e Serviços, o PIS - Programa de Integração Social e o COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social, calculados a partir de uma porcentagem estabelecida nacionalmente. Esse ainda não é um resultado exato pois o CIP – Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública foi desconsiderado já que este varia de acordo com a região e não foi possível determiná-lo.

As informações técnicas das células solares requeridas no modelo são eficiência, em porcentagem, área (m²) e custo da tecnologia. É possível selecionar as características gerais dos módulos fotovoltaicos listadas no banco de dados ou calcular os resultados inserindo manualmente os dados necessários.

O “*Userform*” desenvolvido no VBA é a interface na qual o usuário interage com o modelo. É possível selecionar locais e módulos dentre as opções disponíveis no banco de dados, inserir valores específicos das características do local, analisar as tecnologias de módulos solares e comparar diferentes cenários resultantes. Todos os cálculos do modelo são realizados na planilha conectada ao “*Userform*”, a qual contém as fórmulas e o banco de dados do modelo. Como o modelo trabalha com informações que são atualizadas com frequência, entre elas população da região, consumo energético, tarifas de fornecimento de energia e valores de mercado, é ideal que o banco de dados também seja atualizado com frequência para manter a coerência do sistema.

5.3. Opções e equações do modelo “Energia Solar”

As tecnologias solares disponíveis no modelo desenvolvido, e os parâmetros selecionados para o dimensionamento do modelo são apresentados na tabela 1 abaixo. Os parâmetros foram fornecidos pela empresa Globo Brasil, o website da empresa Neosolar e o site de e-commerce, Mercado Livre.

Tabela 1. Tecnologias Solares Disponíveis e Parâmetros. Informações detalhadas na planilha – APÊNDICE B.

Fonte: Globo Brasil, Neosolar e Mercado Livre, 2017.

Módulo Solar	Fabricante	Eficiência (aprox.) *	Área do Módulo	Custo
Silício Monocristalino 250W	Kript	15,3 %	1,64 m ²	R\$ 950,00
Silício Monocristalino 260W	Powerwell	15,9 %	1,64 m ²	R\$ 990,00
Silício Monocristalino 275W	Yingli	16,9 %	1,62 m ²	R\$ 850,00
Silício Policristalino 250W	Canadian Solar	16 %	1,61 m ²	R\$ 800,00
Silício Policristalino 255W	Canadian Solar	16 %	1,61 m ²	R\$ 875,00
Silício Policristalino 260W	Canadian Solar	16,2 %	1,61 m ²	R\$ 930,00
Silício Policristalino 265W	Canadian Solar	16,5 %	1,62 m ²	R\$ 940,00
Silício Policristalino 250W - BR	Globo Brasil	15,4 %	1,62 m ²	R\$ 725,76
Silício Policristalino 255W - BR	Globo Brasil	15,7 %	1,62 m ²	R\$ 740,27
Silício Policristalino 260W - BR	Globo Brasil	16,05 %	1,62 m ²	R\$ 754,00
Silício Policristalino 265W - BR	Globo Brasil	16,4 %	1,62 m ²	R\$ 768,00
Silício Policristalino 300W - BR	Globo Brasil	15,5 %	1,93 m ²	R\$ 780,55
Silício Policristalino 305W - BR	Globo Brasil	15,7 %	1,93 m ²	R\$ 793,56
Silício Policristalino 310W - BR	Globo Brasil	16 %	1,93 m ²	R\$ 806,57
Silício Policristalino 315W - BR	Globo Brasil	16,2 %	1,93 m ²	R\$ 819,58
Silício Policristalino 315W - BR	Globo Brasil	16,5 %	1,93 m ²	R\$ 819,58

*Eficiência - porcentagem da energia solar que é transformada em energia elétrica por cada metro quadrado de módulo solar.

As equações utilizadas para o desenvolvimento do modelo são mostradas nos tópicos abaixo.

- Geração de Energia

As equações de geração de energia são baseadas no valor médio anual da insolação diária para o plano inclinado que apresenta o ângulo de inclinação igual à latitude, na eficiência e tamanho do módulo solar. O valor médio anual da insolação diária foi escolhido para a realização dos cálculos para garantir que os resultados sejam coerentes com a realidade local durante o ano todo. A primeira equação gera o resultado em kWh por m² por dia e a segunda equação converte o valor para kWh por módulo por dia.

$$Energia \left(\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}} \right) = Média \text{ dos Valores de Insolação} \times \left(\frac{Eficiência (\%)}{100} \right)$$

$$Energia \left(\frac{kWh}{\text{painel dia}} \right) = Energia \left(\frac{kWh}{m^2 \text{ dia}} \right) \times Área \text{ Painel Solar (m}^2\text{)}$$

- Consumo

A equação do consumo é baseada nos parâmetros população, consumo per capita do local escolhido e porcentagem de energia que será produzida pelo módulo solar. Por exemplo, se a simulação considerar que toda a energia requerida será produzida pelo sistema fotovoltaico, a porcentagem de energia nessa equação será 100%, porém se for considerado que só metade da energia será gerada por essa tecnologia, a porcentagem será 50%.

$$\text{Consumo} \left(\frac{kWh}{\text{dia}} \right) = \text{Pop.} \times \frac{\text{Consumo}}{\text{capita}} \left(\frac{kWh}{\text{capita}} \right) \times \% \text{ de energia}$$

- Número de Módulos Solares

O número de módulos solares necessários pode ser calculado pela divisão do consumo total pela energia gerada por um módulo solar.

$$\text{Número de Módulos} = \frac{\text{Consumo} \left(\frac{kWh}{\text{dia}} \right)}{\text{Energia gerada por 1 módulo solar} \left(\frac{kWh}{\text{dia}} \right)}$$

- Área Total

O cálculo utilizado para obter a área superficial total de módulos solares necessária é a simples multiplicação do número total de módulos pela área de um módulo solar.

$$\text{Área Total} (m^2) = \text{Número de Módulos} \times \text{Área de 1 Módulo Solar} (m^2)$$

- Custo dos Módulos Solares

Para estimar o custo dos módulos solares, o número total de módulos solares necessários é multiplicado pelo preço de cada módulo solar. No Brasil, é possível calcular o custo do projeto e do investimento total apenas para os módulos solares de silício monocristalino e poli cristalino, pois as outras tecnologias listadas no banco de dados (a-Si, CIS e CdTe) são novas e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro.

$$\text{Custo (R\$)} = \text{Número de Módulos} \times \text{Custo de 1 Módulo Solar (R\$)}$$

- Custo Final do Sistema Fotovoltaico

Para estimar o custo final do investimento, é adicionado ao custo dos módulos o valor da estrutura necessária para instalação e o valor do inversor. O custo do projeto aproximado será calculado baseado no valor dos módulos solares, sendo que este corresponde a aproximadamente 65 por cento do valor final.

$$\text{Custo (R\$)} = \text{Custo Módulos Solares} + \text{Estrutura} + \text{Inversor}$$

$$\text{Custo (R\$)} = \frac{\text{Custo Módulos Solares}}{0,65}$$

- Economia Anual

A economia anual proporcionada pelo sistema de energia solar simulado no modelo pode ser calculada multiplicando a quantidade de energia produzida no sistema fotovoltaico instalado pelo valor tarifa da energia comprada da rede de distribuição comum naquela região.

$$\text{Economia} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \right) = \text{Energia Produzida} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) \times \text{Valor Energia} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{MWh}} \right) \times 365 \text{ dias} \times \left(\frac{\text{MWh}}{1000 \text{ kWh}} \right)$$

- Tempo de Retorno

O tempo de retorno pode ser calculado dividindo o custo total pela economia anual, e este valor representa em quanto tempo o seu investimento inicial será recompensado.

$$\text{Tempo de Payback (anos)} = \frac{\text{Custo total (R\$)}}{\text{Economia Anual} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \right)}$$

- Redução da Emissão de CO₂

A redução da emissão de CO₂ pode ser calculada utilizando quantidade de energia produzida pelo sistema fotovoltaico instalado e o fator de emissão de dióxido de carbono (CO₂) brasileiro de 2016 - 0,0817 tCO₂/MWh (MCT, 2016).

$$\text{Redução da emissão de CO}_2 \left(\frac{\text{tCO}_2}{\text{dia}} \right) = \left(\frac{\text{kWh}}{\text{dia}} \right) \times 0,0817 \frac{\text{tCO}_2}{\text{MWh}} \times \left(\frac{\text{MWh}}{1000 \text{ kWh}} \right)$$

5.4. Execução do modelo “Energia Solar”

A figura 22 ilustra o design do programa. As etapas para executar o modelo e obter os resultados são:

1. Na categoria dados do local e módulo solar, selecione um local da lista e pressione o botão “Importar Informações do Local”;
2. Ou complete os campos “população”, “consumo (*kWh/hab/dia*)” e “média insolação por dia (*kWh/m²/dia*)” com base na localização desejada (observação: os dados mensais de insolação por dia são apenas para conhecimento, cálculo é feito com a média simples dos valores);
3. Na categoria informações do módulo solar, selecione um tipo de módulo solar disponível na lista “tipo de módulo solar” e pressione o botão “Importar Informações do Módulo Solar”;
4. Ainda na mesma categoria, selecione a porcentagem de energia que será produzida pelos módulos solares;
5. Na categoria resultados, pressione o botão “Calcular Resultados” para obter os resultados fornecidos pelo programa.

Energia Solar

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia.
Escolha o tipo de módulo solar.

Local:

População:

Consumo (kWh/hab/dia):

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	<input type="text"/>
Fev	<input type="text"/>
Mar	<input type="text"/>
Abr	<input type="text"/>
Mai	<input type="text"/>
Jun	<input type="text"/>
Jul	<input type="text"/>
Ago	<input type="text"/>
Set	<input type="text"/>
Out	<input type="text"/>
Nov	<input type="text"/>
Dez	<input type="text"/>
Média	<input type="text"/>

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar:

Eficiência (%):

Área (m²):

Custo Painel (R\$):

% de energia produzida com tecnologia solar:

Resultados

Número de Módulos:

Área Total (m²):

Custo Tecnologia (R\$):

Custo Total (R\$):

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh):

Economia Anual (R\$):

Tempo de Retorno (anos):

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia):

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 22. Interface/“Userform” do Modelo “Energia Solar”

Os resultados calculados pelo modelo são o número de módulos solares necessários para substituir a porcentagem de energia selecionada em um local específico, a área superficial total de módulos solares, o valor total dos módulos solares e o custo final do investimento. O modelo apresenta o custo final aproximado, já que a mão de obra necessária para a instalação do sistema fotovoltaico e infraestrutura necessária são calculados por meio de porcentagens em relação ao custo dos módulos solares. Além disso, também é possível obter a economia anual gerada pelo sistema, o tempo de retorno de investimento e a redução da emissão de CO₂ em toneladas por dia.

5.5. Estudo de caso

Com o intuito de exemplificar a aplicação do Modelo “Energia Solar”, foi desenvolvido um estudo de caso apresentando duas situações: uma considerando a população total da cidade de Rio Claro e outra analisando a possibilidade da instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência com 4 pessoas localizada no mesmo município.

O município de Rio Claro surgiu em 1845 e está localizado no interior do estado de São Paulo, a 173 km da capital paulista. Segundo o IBGE (2016) a população estimada para a cidade em 2015 é de 199.961 habitantes, o território do município engloba 498,422 km² e a densidade demográfica do local em 2010 é de 373,69 habitantes por km².

O clima na região é classificado como tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen-Geiger, apresentando verões mais quentes e úmidos, e invernos mais frios e secos (ALVARES, 2014). Segundo a ferramenta SunData (CRESESB e CEPTEL, 2017), a insolação no plano inclinado na região do município de Rio Claro apresenta uma média de 5,04 em quilowatt-hora por metro quadrado por dia ($kWh/m^2/dia$) ou 210 watt por metro quadrado (W/m^2). O mês com maior valor de insolação no plano inclinado é o mês de dezembro, com 5,58 $kWh/m^2/dia$ ou 232,5 watt por metro quadrado (W/m^2), e o mês com menor valor de insolação no plano inclinado na região são os meses de inverno, sendo junho o mês que apresenta o valor mais baixo, 4,34 $kWh/m^2/dia$ ou 180,8 watt por metro quadrado (W/m^2). Os valores de insolação registrados no Brasil são expressivos e possibilitam a utilização dessa tecnologia no país.

A concessionária de energia elétrica responsável pelo fornecimento de eletricidade a cidade de Rio Claro é a Elektro. A distribuidora está de acordo com a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012) e já disponibiliza as condições para a instalação de micro ou minigeração de energia distribuída nas unidades particulares por meio de fontes renováveis de geração de eletricidade. O responsável pela unidade particular interessado nesse projeto deve seguir os procedimentos apresentados na norma ND.64 – Conexão entre Microgeração e Minigeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da Elektro e na norma ND.65 – Conexão de Geradores em Paralelo com o Sistema de Distribuição de Média Tensão disponibilizadas no website da concessionária de energia, preencher a carta de apresentação do projeto (ND.64-F-001), a consulta de acesso (ND.64-F-002) e os formulários de solicitação de acesso requisitados em cada caso (ND.64-F-003 ou ND.64-F-004 ou ND.64-F-005) (ELEKTRO, 2016).

5.5.1. Estudo de caso – cidade de Rio Claro

As figuras 23 a 28 apresentam a aplicação e os resultados do modelo utilizando a cidade de Rio Claro como o local selecionado.

The screenshot shows a web application window titled "Energia Solar". It is divided into several sections:

- Dados do Local e Módulo Solar:** Includes a dropdown menu for "Local" (set to "Rio Claro (SP)"), input fields for "População" and "Consumo (kWh/hab/dia)", and a button "Importar Informações do Local".
- Insolação por dia (kWh/m²/dia):** A vertical list of input fields for each month from Jan to Dez, plus a "Média" field.
- Informações do Módulo Solar:** Includes a dropdown for "Tipo de Módulo Solar" (set to "Silício Policristalino 250W - BR"), a button "Importar Informações do Módulo Solar", and input fields for "Eficiência (%)", "Área (m²)", and "Custo Painel (R\$)". There is also a dropdown for "% de energia produzida com tecnologia solar".
- Resultados:** Includes input fields for "Número de Módulos", "Área Total (m²)", "Custo Tecnologia (R\$)", and "Custo Total (R\$)", with a "Calcular Resultados" button. Below these are fields for "Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)", "Economia Anual (R\$)", "Tempo de Retorno (anos)", and "Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia)".
- Observações:** Two text blocks at the bottom right provide context about solar technologies and energy consumption data.

Figura 23. Interface ilustrando seleção da cidade de Rio Claro.

Energia Solar

Energia Solar

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia.
Escolha o tipo de módulo solar.

Local:

População:

Consumo (kWh/hab/dia):

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	4.93
Fev	5.13
Mar	5.29
Abr	5.15
Mai	5.1
Jun	4.34
Jul	4.95
Ago	5.34
Set	4.86
Out	5.05
Nov	5.58
Dez	4.75
Média	5.04

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar:

Eficiência (%):

Área (m²):

Custo Painel (R\$):

% de energia produzida com tecnologia solar:

Resultados

Número de Módulos:

Área Total (m²):

Custo Tecnologia (R\$):

Custo Total (R\$):

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh):

Economia Anual (R\$):

Tempo de Retorno (anos):

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia):

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 24. Interface ilustrando as informações do local carregadas a partir do banco de dados após pressionar o botão "Importar Informações do Local".

Energia Solar

Energia Solar

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia.
Escolha o tipo de módulo solar.

Local:

População:

Consumo (kWh/hab/dia):

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	4.93
Fev	5.13
Mar	5.29
Abr	5.15
Mai	5.1
Jun	4.34
Jul	4.95
Ago	5.34
Set	4.86
Out	5.05
Nov	5.58
Dez	4.75
Média	5.04

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar:

Eficiência (%):

Área (m²):

Custo Painel (R\$):

% de energia produzida com tecnologia solar:

Resultados

Número de Módulos:

Área Total (m²):

Custo Tecnologia (R\$):

Custo Total (R\$):

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh):

Economia Anual (R\$):

Tempo de Retorno (anos):

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia):

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 25. Interface ilustrando a seleção do tipo de módulo.

Energia Solar

Energia Solar

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia.
Escolha o tipo de módulo solar.

Local:

População:

Consumo (kWh/hab/dia):

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	4.93
Fev	5.13
Mar	5.29
Abr	5.15
Mai	5.1
Jun	4.34
Jul	4.95
Ago	5.34
Set	4.86
Out	5.05
Nov	5.58
Dez	4.75
Média	5.04

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar:

Eficiência (%):

Área (m²):

Custo Painel (R\$):

% de energia produzida com tecnologia solar:

Resultados

Número de Módulos:

Área Total (m²):

Custo Tecnologia (R\$):

Custo Total (R\$):

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh):

Economia Anual (R\$):

Tempo de Retorno (anos):

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia):

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 26. Interface ilustrando as informações do módulo solar carregadas a partir do banco de dados após pressionar o botão "Importar Informações do Módulo Solar".

Energia Solar

Energia Solar

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia.
Escolha o tipo de módulo solar.

Local:

População:

Consumo (kWh/hab/dia):

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	4.93
Fev	5.13
Mar	5.29
Abr	5.15
Mai	5.1
Jun	4.34
Jul	4.95
Ago	5.34
Set	4.86
Out	5.05
Nov	5.58
Dez	4.75
Média	5.04

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar:

Eficiência (%):

Área (m²):

Custo Painel (R\$):

% de energia produzida com tecnologia solar:

Resultados

Número de Módulos:

Área Total (m²):

Custo Tecnologia (R\$):

Custo Total (R\$):

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh):

Economia Anual (R\$):

Tempo de Retorno (anos):

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia):

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 27. Interface ilustrando a seleção da porcentagem de energia que será produzida pelo sistema fotovoltaico. Neste estudo de caso, calcularemos os resultados com 50 e 100 % da energia sendo gerada pelos módulos solares.

Energia Solar

Energia Solar

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia. Escolha o tipo de módulo solar.

Local:

População:

Consumo (kWh/hab/dia):

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	4.93
Fev	5.13
Mar	5.29
Abr	5.15
Mai	5.1
Jun	4.34
Jul	4.95
Ago	5.34
Set	4.86
Out	5.05
Nov	5.58
Dez	4.75
Média	5.04

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar:

Eficiência (%):

Área (m²):

Custo Painel (R\$):

% de energia produzida com tecnologia solar:

Resultados

Número de Módulos:

Área Total (m²):

Custo Tecnologia (R\$):

Custo Total (R\$):

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh):

Economia Anual (R\$):

Tempo de Retorno (anos):

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia):

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 28. Interface ilustrando os resultados do modelo gerados nessa simulação após pressionar o botão “Calcular Resultados”.

Para instalar um sistema fotovoltaico em Rio Claro, assumindo que 50 % da energia consumida no local é gerada pelos módulos solares e utilizando o módulo solar mais popular no mercado atualmente - silício policristalino 250 W de potência, seriam necessários 600.319 módulos solares, uma área de 972.517 m² (cerca de 0,2 % da área total do município) e o investimento de R\$ 709.299.987,70 para a compra dos módulos solares e para a instalação. A economia anual para a cidade seria de aproximada R\$ 132.031.249,00 com o tempo de retorno de 5,4 anos e redução da emissão de 65.7 toneladas de CO₂ por dia (Figura 29).

Resultados		
Número de Módulos	600319	Calcular Resultados
Área Total (m ²)	972516.5	
Custo Tecnologia (R\$)	461044992	
Custo Total (R\$)	709299987.69	
Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)	0.45	
Economia Anual (R\$)	132031248.89	
Tempo de Retorno (anos)	5.37	
Redução da Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /dia)	65.67399	

Figura 29. Resultados do modelo assumindo que 50% da energia é gerada pelos módulos solares.

Ao assumirmos que 100% da energia consumida no local é gerada pelo sistema fotovoltaico a ser instalado, seriam necessários 1.200.638 módulos solares, uma área de 1.945.033 m² (cerca de 0,4 % da área total do município) e o investimento de R\$ 1.418.599.975,40 para a compra dos módulos solares e realização do projeto. A economia anual para a cidade seria de aproximada R\$ 264.062.498,00, com o tempo de retorno de 5,4 anos e redução da emissão de 131.35 toneladas de CO₂ por dia (Figura 30).

Resultados		
Número de Módulos	1200638	Calcular Resultados
Área Total (m ²)	1945033	
Custo Tecnologia (R\$)	922089984	
Custo Total (R\$)	1418599975.38	
Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)	0.45	
Economia Anual (R\$)	264062497.77	
Tempo de Retorno (anos)	5.37	
Redução da Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /dia)	131.34798	

Figura 30. Resultados do modelo assumindo que 100% da energia é gerada pelos módulos solares.

5.5.2. Estudo de caso – residência com 4 pessoas na cidade de Rio Claro

As figuras 31 a 33 apresentam a aplicação e os resultados do modelo utilizando a uma residência com pessoas na cidade de Rio Claro como local selecionado. Os passos ilustrados anteriormente pelas figuras 23 a 28 se repetem nesse exemplo. Porém, antes de calcular os resultados é necessário alterar a população do local para 4 pessoas. As figuras 31 e 32 ilustram a inserção do valor 4 na lacuna designada para o valor da população na categoria dados do local e módulo solar.

Energia Solar
✕

Dados do Local e Módulo Solar

Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insolação por dia. Escolha o tipo de módulo solar.

Local

População

Consumo (kWh/hab/dia)

Importar Informações do Local

Insolação por dia (kWh/m²/dia)

Jan	4.93
Fev	5.13
Mar	5.29
Abr	5.15
Mai	5.1
Jun	4.34
Jul	4.95
Ago	5.34
Set	4.86
Out	5.05
Nov	5.58
Dez	4.75
Média	5.04

Informações do Módulo Solar

Tipo de Módulo Solar

Importar Informações do Módulo Solar

Eficiência (%)

Área (m²)

Custo Painel (R\$)

% de energia produzida com tecnologia solar.

Resultados

Número de Módulos

Área Total (m²)

Custo Tecnologia (R\$)

Custo Total (R\$)

Calcular Resultados

Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)

Economia Anual (R\$)

Tempo de Retorno (anos)

Redução da Emissão de CO₂ (tCO₂/dia)

Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.

Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insolação por dia (kWh/m²/dia) foi retirada do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.

Figura 31. Interface ilustrando a população alterada para 4 pessoas.

Local	Rio Claro (SP)	Importar Informações do Local
População	4	
Consumo (kWh/hab/dia)	8.04	
Insoiação por dia (kWh/m²/dia)		Informações do Módulo Solar
Jan	4.93	Tipo de Módulo Solar
Fev	5.13	Silício Policristalino 250W - BR
Mar	5.29	Importar Informações do Módulo Solar
Abr	5.15	
Mai	5.1	Eficiência (%)
Jun	4.34	16.4
Jul	4.95	Área (m ²)
Ago	5.34	1.62
Set	4.86	Custo Pannel (R\$)
Out	5.05	768
Nov	5.58	% de energia produzida com tecnologia solar.
Dez	4.75	30
Média	5.04	

Figura 32. Aproximação da interface ilustrando a população alterada para 4 pessoas.

Energia Solar		Resultados	
Dados do Local e Módulo Solar		Resultados	
Escolha o local ou digite valores para população, consumo e insoiação por dia. Escolha o tipo de módulo solar.			
Local	Rio Claro (SP)	Número de Módulos	8
População	4	Área Total (m ²)	11.7
Consumo (kWh/hab/dia)	8.04	Custo Tecnologia (R\$)	6144
	Importar Informações do Local	Custo Total (R\$)	9452.31
Insoiação por dia (kWh/m²/dia)		Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)	0.45
Jan	4.93	Economia Anual (R\$)	1584.68
Fev	5.13	Tempo de Retorno (anos)	5.96
Mar	5.29	Redução da Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /dia)	0.00079
Abr	5.15		
Mai	5.1		
Jun	4.34		
Jul	4.95		
Ago	5.34		
Set	4.86		
Out	5.05		
Nov	5.58		
Dez	4.75		
Média	5.04		
Informações do Módulo Solar		<p>Obs. 1: As tecnologias solares a-Si, CIS e CdTe são novas no mercado mundial e ainda não estão disponíveis no mercado brasileiro, portanto não é possível calcular o custo do investimento usando esses três painéis solares.</p> <p>Obs. 2: O consumo de energia per capita de cada estado no ano de 2015 está disponível na tabela 3.54 do "Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016" (EPE & MME, 2016) e a média mensal de insoiação por dia (kWh/m²/dia) foi retrahida do programa SunData desenvolvido pelo CRESESB.</p>	
Tipo de Módulo Solar	Silício Policristalino 265W - BR		
Importar Informações do Módulo Solar			
Eficiência (%)	16.4		
Área (m ²)	1.62		
Custo Pannel (R\$)	768		
% de energia produzida com tecnologia solar.	30		

Figura 33. Interface ilustrando os resultados do modelo gerados nesse exemplo após pressionar o botão "Calcular Resultados".

Para instalar um sistema fotovoltaico com as mesmas características propostas anteriormente, porém em uma residência com 4 moradores na cidade de Rio Claro, assumindo que 30 % da energia consumida no local é gerada pelos módulos solares,

seriam necessários 8 módulos solares, uma área de 11,7 m² e o investimento de R\$ 9453,00 para a compra dos módulos solares e instalação. A economia anual para a esta residência seria de aproximada R\$ 1584,70, com o tempo de retorno de 6 anos e redução da emissão de 0,00079 toneladas de CO₂ por dia (Figura 34).

Resultados	
Número de Módulos	<input type="text" value="8"/>
Área Total (m ²)	<input type="text" value="11.7"/>
Custo Tecnologia (R\$)	<input type="text" value="6144"/>
Custo Total (R\$)	<input type="text" value="9452.31"/>
<input type="button" value="Calcular Resultados"/>	
Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)	<input type="text" value="0.45"/>
Economia Anual (R\$)	<input type="text" value="1584.68"/>
Tempo de Retorno (anos)	<input type="text" value="5.96"/>
Redução da Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /dia)	<input type="text" value="0.00079"/>

Figura 34. Resultados do modelo para uma residência com 4 pessoas assumindo que 30% da energia é gerada pelos módulos solares.

Ao assumirmos que 50 % da energia consumida no local é gerada pelo sistema fotovoltaico, seriam necessários 13 módulos solares, uma área de 19,5 m² e o investimento de R\$ 15360,00 para a compra dos módulos solares e a realização do projeto. Com as novas variáveis, a economia anual atingiria R\$ 2641,00, com o tempo de retorno de 5,8 anos e redução da emissão de 0,00131 toneladas de CO₂ por dia (Figura 35).

Resultados		
Número de Módulos	13	Calcular Resultados
Área Total (m ²)	19,5	
Custo Tecnologia (R\$)	9984	
Custo Total (R\$)	15360	
Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)	0,45	
Economia Anual (R\$)	2641,14	
Tempo de Retorno (anos)	5,82	
Redução da Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /dia)	0,00131	

Figura 35. Resultados do modelo para uma residência com 4 pessoas assumindo que 50% da energia é gerada pelos módulos solares.

E por fim, ao assumirmos que 100 % da energia consumida no local é gerada por energia solar, seriam necessários 25 módulos solares, uma área de 38,9 m² e o investimento de R\$ 29.538,50 para a compra e instalação do sistema fotovoltaico. Nesta última simulação, a economia anual seria R\$ 5282,30 com o tempo de retorno de 5,6 anos e redução da emissão de 0,00263 toneladas de CO₂ por dia (Figura 36).

Resultados		
Número de Módulos	25	Calcular Resultados
Área Total (m ²)	38,9	
Custo Tecnologia (R\$)	19200	
Custo Total (R\$)	29538,46	
Tarifa de Energia por Estado (R\$/kWh)	0,45	
Economia Anual (R\$)	5282,28	
Tempo de Retorno (anos)	5,59	
Redução da Emissão de CO ₂ (tCO ₂ /dia)	0,00263	

Figura 36. Resultados do modelo para uma residência com 4 pessoas assumindo que 100% da energia é gerada pelos módulos solares.

6. CONCLUSÕES

Tomando como base os aspectos discorridos, conclui-se que a radiação solar é uma ótima fonte alternativa de energia, pois é renovável, limpa e não gera qualquer tipo de poluição ambiental durante o período de geração. No entanto, algumas barreiras devem ser superadas para permitir o crescimento da utilização desta fonte de energia. É necessário melhorar a eficiência de conversão energética, expandir a pesquisa em torno das dificuldades relativas à capacidade de armazenamento e à perda de energia e incentivar os investimentos em medidas de mitigação sobre os impactos negativos. Além disso, é importante que o custo de produção da energia solar se torne mais competitivo, de modo a aumentar a busca por esse sistema. Sistemas híbridos podem ser uma alternativa.

O modelo “Energia Solar” foi desenvolvido com cálculos básicos e apresentou os resultados desejados, entre eles o número de módulos solares necessários para determinado sistema fotovoltaico, a área para instalação e o investimento para a compra da tecnologia, além de também calcular a economia anual, o tempo de retorno e a redução da emissão de gás carbônico.

O banco de dados desenvolvido contém informações gerais das capitais brasileiras e de quatro cidades do interior paulista. A média de insolação mensal que atinge cada cidade foi extraída do programa SunData disponível no site “CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito”, o qual assume que o posicionamento dos módulos solares sempre terá a mesma inclinação que a latitude local e, portanto, utiliza os valores de insolação medidos nessa posição. Em relação ao consumo per capita e ao custo da energia em cada local, esses dados foram retirados de tabelas da ANEEL, as quais apresentam as informações por estado e não por cidades brasileiras.

Os softwares e aplicativos de energia solar já disponíveis atualmente no mercado têm como input o consumo energético do cliente para realizar o projeto e apresentam como resultado a potência que deve ser gerada pelos módulos fotovoltaicos para suprir a necessidade do local. O modelo desenvolvido neste trabalho traz o diferencial de realizar um cálculo aproximado e geral de um projeto de geração de energia solar baseado na insolação do local e no consumo médio de energia per capita da região. Assim, é possível realizar o cálculo tanto para uma residência, quanto para uma empresa

ou até mesmo para uma cidade inteira. Além disso os resultados apresentados são o número de módulos solares necessários, dependendo da tecnologia escolhida, e o custo aproximado do projeto ao invés de calcular a potência a ser instalada. Dessa forma é possível ilustrar rapidamente os prováveis resultados do projeto e já ter uma ideia da economia energética e monetária que pode ser obtida.

Considerando as observações do parágrafo anterior, para um melhor aproveitamento do sistema desenvolvido é ideal que se utilize parâmetros particulares de cada local estudado no modelo, como por exemplo a radiação solar específica da região para determinada inclinação, o preço atual do fornecimento de energia elétrica, a energia consumida pelos habitantes da cidade ou pelos moradores de uma residência e valores de mercado coerentes com a oferta local. A utilização desse modelo por empresas responsáveis por projeto de energia solar também seria interessante. Dessa forma, não só os dados locais seriam mais precisos, pois informações específicas do cliente estariam disponíveis, como também dados relativos aos módulos solares por eles comercializados, como: tamanho do módulo, custo da tecnologia e de instalação, eficiência e potência de geração de energia por cada módulo.

Em relação aos estudos de caso apresentados no trabalho, as simulações que consideraram a instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência apresentaram valores coerentes. Ao simular a geração de 50 e 100 % da energia da cidade de Rio Claro, utilizando módulos solares, os valores foram bem altos. Porém, ao analisarmos a área requerida em ambas as simulações, estas não representam nem 1% da área total do município. Assim, acredita-se que o maior empecilho para a instalação dessa tecnologia em larga escala seja a questão econômica, já que o investimento inicial é realmente elevado. Seriam necessários incentivos governamentais e melhores condições de financiamento. Outro fator a ser considerado é a mudança cultural em relação a aplicação de fontes de energia alternativas e investimentos a longo prazo.

Finalmente, acredita-se que a ferramenta desenvolvida possa simplificar o dimensionamento de sistema de produção de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas e vir a contribuir com o aumento da utilização dessa importante fonte energética.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Alemanha, v. 22, n.6, p. 711–728, 2014.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Energia Solar. In: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), Org (s). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 2. ed. Brasília, 2005. p 29-42. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em 30 de maio de 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Cadernos Temáticos ANEEL. 2016. 2ª ed. 34 p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Perguntas e Respostas sobre a Aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/faq_482_18-12-2012.pdf>. Acesso em 31 de maio de 2016.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Ranking Nacional das Tarifas Residenciais (Grupo B1), 2016. In: MME – Ministério de Minas e Energia. **Informativo Tarifário Energia Elétrica**. 21ª edição, 1º quadrimestre, 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015**. 2015.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Resolução Normativa N° 482, de 17 de Abril de 2012**. 2012.

ASSIREU, A. T.; PIMENTA, F.; TIAGO FILHO, G. L.; MEIRA JÚNIOR, R.; NOGUEIRA, L. A. H.; CAPAZ, R. S. Fontes Alternativas de Energia. In: CAPAZ; HORTA NOGUEIRA, Org (s). **Ciências Ambientais Para Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. p 251-307.

BERTOLO, L. A. **Fase #1: Desenvolvendo Procedimentos (Macros) VBA em Excel**. Lições de VBA do Excel. 2007. p. 1-112.

BRASIL. **LEI N° 13.169, DE 6 DE OUTUBRO DE 2015**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm>. Acesso em 18 de março de 2017.

CARSTENS, L. Energia no Brasil: problemas e oportunidades. **Gazeta do Povo**, 2014. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/opiniaio/artigos/energia-no-brasil-problemas-e-oportunidades-eelj6y5x3l05vffv93z8l5ji>>. Acesso em: 23 de maio de 2017.

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 1999. 207p.

CRABTREE, G. W.; LEWIS, N. S. Solar Energy Conversion. **Physics Today**, 2007. 37-42. Disponível em: <www.physicstoday.org>. Acesso em: 27 de junho de 2016.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito; CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **SunData**, 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 01 de março de 2017.

DI SOUZA, R. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. Edição Única. Ribeirão Preto – SP: Blue Sol Energia Solar, 2013. 114 p.

ELEKTRO, Eletricidade e Serviços S.A. **ND.64 - Conexão entre Microgeração e Minigeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição**. Campinas – SP, 2016.

ELEKTRO, Eletricidade e Serviços S.A. **ND.65 – Conexão de Geradores em Paralelo com o Sistema de Distribuição de Média Tensão**. Campinas – SP, 2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016 - Tabela 3.54 - População, consumo e consumo per capita (kWh/hab). In: EPE - Empresa de Pesquisa Energética; MME - Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016**. Rio de Janeiro – RJ, 2016. p. 166.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética; MME - Ministério de Minas e Energia. Gráfico 147 – Composição da oferta interna de energia por fonte nos próximos dez anos. In: EPE - Empresa de Pesquisa Energética; MME - Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023**. Brasília – UF, 2014. p 405.

GIL, A. C. Como delinear uma pesquisa bibliográfica? In: GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007. p. 59-85.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO (Brasil). Mapa: Incidência solar global média anual - Municípios do Estado de São Paulo. **Energia Solar Paulista – Levantamento do Potencial – Renováveis**. 2013. p. 23.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil). **Cidades**. 2016. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em 04 de julho de 2016.

IEA – Internacional Energy Agency (EUA). Perspectiva otimista para a geração de energia elétrica por fontes renováveis, 2008. In: LOPEZ, R. A. **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

KALOGIROU, S. A. Solar Thermal Collectors and Applications. **Progress in Energy and Combustion Science**, volume 30, 2004. 231-295.

LIMERSOL. **Energia Fotovoltaica**. São Paulo, 2016.

LOPEZ, R. A. **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. São Paulo: Artliber Editora, 2012. 232 p.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Arquivo dos Fatores de Emissão**, 2016. Disponível em: < <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>>. Acesso em 02 de janeiro de 2017.

MICROSOFT, 2016. **Introdução à Linguagem de Programação Visual Basic**. Disponível em: <[https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/xk24xdbc\(v=vs.90\).aspx](https://msdn.microsoft.com/pt-br/library/xk24xdbc(v=vs.90).aspx)>. Acesso em 09 de junho de 2016.

NREL - National Renewable Energy Laboratory (EUA). **Passive Solar Design for the Home**. 2001. 8 p. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy01osti/27954.pdf>>. Acesso em 21 de dezembro de 2016.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **A Melhor Direção do Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 21 de junho de 2017.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Célula Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acesso em 07 de junho de 2016.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Como funciona o Módulo Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-modulo-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 07 de junho de 2016.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>. Acesso em 07 de junho de 2016.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>>. Acesso em 07 de junho de 2016.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Tipos de Módulo Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-modulo-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em 07 de junho de 2016.

PORTAL SOLAR – Tudo sobre Energia Solar Fotovoltaica. **Tudo sobre a eficiência do Painel Solar**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>>. Acesso em 18 de março de 2017.

SCHINAZI, A. **Emissões de CO₂ pela geração de eletricidade no brasil superam em 2014 a previsão do governo para o ano de 2030**. Mitsidi Projetos, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://mitsidi.com/emissoes-de-co2-pela-geracao-de-eletricidade-no-brasil-superam-em-2014-a-previsao-da-epe-para-o-ano-de-2030/?lang=pt-br>>. Acesso em 21 de dezembro de 2016.

SENAC, Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial. **Programação VBA para Excel**. Porto Alegre – RS, 2010. 67p.

SIGNIFICADOS. **Significado de Matriz Energética**. Disponível em: <<https://www.significados.com.br/matriz-energetica/>>. Acesso em: 21 de junho de 2017.

STINE, W. B.; GEYER, M. Chapter 1 - Solar Energy Conversion System. In: STINE, W. B.; GEYER, M. **Power from the Sun**. 2001. Disponível em: <<http://www.powerfromthesun.net/book.html>>. Acesso em: 27 de junho de 2016.

TIAGO FILHO, G. L.; ROSA, C. A. Análise da Capacidade de Amortização dos Passivos Energéticos e Ambientais dos Módulos Fotovoltaicos. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 19, No. 1, 1o Sem. 2013, pp. 171-194.

TIAN, Y.; ZHAO, C. Y. A. Review of Solar Collectors and Thermal Energy Storage in Solar Thermal Applications. **Applied Energy**, volume 104, 2013. 538-553.

TSOUTSOSA, T., FRANTZESKAKIB, N.; GEKAS, V. Environmental Impacts from the Solar Energy Technologies. **Energy Policy**, volume 33, 2005. 289-296.

VALLÊRA, A. M., BRITO, M. C. Meio Século de História Fotovoltaica. **Gazeta de Física**, volume 29, fascículo 1 e 2, 2006. p. 10-15.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Base de Dados – Informações Relativas ao Local.

Local	População (2015) (IBGE)	Consumo per capita	Consumo per capita	Jan (kWh/m ² /day) - Inclinação =	Fev (kWh/m ² /d)	Mar (kWh/m ² /d)	Abr (kWh/m ² /d)	Mai (kWh/m ² /d)	Jun (kWh/m ² /d)	Jul (kWh/m ² /d)	Ago (kWh/m ² /d)	Set (kWh/m ² /d)	Out (kWh/m ² /d)	Nov (kWh/m ² /d)	Dez (kWh/m ² /d)	Média Insolação
Aracaju (SE)	0	1,706	4,67	5,69	5,5	5,87	5,19	5	4,73	5,01	5,59	5,52	5,92	6,08	5,98	5,51
Belém (PA)	1.439.561	2.318	6,35	4,31	4,16	4,17	4,12	4,92	5,1	5,71	6,06	5,58	5,87	5,58	5,07	5,05
Belo Horizonte (MG)	2.502.557	2.475	6,78	3,96	5,31	4,11	4,71	4,36	4,62	4,86	4,98	4,92	4,33	4,46	3,96	4,55
Boa Vista (RR)	320.714	1.732	4,75	4,86	4,93	4,73	4,52	4,64	4,07	4,89	4,99	5,58	5,68	5,35	4,9	4,93
Brasília (DF)	2.914.830	2.257	6,18	4,35	5,35	4,56	5,39	5,42	5,68	5,86	6,14	5,43	4,57	4,45	4,35	5,13
Campinas (SP)	1.164.098	2.935	8,04	4,86	5,32	5,37	5,11	5,03	4,59	5,39	5,4	5,05	5,46	5,38	4,96	5,16
Campo Grande (MS)	853.622	2.002	5,48	5,4	5,16	5,3	5,66	5,24	4,1	5,13	5,1	4,76	5,34	5,53	4,88	5,13
Cuiabá (MT)	580.489	2.470	6,77	4,58	4,72	5,23	5,13	5,35	4,97	5,43	5,96	5,28	5,28	5,42	4,86	5,19
Curitiba (PR)	1.879.355	2.665	7,30	4,25	3,93	3,54	3,41	3,06	3,18	4,05	3,9	3,9	4,13	4,54	4,53	3,87
Florianópolis (SC)	469.690	3.357	9,20	4,96	4,95	4,86	4,51	4,13	3,8	3,97	4,28	4,18	4,4	4,79	5,03	4,49
Fortaleza (CE)	2.591.188	1.268	3,47	5,2	5,07	4,66	4,58	5,16	5,17	5,88	6,32	6,28	6,39	6,2	5,88	5,57
Goiânia (GO)	1.430.697	2.218	6,08	4,87	4,82	5,11	5,21	5,42	5,35	5,8	5,93	5,07	5,08	4,82	4,86	5,2
João Pessoa (PB)	791.438	1.301	3,56	5,15	5,58	5,5	5,16	5,32	4,53	4,81	5,59	5,75	6,31	6,34	6,02	5,51
Limeira (SP)	296.440	2.935	8,04	4,93	5,13	5,29	5,15	5,1	4,34	4,95	5,34	4,86	5,05	5,58	4,75	5,04
Macapá (AP)	456.171	1.367	3,75	4,25	4,22	4,03	4,06	4,47	4,56	5,39	6	6,11	6,36	6	5,17	5,05
Maceió (AL)	1.013.773	1.466	4,02	5,73	5,6	5,58	4,73	4,99	4,42	4,56	5,55	5,36	5,9	6,45	5,77	5,39
Manaus (AM)	2.057.711	1.601	4,39	4,38	4,47	4,51	4,54	4,52	4,84	5,24	5,72	5,66	5,44	5,17	4,7	4,93
Natal (RN)	869.954	1.595	4,37	5,72	5,69	5,71	5,04	5,33	4,76	5,24	5,79	5,65	6,5	6,43	6,11	5,66
Palmas (TO)	272.726	1.361	3,73	4,65	4,32	4,64	4,7	5,21	5,65	6,12	6,2	5,25	4,98	4,98	4,72	5,12
Piracicaba (SP)	391.449	2.935	8,04	4,93	5,13	5,29	5,15	5,1	4,34	4,95	5,34	4,86	5,05	5,58	4,75	5,04
Porto Alegre (RS)	1.476.867	2.593	7,10	5,31	5,26	4,94	4,67	3,96	3,46	4,02	4,21	4,51	5,18	5,46	5,65	4,72
Porto Velho (RO)	502.748	1.686	4,62	3,94	4,01	4,56	4,31	4,67	4,96	5,56	5,24	4,84	4,66	4,45	4,2	4,62
Recife (PE)	1.617.183	1.455	3,99	6,23	6,22	5,92	5,55	4,99	4,68	4,87	5,28	5,95	6,29	6,33	6,22	5,71
Rio Branco (AC)	370.550	1.356	3,72	4,06	4	4,44	4,31	4,46	4,29	5,24	5,21	4,62	4,98	4,67	4,01	4,52
Rio Claro (SP)	199.961	2.935	8,04	4,93	5,13	5,29	5,15	5,1	4,34	4,95	5,34	4,86	5,05	5,58	4,75	5,04
Rio de Janeiro (RJ)	6.476.631	2.481	6,80	4,89	5,44	5,25	4,74	4,86	4,41	4,58	5,08	4,67	4,78	4,95	5	4,89
Salvador (BA)	2.921.087	1.655	4,53	6,03	6,09	5,53	4,46	4,36	3,94	4,49	5,56	5,18	5,53	6,11	6,19	5,29
São Luís (MA)	1.073.893	1.016	2,78	4,26	4,24	4,05	3,92	4,52	4,86	5,43	5,98	5,8	5,98	4,95	5,06	4,92
São Paulo (SP)	11.967.825	2.935	8,04	4,1	4,77	4,15	4,04	3,91	3,78	4,09	4,36	3,95	3,92	4,59	4,08	4,14
Teresina (PI)	844.245	1.027	2,81	4,86	4,78	4,77	4,8	5,17	5,52	6,36	6,75	6,15	6,3	5,51	5,21	5,52
Vitória (ES)	355.875	2.787	7,64	5,58	5,71	5,63	5,05	5,02	4,57	4,77	5,21	4,51	4,99	4,64	5,11	5,07

APÊNDICE B - Base de Dados – Informações Relativas aos Módulos Solares.

Tecnologia Solar Tipo Painel	Eficiência (%)	Área Painel (m²)	Custo	Fabricante	Fonte
Silício Monocristalino 250W	15,3	1,64	950	Kript	Mercado Livre - 250W Monocristalino
Silício Monocristalino 260W	15,9	1,64	990	Powerwell	Mercado Livre - 260W Monocristalino
Silício Monocristalino 275W	16,9	1,62	850	Yingli	Neosolar - 275W
Silício Policristalino 250W	16	1,61	800	Canadian Solar	Mercado Livre - 250 W Policristalino
Silício Policristalino 255W	16	1,61	875	Canadian Solar	Neosolar - 255W
Silício Policristalino 260W	16,2	1,61	930	Canadian Solar	Mercado Livre - 260 W Policristalino
Silício Policristalino 265W	16,5	1,62	940	Canadian Solar	Mercado Livre - 265 W Policristalino
Silício Policristalino 250W - BR	15,4	1,62	725,76	Globo Brasil	Tabela de Preços Globo Brasil
Silício Policristalino 255W - BR	15,7	1,62	740,27	Globo Brasil	
Silício Policristalino 260W - BR	16,05	1,62	754	Globo Brasil	
Silício Policristalino 265W - BR	16,4	1,62	768	Globo Brasil	
Silício Policristalino 300W - BR	15,5	1,93	780,55	Globo Brasil	
Silício Policristalino 305W - BR	15,7	1,93	793,56	Globo Brasil	
Silício Policristalino 310W - BR	16	1,93	806,57	Globo Brasil	
Silício Policristalino 315W - BR	16,2	1,93	819,58	Globo Brasil	
Silício Policristalino 320W - BR	16,5	1,93	832,59	Globo Brasil	