



Energia Solar e Eólica

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Paulo Jayme Pereira Abdala
(Organizador)

Energia Solar e Eólica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E56 Energia solar e eólica [recurso eletrônico] / Organizador Paulo Jayme Pereira Abdala. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Energia Solar e Eólica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-066-7

DOI 10.22533/at.ed.667192201

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia eólica. 3. Energia solar. I. Abdala, Paulo Jayme Pereira.

CDD 621.042

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As chamadas energias renováveis, também conhecidas como energias alternativas ou ainda energias limpas são três denominações possíveis para qualquer forma de energia obtida por meio de fontes renováveis, e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. Atualmente, com a grande preocupação mundial em compensar as emissões de CO₂, o consumo deste tipo de energia tem sido o foco de governos e empresas em todo globo.

Neste sentido, o Brasil possui uma matriz energética bastante limpa, onde predomina o uso de hidrelétricas, apesar do crescimento do uso de termelétricas, as quais são abastecidas por combustível fóssil. No Brasil, o setor energético é responsável por grande parte das emissões de CO₂, ficando atrás somente do setor agrícola que reapresenta a maior contribuição para o efeito estufa brasileiro.

A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro e, por este motivo tem recebido maior atenção e também mais investimentos. A radiação solar gratuita fornecida pelo sol pode ser captada por placas fotovoltaicas e ser posteriormente convertida em energia elétrica. Esses painéis usualmente estão localizados em construções, como indústrias e casas, o que proporciona impactos ambientais mínimos. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar os consumidores com a redução na conta de energia elétrica reduzem as emissões de CO₂.

Com relação à energia eólica, o Brasil faz parte do grupo dos dez países mais importantes do mundo para investimentos no setor. As emissões de CO₂ requeridas para operar esta fonte de energia alternativa são extremamente baixas e é uma opção atrativa para o país não ser dependente apenas das hidrelétricas. Os investimentos em parques eólicos vem se tornando uma ótima opção para neutralização de carbono emitidos por empresas, indústrias e etc.

Neste contexto, este EBOOK apresenta uma importante contribuição no sentido de atualizar os profissionais que trabalham no setor energético com informações extremamente relevantes. Ele está dividido em dois volumes contendo artigos práticos e teóricos importantes para quem deseja informações sobre o estado da arte acerca do assunto.

Paulo Jayme Pereira Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
UMA REVISÃO SOBRE AS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS ATUAIS	
Alexandre José Bühler Ivan Jorge Gabe Fernando Hoefling dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.6671922011	
CAPÍTULO 2	26
VALIDAÇÃO DE MODELOS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA O SEMIÁRIDO BRASILEIRO	
Bruna de Oliveira Busson Pedro Henrique Fonteles Dias Ivonne Montero Dupont Pedro Hassan Martins Campos Paulo Cesar Marques de Carvalho Edylla Andressa Queiroz Barroso	
DOI 10.22533/at.ed.6671922012	
CAPÍTULO 3	41
A GERAÇÃO SOLAR DE CALOR DE PROCESSOS INDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE GESSO BETA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE	
André Vitor de Albuquerque Santos Kenia Carvalho Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.6671922013	
CAPÍTULO 4	58
A UTILIZAÇÃO DO SILÍCIO NACIONAL PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS SOLARES: UMA REFLEXÃO DAS DIFICULDADES TECNOLÓGICA E FINANCEIRA	
Felipe Souza Davies Gustavo Luiz Frisso Matheus Vinícius Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.6671922014	
CAPÍTULO 5	72
AEROPORTO DE VITÓRIA/ES: ESTUDO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Ana Luiza Guimarães Valory Sidney Schaeffer Warley Teixeira Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.6671922015	
CAPÍTULO 6	87
ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO MONOCRISTALINO E POLICRISTALINO	
Suellen Caroline Silva Costa Janaína de Oliveira Castro Silva Cristiana Brasil Maia Antônia Sônia Alves Cardoso Diniz	
DOI 10.22533/at.ed.6671922016	

CAPÍTULO 7	1043
ANÁLISE HARMÔNICA NOS INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Alessandro Bogila Joel Rocha Pinto Thales Prini Franchi Thiago Prini Franchi	
DOI 10.22533/at.ed.6671922017	
CAPÍTULO 8	120
ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	
Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia	
DOI 10.22533/at.ed.6671922018	
CAPÍTULO 9	139
ANÁLISE FINANCEIRA DE SISTEMAS DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA FINANCIADOS EM PALMAS - TO	
Brunno Henrique Brito Maria Lúcia Feitosa Gomes de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.6671922019	
CAPÍTULO 10	152
APLICAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EM ESCOLAS MUNICIPAIS DA CIDADE DE CRUZ ALTA/RS: ANÁLISE DE IMPLANTAÇÃO E POTENCIAL DE ENERGIA GERADA	
Alessandra Haas Franciele Rohr Ísis Portolan dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.66719220110	
CAPÍTULO 11	165
APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE RASTREAMENTO DO PONTO DE MÁXIMA POTÊNCIA (MPPT) EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Augusto Hafemeister João Batista Dias Leonel Augusto Calliari Poltosi	
DOI 10.22533/at.ed.66719220111	
CAPÍTULO 12	181
AR CONDICIONADO SOLAR – CICLO DE ADSORÇÃO	
Rafael de Oliveira Barreto Pollyanne de Oliveira Carvalho Malaquias Matheus de Mendonça Herzog Luciana Carvalho Penha Lucio Cesar de Souza Mesquita Elizabeth Marques Duarte Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220112	
CAPÍTULO 13	194
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO COLETOR SOLAR PLANO ACOPLADO EM SECADOR HÍBRIDO	
Raphaela Soares da Silva Camelo	

Ícaro da Silva Misquita
Thais Andrade de Paula Lovisi
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira
Juliana Lobo Paes
Camila Lucas Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.66719220113

CAPÍTULO 14 212

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE NOVO PROTÓTIPO DE FOTOBIORREATOR NÃO TRANSPARENTE PARA CULTIVO DE MICROALGAS COM ILUMINAÇÃO INTERNA ATRAVÉS DE POFS QUE RECEBEM A LUZ DE LENTES MONTADAS EM SISTEMA DE RASTREAMENTO SOLAR

Gisel Chenard Díaz
Yordanka Reyes Cruz
Rene Gonzalez Carliz
Fabio Toshio Dino
Maurílio Novais da Paixão
Donato A. Gomes Aranda
Marina Galindo Chenard

DOI 10.22533/at.ed.66719220114

CAPÍTULO 15 225

AVALIAÇÃO DE WEBSITES BRASILEIROS PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE: PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADOS

Marina Calcagnotto Mascarello
Letícia Jenisch Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.66719220115

CAPÍTULO 16 241

AVALIAÇÕES DE CUSTO E DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO SIGFI COM DIFERENTES PERÍODOS DE AUTONOMIA

Marta Maria de Almeida Olivieri
Leonardo dos Santos Reis Vieira
Marco Antonio Galdino
Márcia da Rocha Ramos

DOI 10.22533/at.ed.66719220116

CAPÍTULO 17 257

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO CONSIDERANDO O EFEITO DA ESTEIRA AERODINÂMICA DE TURBINAS ATRAVÉS DO MODELO DO DISCO ATUADOR

Luiz Fernando Pezzi
Adriane Prisco Petry

DOI 10.22533/at.ed.66719220117

CAPÍTULO 18 272

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE DIFERENTES BASES DE DADOS DE IRRADIAÇÃO - ESTUDO DE CASO EM CURITIBA

Danilo Carvalho de Gouveia
Jeanne Moro
Muza Iwanow
Rebecca Avença
Jair Urbanetz Junior

DOI 10.22533/at.ed.66719220118

CAPÍTULO 19	284
DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Lucélio Oliveira Lemos	
Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus	
Aline Geice Vitor Silva	
Angela de Mello Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220119	
CAPÍTULO 20	297
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Stéphane Rodrigues da Silva	
Érica Tiemi Anabuki	
Luis Cláudio Gambôa Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220120	
CAPÍTULO 21	312
DO PETRÓLEO À ENERGIA FOTOVOLTAICA: A INSERÇÃO DO BRASIL NESTE NOVO MERCADO	
Emilia Ribeiro Gobbo	
Maria Antonia Tavares Fernandes da Silva	
Rosemarie Bröker Bone	
DOI 10.22533/at.ed.66719220121	
CAPÍTULO 22	330
EFEITO DO SOMBREAMENTO EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
José Rafael Cápua Proveti	
Daniel José Custódio Coura	
Carlos Roberto Coutinho	
Adriano Fazolo Nardoto	
DOI 10.22533/at.ed.66719220122	
CAPÍTULO 23	342
ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA E DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO INTEGRADO AO COMPLEXO AQUÁTICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	
Helena Flávia Napolini	
Gustavo Xavier de Andrade Pinto	
Julio Boing Neto	
Ricardo Rütther	
DOI 10.22533/at.ed.66719220123	
CAPÍTULO 24	354
ESTUDO DA SECAGEM INTERMITENTE DA MANGA UTILIZANDO SECADOR HÍBRIDO SOLAR-ELÉTRICO	
Camila Lucas Guimarães	
Juliana Lobo Paes	
Raphaela Soares da Silva Camelo	
Madelon Rodrigues Sá Braz	
Ícaro da Silva Misquita	
Lizandra da Conceição Teixeira Gomes de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220124	

CAPÍTULO 25	367
ANÁLISE PRÉVIA DO VALOR DA DEPENDÊNCIA DO SOLO PARA AS ATIVIDADES AGRÍCOLAS COM A POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DO PARQUE EÓLICO DA SERRA, EM SÃO FRANCISCO DE PAULA, RS	
Antonio Robson Oliveira da Rosa Leonardo Beroldt Rafael Haag	
DOI 10.22533/at.ed.66719220125	
CAPÍTULO 26	379
APLICAÇÃO DE UM DVR EM AEROGERADORES SCIG E DFIG PARA AUMENTO DE SUORTABILIDADE FRENTE A AFUNDAMENTOS DE TENSÃO	
Edmar Ferreira Cota Renato Amorim Torres Victor Flores Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.66719220126	
CAPÍTULO 27	398
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DE UMA REGIÃO COM TOPOGRAFIA COMPLEXA UTILIZANDO DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL	
William Corrêa Radünz Alexandre Vagtinski de Paula Adriane Prisco Petry	
DOI 10.22533/at.ed.66719220127	
CAPÍTULO 28	410
EDIFICAÇÃO DE ENERGIA POSITIVA: ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESCRITÓRIO VERDE DA UTFPR EM CURITIBA	
Larissa Barbosa Krasnhak Elis Almeida Medeiros de Mello Jair Urbanetz Junior Eloy Casagrande Junior	
DOI 10.22533/at.ed.66719220128	
CAPÍTULO 29	422
ESTAÇÃO METEOROLÓGICA WIFI DE BAIXO CUSTO BASEADO EM THINGSPEAK	
Renan Tavares Figueiredo Odélsia Leonor Sanchez de Alsina Diego Lopes Coriolano Eurípes Lopes de Almeida Neto Ladjane Coelho dos Santos Iraí Tadeu Ferreira de Resende Ana Claudia de Melo Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.66719220129	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	431

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO NO MODELO DE UMA ÁRVORE NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Bárbara de Luca De Franciscis Gouveia

barbara.defranciscis@gmail.com

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo apresentar um modelo arquitetônico diferenciado para um sistema fotovoltaico, na forma de uma árvore solar a ser instalada na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Espera-se também realizar uma avaliação do projeto a partir dos resultados de uma análise técnica e uma análise econômica. Na metodologia adotada para a análise técnica serão realizadas as seguintes etapas: a) avaliação do recurso solar; b) determinação da localização; c) modelagem 3D; d) estudo de sombreamento; f) definição da configuração; g) dimensionamento do sistema; h) simulação de operação. Ainda para a análise técnica, as principais ferramentas computacionais utilizadas são SketchUp e PVSyst. A metodologia utilizada para a análise econômica foi elaborada visando o registro dos recursos nela empregados e objetivando também servir de base para os gastos de projetos futuros. O primeiro passo dessa análise econômica foi calcular os custos com os componentes do SFV. Foi levado em conta não só do peso que as principais partes (módulos, inversores e baterias, quando for

o caso) têm no custo total, como também o gasto com o Balanço do Sistema (BOS). O custo final da instalação foi então estimado com o somatório dos recursos empregados na aquisição de material e na mão de obra (de serralheria e instalações elétricas).

PALAVRAS-CHAVE: Árvore solar fotovoltaica, Arquitetura, Análise técnica e econômica.

ABSTRACT: This paper aims to present the idea of and to evaluate a model of solar tree to be installed in the Faculty of Technology of the University of Brasilia. The evaluation will be composed of a technical analysis and an economic analysis of the project. The methodology adopted for the technical analysis will consist of the following steps: a) evaluation of the solar resource; b) location; c) 3D modeling; d) shading study; f) array definition; g) sizing; h) simulation of operation. For the technical analysis will be used the softwares Sketchup and PVSyst. The methodology used for the economic analysis was elaborated aiming to record the resources employed in the tree and to serve as the basis for expenditures of future projects. The first step of this economic analysis was to calculate the costs with the SFV components. It was taken into account not only how much the main parts (modules, inverters and batteries, when applicable) represent in the total cost, but also the expenses with the System

Balance (BOS). The final cost of the installation was estimated adding the resources used in the acquisition of material with the costs of the skilled labors (in locksmithing and electrical installations).

KEYWORDS: Solar tree, Architecture, Technical and economic analysis.

1 | INTRODUÇÃO

Árvores solares são sistemas de geração fotovoltaica, isolados ou conectados à rede, que apresentam um design diferenciado, com o intuito de imitar o design de uma árvore: postes normalmente altos, com painéis dispostos de forma que, além de funcionar como gerador fotovoltaico, fazem o papel de “copa”. Normalmente são sistemas menores, que se enquadram em microgeração devido à sua capacidade.

O principal objetivo por trás da construção de árvores solares fotovoltaicas é dar visibilidade ao uso de energia solar, além de desenvolver cada vez mais a tecnologia e as formas de integração de sistemas de geração fotovoltaica à paisagem urbana. Com a proposta de um design em formato de árvore, os sistemas, além de serem mais facilmente integrados à área urbana, podem utilizar uma área menor se comparados com instalações tradicionais (em telhados ou fachadas de prédios) de mesma capacidade de geração.

A geração fotovoltaica através de árvores solares não é algo tão recente. Um projeto pioneiro foi instalado na cidade de Gleisdorf na Áustria em 1998, uma época em que a energia solar não era minimamente viável e a tecnologia era menos desenvolvida. Nos anos seguintes, surgiram outras propostas sobre o tema, novas ideias de design, construíram-se protótipos até que as árvores solares se tornaram um produto de mercado. Atualmente, uma maior difusão dessa tecnologia vem trazendo, não apenas uma maior viabilidade para sistemas desse tipo, visibilidade para o uso de energia fotovoltaica e integração arquitetônica, mas também possibilidade de usos que atendem demandas da sociedade moderna. Muitos dos projetos de árvores solares buscam utilidades imediatas para a energia gerada, seja através da instalação de tomadas ou entradas *usb* para carregar aparelhos eletrônicos móveis, do oferecimento de sinal wi-fi, ou mesmo da iluminação de vias públicas.

A sugestão de um modelo arquitetônico que seja capaz de alinhar design e eficiência e que possa ser produzido e implementado em um prédio público de uma universidade federal torna possível uma maior visibilidade para esse tipo de projeto e um desenvolvimento cada vez maior da tecnologia que ele emprega. Assim, espera-se que em um futuro próximo surjam novos protótipos para estudo e que os produtos feitos a partir deles sejam mais acessíveis.

2 | DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais utilizados

SketchUp. É uma ferramenta computacional de modelagem 3D para projetos de arquitetura, *design* e engenharia que necessitem do desenho de uma estrutura ou peça de forma detalhada e que possibilite visualização de diferentes ângulos. Atualmente a licença de uso do programa pertence à Google e ele conta com recursos comuns a outros programas da empresa como, por exemplo, a função de georreferenciamento do modelo 3D a partir de dados do Google Earth Pro, que será mencionada em maiores detalhes mais à frente.

No caso específico deste trabalho, o SketchUp possibilitou a criação de um modelo da estrutura da árvore solar durante a etapa da sua concepção e, posteriormente, a análise do local onde ela seria instalada. Para isso, foi realizado um estudo de sombreamento no jardim interno da Faculdade de Tecnologia, local previsto para a instalação. Com o georreferenciamento do modelo e com o auxílio da ferramenta ‘Shadows’ do SketchUp, é possível visualizar a projeção de sombras em um determinado lugar para qualquer horário e dia do ano.

PVSyst. Para a avaliação computacional do sistema da árvore solar, foi usado o PVSyst, uma ferramenta computacional que permite estudar, dimensionar e analisar dados de sistemas fotovoltaicos. Dentre suas funcionalidades, o PVSyst possui uma ampla base de dados de equipamentos (modelos de módulos e de inversores) e das condições meteorológicas de várias localidades no mundo. O *software* pode ser utilizado para realização de qualquer tipo de projeto de sistema fotovoltaico: conectado à rede, isolado, de bombeamento de água, etc. Ele possui ainda níveis de *design* do projeto que correspondem aos diferentes estágios de desenvolvimento de um projeto real de um SFV. Para um sistema conectado à rede, como é o caso da árvore solar neste trabalho, com o ‘*design preliminar*’ (ferramenta ‘*preliminary design*’ no programa) obtém-se uma estimativa para algumas características e alguns parâmetros gerais do projeto. Trata-se de uma etapa mais voltada ao estudo de viabilidade do sistema, relacionando dados sobre a sua arquitetura (área disponível), a potência desejada e os investimentos financeiros necessários.

Com a ferramenta ‘*design de projeto*’, por sua vez, é possível simular mais detalhadamente e com parâmetros obtidos de hora em hora todo o funcionamento do sistema. Nessa etapa, determinam-se aspectos específicos do projeto como a orientação dos módulos, o modelo de painel e de inversor, além do arranjo do gerador fotovoltaico. Para um mesmo projeto, o PVSyst também permite criar diferentes variantes (‘*variants*’) e mudar alguns aspectos do *design*. Dessa forma, pode-se fazer diversas simulações e buscar o arranjo otimizado do sistema.

Como uma segunda etapa do dimensionamento do projeto, especifica-se, caso

necessário, parâmetros mais detalhados como as perdas térmicas e ôhmicas, a qualidade do módulo, *mismatch*, perdas por efeito do ângulo de incidência e resistência dos fios. Para todos esses parâmetros, contudo, o PVSyst apresenta valores ‘*default*’ que, mesmo que não sejam exatamente os valores reais, representam o sistema em questão de forma bastante coerente.

Os resultados obtidos com o PVSyst apresentam valores simulados para cada mês, dia ou hora de diversas variáveis como a irradiação global, a energia na saída do inversor, energia injetada na rede, corrente e tensão do arranjo, perdas e eficiência do sistema, apenas para citar algumas. Finalmente, gera-se um relatório para cada simulação realizada que inclui todos os parâmetros usados no projeto e todos os resultados mais relevantes.

2.2 Método utilizado

Na definição do método a ser aplicado na realização deste trabalho, deve-se considerar que objetivo final pode ser resumido em duas etapas: a primeira referente à análise técnica do projeto para sua implementação – a partir de um modelo arquitetônico sugerido – e, a segunda, referente à avaliação econômica da árvore solar a partir da definição do custo da energia por ela produzida. A metodologia seguida para cada uma das etapas será descrita mais detalhadamente a seguir.

Metodologia da análise técnica. O presente trabalho considerou-se um modelo arquitetônico previamente concebido de uma árvore solar que pudesse ser instalada na Faculdade de Tecnologia da UnB. Com o intuito de estudar o desempenho de um SFV na forma de uma árvore solar e validar o modelo de projeto, empregaram-se, na metodologia da análise técnica, as etapas apresentadas nos itens que seguem.

Avaliação do recurso solar. Para um melhor funcionamento do gerador fotovoltaico é importante buscar conhecer os valores de radiação solar global incidente sobre o arranjo e avaliar fatores como a influência da irradiância e a temperatura nos módulos. Sabe-se que dentre tais fatores, alterações na irradiância é o que mais causa efeitos no SFV pois pode variar de forma significativa em pequenos intervalos de tempo, como por exemplo, durante a passagem de uma nuvem.

O valor da quantidade de energia elétrica que é produzida pelo sistema em questão pode ser obtido considerando os efeitos da variação de irradiância a cada instante. A produção de energia e a irradiação horária relacionam-se de forma linear, o que pode ser traduzido em uma grandeza para representar o valor acumulado de energia em um dia, HSP ou Horas de Sol Pleno. Tal grandeza relaciona a irradiação disponibilizada pelo Sol e a irradiância permanece constante em 1 kW/m^2 . O resultado é o número de horas em que a energia efetiva sobre o sistema foi igual à energia fornecida pelo Sol no local e ao longo do dia.

Neste trabalho avaliou-se o recurso solar através dos dados meteorológicos e solarimétricos adquiridos através da modelagem computacional do sistema. Com auxílio do software PVSyst, que conta com uma ampla base de dados para diversas localidades no mundo, foi possível selecionar os dados para a cidade de Brasília fornecidos pela ferramenta Meteonorm 7.1. Esta, por sua vez reúne informações de estações meteorológicas e satélites geoestacionários, aplica modelos de interpolação e apresenta resultados bastante relevantes para aplicações em energia solar. Assim, o dimensionamento do SFV no PVSyst possibilitou a obtenção de dados de irradiação solar no local de instalação da árvore e a elaboração de gráficos que serão comparados às curvas de carga e de energia gerada pelo sistema.

Localização. Na análise técnica do projeto é fundamental decidir o local onde os painéis fotovoltaicos serão instalados, pois este fator influencia bastante o desempenho do sistema. Há que se considerar questões como a possibilidade de objetos ou prédios nas proximidades do SFV projetarem sombras sobre ele e a integração arquitetônica do projeto com o local de instalação.

Em função das variações do recurso solar de um local para outro e influência de objetos e prédios vizinhos, com o conseqüente sombreamento do gerador fotovoltaico, é importante fazer uso de programas que permitam a análise da incidência da radiação solar sobre o plano considerado. Esses programas são especialmente úteis para sistemas instalados em ambiente urbano e/ou que ocupam áreas extensas (CRESESB, 2014).

A análise feita com o PVSyst na etapa anterior de avaliação do recurso solar e o posterior estudo de sombreamento com o SketchUp foram muito importantes nesse sentido.

Ainda quanto a localização do gerador, no caso deste trabalho, para o posicionamento dos painéis em si não houve muita limitação em termos de superfície disponível pois eles seriam fixados à própria estrutura da árvore que, por sua vez, apresentava uma grande liberdade de posicionamento. Os aspectos mais relevantes para a escolha do local de instalação da árvore solar foram, basicamente, o sombreamento, as dimensões da estrutura como um todo, proximidade com o quadro elétrico, a segurança e a visibilidade do projeto.

Modelagem 3D. Nesta etapa, foram usados modelos tridimensionais do protótipo da árvore e da Faculdade de Tecnologia (FT) criados no software SketchUp para uma avaliação ainda mais detalhada do local de instalação escolhido. Com os modelos em escala, foi possível posicionar a árvore no jardim interno da FT, verificar se a área designada possuía as dimensões adequadas para a implementação do projeto e determinar a distância que deveria ser respeitada em relação às construções próximas.

Estudo de sombreamento. Ainda a partir dos modelos em 3D da árvore e da

FT, foi realizado um estudo de como as sombras são projetadas sobre os módulos instalados no protótipo. Para isso, o primeiro passo é georreferenciar o modelo do local inserindo as suas coordenadas geográficas no SketchUp. Isso permite observar o movimento do Sol ao longo de um dia na localidade determinada e, conseqüentemente as sombras que geradas por ele. Basta utilizar a ferramenta ‘Shadows’, que permite definir o dia e o horário para o qual se deseja verificar a posição das sombras.

No caso deste estudo, buscou-se determinar o sombreamento das construções e objetos próximos sobre os painéis no protótipo da árvore solar com foco voltado para as datas do solstício de verão e inverno. Tais datas são bastante representativas pois a primeira corresponde ao dia mais longo do ano e a segunda, ao mais curto. Para esses casos é especialmente importante avaliar a projeção e a duração das sombras sobre o modelo.

Definição da configuração. De forma geral, define-se o arranjo dos elementos do sistema a partir das características da carga e da disponibilidade de recursos energéticos (CRESESB, 2014). O caso em questão apresenta especificidades pois o sistema não foi projetado com o intuito de suprir uma determinada demanda de energia para uma carga. Avaliou-se então apenas a associação entre os painéis de forma a otimizar a geração e considerando o número de ligações de *strings* e entradas MPPT permitidas pelo modelo de inversor utilizado.

Outras considerações feitas dizem respeito às características de sistemas conectados à rede. É comum para um SFCR ter arranjos com mais de dez módulos em série para operação com tensões mais elevadas. Pode-se também aumentar a potência do sistema associando em paralelo mais de um conjunto de módulos em série.

A definição do arranjo para o modelo utilizado, auxiliada com dados do PVSyst, é simples por considerar os painéis em um mesmo plano horizontal e com orientações iguais, cujos valores de ângulos de inclinação e azimute otimizados também são dados pela ferramenta computacional.

Dimensionamento do sistema. O dimensionamento do sistema fotovoltaico permite ao projetista escolher os equipamentos mais adequados e configurá-los da forma mais eficiente possível. Ele pode ser feito com o auxílio de softwares especializados e, conforme mencionado anteriormente, o presente trabalho utilizou o programa PVSyst.

A modelagem computacional auxilia, inclusive, na comparação entre os valores de energia gerada em cada um dos casos de estudo. Por meio dela, tem-se insumos para avaliar a vantagem de ajustar a inclinação de todos os painéis duas vezes por ano.

Para realizar o dimensionamento e determinar os principais resultados do projeto da árvore solar, devem-se realizar todas as etapas da modelagem do sistema

no PVSyst. Definem-se então a localização do projeto, a orientação e inclinação dos módulos, os modelos e potências dos painéis e do inversor, o arranjo e a interligação dos componentes do sistema e os parâmetros de perdas. Ainda conforme mencionado anteriormente, pode ser necessário especificar no dimensionamento parâmetros de perdas (como as perdas térmicas e ôhmicas, a qualidade do módulo, *mismatch*, perdas por efeito do ângulo de incidência e resistência dos fios) ou então realizar a simulação do sistema utilizando os valores *default* apresentados pelo PVSyst para esses parâmetros.

Simulação de operação. Com a definição do arranjo e a escolha dos equipamentos, pode-se realizar a simulação da operação do sistema, o que permite ao projetista avaliar o efeito de variações sazonais do recurso solar, por exemplo. A simulação é feita após o dimensionamento e com o auxílio de softwares especializados.

Nesses programas é possível obter uma modelagem bastante realista do projeto, já que eles costumam dispor de recursos para determinar a inclinação e a orientação dos módulos e para descrever a configuração e os equipamentos escolhidos, a partir de um banco de dados com modelos de painéis e inversores de diversos fabricantes. A simulação da operação do sistema pode ainda ser obtida para intervalos de tempo que vão de horas até meses. Assim, os resultados observados nos parâmetros simulados no PVSyst, principalmente no que diz respeito à capacidade de geração, permitem determinar a eficiência modelo.

Metodologia da análise econômica. A metodologia adotada para a análise econômica da árvore solar foi elaborada de forma a registrar os recursos nela empregados e, eventualmente, servir de base para os gastos em projetos futuros que sejam semelhantes a este. Para isso, foi realizado o levantamento inicial do custo do projeto com uma avaliação do preço da energia gerada pela árvore solar.

Levantamento dos preços dos componentes do SFV. O investimento com um sistema fotovoltaico é determinado, basicamente, pelo seu tamanho, traduzido no valor de sua potência instalada. O primeiro passo da análise econômica é calcular os custos com os componentes do SFV. Além do peso que as principais partes (módulos, inversores e baterias, quando for o caso) têm no custo total, deve-se considerar também o gasto com o Balanço do Sistema (BOS).

Ainda na etapa na etapa de avaliação do pré-projeto da árvore solar, feito em um trabalho acadêmico anterior a este, verificou-se a realização de uma pesquisa de mercado entre diversos modelos e fabricantes, além de revendedores de componentes. Naquela ocasião, determinou-se a utilização de um modelo de painel e de inversor que tivessem um bom preço e atendessem aos requisitos pretendidos no projeto.

Segundo dados de um levantamento do Instituto Ideal, observa-se que atualmente os gastos com os módulos representam a maior parcela do custo total de um SFV,

seguidos pelo gasto com o inversor, que também é bastante relevante. O restante do investimento com o projeto é relativo aos componentes necessários para a instalação como cabos, conectores, estruturas metálicas de suporte para fixação das placas e proteções elétricas.

Levantamento dos gastos com a instalação. O projeto de um sistema FV na forma de uma árvore solar apresenta algumas peculiaridades em relação a projetos ‘tradicionais’ de SFCRs, com a instalação isso também fica evidente. Neste projeto foi necessário considerar gastos com alvenaria na construção de um local mais apropriado para a instalação da árvore. Dessa forma, houve um custo adicional ao do sistema FV referente a material e trabalho dos técnicos nas etapas de preparação da base e de concretagem do piso.

O custo final da instalação foi então estimado com o somatório dos recursos empregados na aquisição de material e na mão de obra (de serralheria e instalações elétricas). Esses últimos foram calculados a partir de tabelas de precificação das atividades de pedreiro e eletricista que prestam serviços para a Universidade de Brasília. A avaliação do investimento inicial do projeto foi realizada considerando principalmente os gastos com a aquisição dos componentes e com a instalação do sistema.

3 | RESULTADOS

3.1 Avaliação do Recurso Solar

Conforme comentado anteriormente, a avaliação do recurso solar foi feita através de informações disponíveis no software PVSyst. Como o PVSyst já possui um vasto banco de dados meteorológicos e solarimétricos para diversas cidades do mundo, sendo que tais dados são obtidos por ferramentas da NASA e da Meteotest (como o Meteonorm 7.1), bastou selecionar a cidade de Brasília para o programa poder efetuar os cálculos e análises do local em que a árvore solar foi instalada. Sabe-se, no entanto, que apesar de não se ter os dados mais precisos para as coordenadas geográficas exatas do ponto de instalação da árvore na FT, foi possível considerar que os dados gerais para a cidade de Brasília são suficientes e representam de forma fiel a localização do sistema.

Dessa forma, foi possível obter os valores da média diária de irradiação solar para cada mês do ano na cidade de Brasília. Tais valores são apresentados no gráfico da Figura 2.

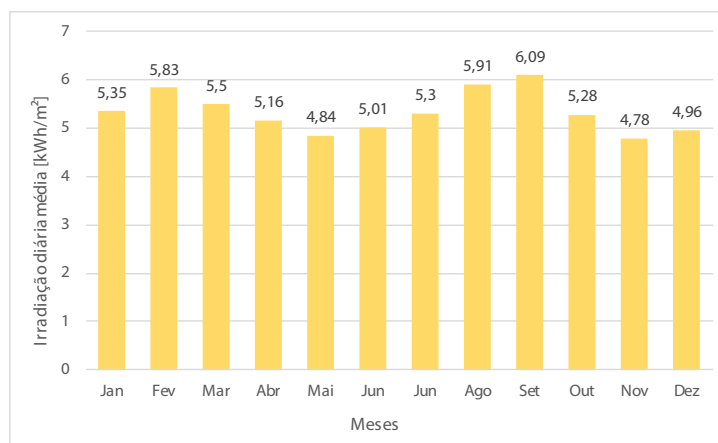


Figura 1 – Gráfico dos valores médios da irradiação solar diária para cada mês na cidade de Brasília

Fonte: Dados do software PVSyst obtidos com auxílio da ferramenta Meeonorm 7.1

Da avaliação dos resultados no gráfico, percebe-se que a cidade de Brasília realmente apresenta taxas de irradiação bastante relevantes. Dentre todos os meses, tem-se uma média total de aproximadamente 5,33 kWh/m², com desvio padrão igual a 0,43. Um desvio tão pequeno demonstra que, de fato, a maioria das médias diárias para cada mês apresentam valores bem próximos da média total.

Dados do Atlas de Irradiação Solar (1998) mostram que o Brasil possui taxas de irradiação que vão de 4,5 a 6,1 kWh/m². Relacionando os resultados obtidos pelo PVSyst para Brasília com os do resto do País, é possível ver que o valor de 5,33 kWh/m² é igual a média do Brasil (de 5,3 kWh/m²) e que o valor máximo, verificado no mês de setembro, é muito próximo do máximo total do País.

A análise do recurso solar na cidade de Brasília comprova que a localização do projeto da árvore solar é bastante adequada para se atingir bons resultados na geração fotovoltaica.

3.2 Localização

No estudo ‘Especificação Técnica para Implementação de Árvore Solar na Faculdade de Tecnologia’, que antecedeu esse trabalho, também foi feita uma avaliação preliminar de possíveis locais de instalação, mas tal estudo indicou a necessidade de verificar o sombreamento de forma mais detalhada.

Dessa forma, a localização definida para a instalação da árvore solar fotovoltaica levou em consideração, principalmente, os seguintes aspectos: o possível sombreamento causado objetos próximos, a logística do posicionamento do inversor, a chance de trazer visibilidade para o uso de energia fotovoltaica por parte da comunidade e a segurança da estrutura e dos seus componentes.

O local escolhido foi o jardim interno da Faculdade de Tecnologia por ele apresentar uma boa área descoberta livre de sombras, relativa proximidade com a

guarita (onde está um dos quadros elétricos do prédio e local onde será colocado o inversor), por oferecer certa segurança e por ser um ponto com grande circulação de pessoas.

3.3 Modelo 3D

Para auxiliar na escolha do local de instalação do projeto e em sua análise técnica, principalmente no que diz respeito ao estudo de sombreamento, utilizaram-se modelos tridimensionais do protótipo da árvore e da Faculdade de Tecnologia (FT) elaborados no software SketchUp.

A seguir é possível observar algumas vistas do desenho tridimensional da árvore solar fotovoltaica e do modelo da FT mostrando o seu jardim interno, local previsto para a implementação do projeto na Figura 3.

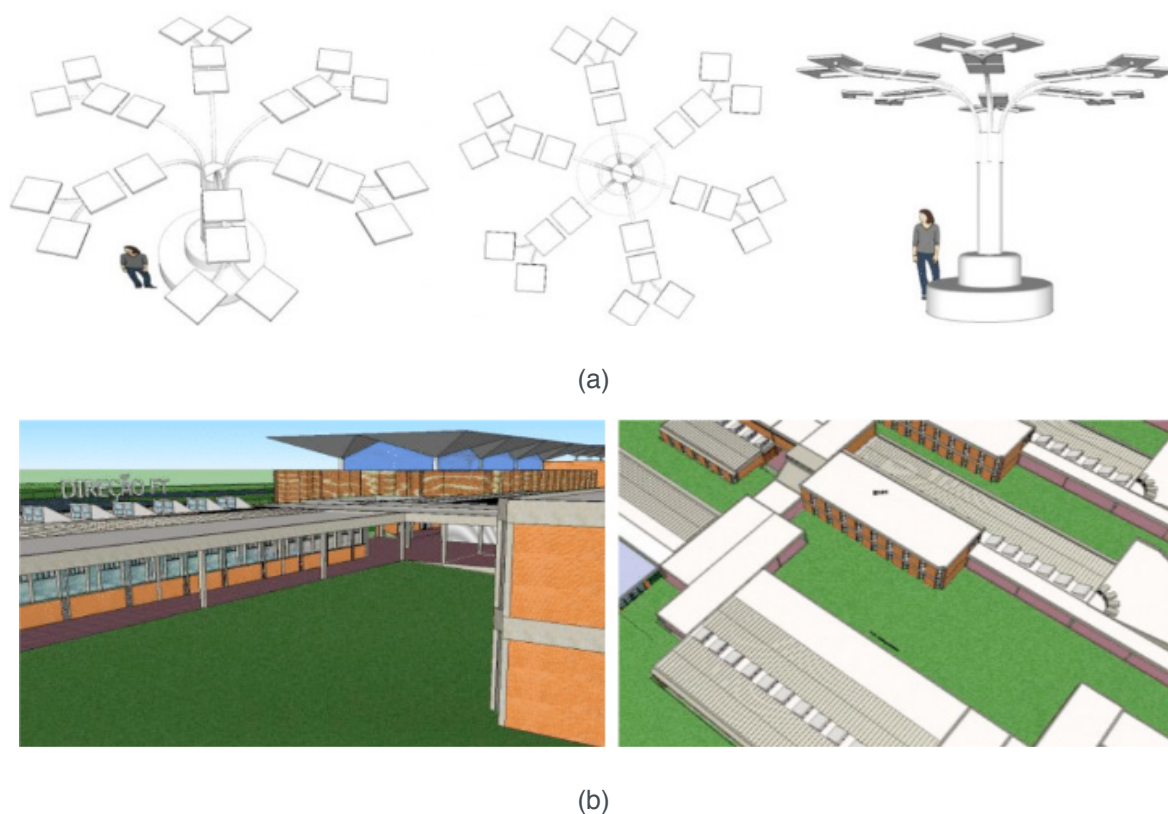


Figura 2 – Vistas dos modelos 3D da (a) árvore solar e (b) Faculdade de Tecnologia (FT)

A partir dos desenhos em escala, foi feito o posicionamento da árvore no local escolhido dentro da Faculdade de Tecnologia, para checar as dimensões do protótipo em relação à área designada e permitir a verificação das sombras projetadas sobre ele.

3.4 Estudo de sombreamento

Nesta etapa do trabalho, foi feita uma análise mais detalhada do local indicado

para instalação da árvore solar. Levando-se em consideração, principalmente, o objetivo de posicionar o protótipo de modo a obter uma maior exposição ao Sol, realizou-se um estudo de sombreamento do jardim interno da FT.

Neste estudo foram utilizados o software SketchUp e modelos computacionais em 3D que representassem a árvore e a Faculdade de Tecnologia da UnB. O primeiro passo foi realizar o georreferenciamento do modelo, isto é, determinar as coordenadas geográficas do local de instalação e inseri-las no software. Esta etapa é feita para que o SketchUp possa indicar o comportamento do sol e das sombras que ele projeta no exato ponto geográfico que se deseja avaliar. As coordenadas do ponto em questão e a representação gráfica do local definido (Figura 4) foram obtidas com auxílio da ferramenta Google Earth Pro e podem ser verificadas a seguir.

Georreferência do Modelo (obtida com o Google Earth Pro):

- Latitude: 15°45'49.15" S
- Longitude: 47°52'22.30" O

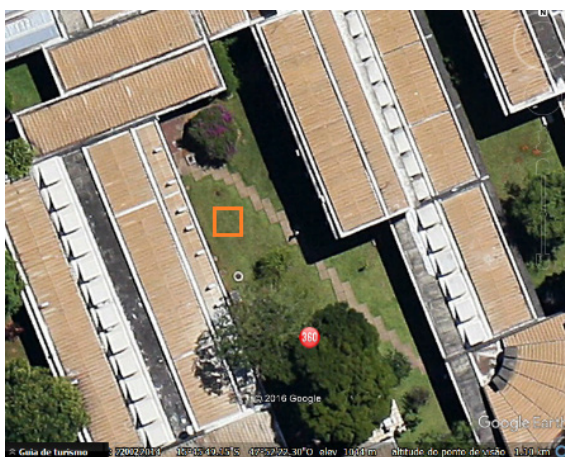


Figura 3 – Fotografia aérea da Faculdade de Tecnologia da UnB com destaque para o local de instalação da árvore solar (editada pela autora)

Fonte: Google Earth Pro

Em seguida, com o modelo georreferenciado no SketchUp, foi utilizada a ferramenta *Shadows*, que faz parte do pacote do programa e que possibilita a verificação das sombras projetadas sobre um local para qualquer data do ano e em qualquer horário.

No estudo de sombreamento, observaram-se especialmente as datas dos solstícios de verão e de inverno e em três horários distintos ao longo do dia. Sabendo que o dia mais crítico é 21 de junho (solstício de inverno), por apresentar menos tempo de luz solar, seguem as figuras referentes ao sombreamento neste dia.

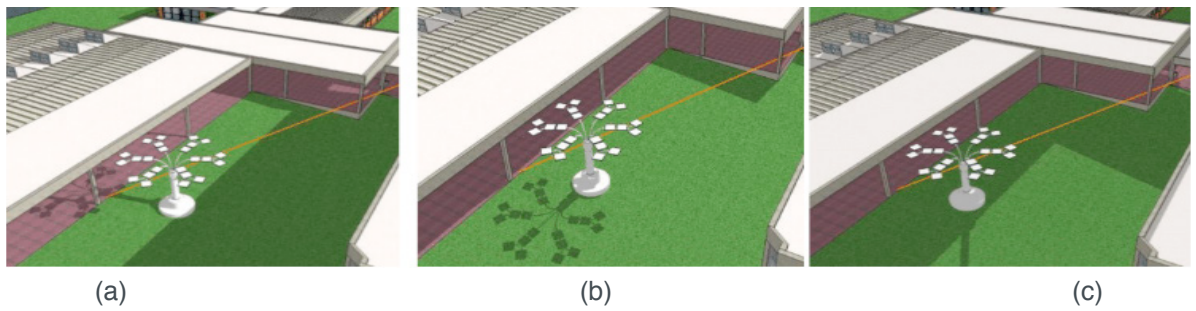


Figura 4 – Sombreamento no dia 21 de junho às (a) 9h, (b) 13h e (c) 16h

3.5 Dimensionamento

No dimensionamento da árvore solar fotovoltaica os critérios adotados foram:

- Sistema solar FV conectado à rede e sem baterias, com potência de pico de cerca de 1kW;
- Sistema de monitoramento de dados para acompanhamento do desempenho da geração de energia elétrica, para divulgação ao público e utilização em pesquisas;
- Estrutura em formato abstrato de “árvore” (com painéis simulando as folhas que formariam a copa da árvore);
- Localizado dentro da FT, em local de grande movimentação para que seja bastante visualizado e divulgado ao público;
- Escolha de fornecedores nacionais, com equipamentos disponíveis para pronta entrega (Barbosa, 2014);
- Decidiu-se então que o sistema teria 24 painéis solares da marca Yinlgi Solar com potência de pico igual a 55 Wp. Dessa forma, a árvore solar apresentaria, como capacidade de geração, uma potência nominal de 1320 Wp. As principais características dos módulos podem ser verificadas na Tabela 1.

CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS	
Potência nominal dos módulos (Wp)	55
Quantidade de módulos	24
Voc módulo (V)	22,07
Vmpp módulo (V)	17,83
Isc módulo (A)	3,28
Impp módulo (A)	3,08
Potência nominal do arranjo (kWp)	1,32

Tabela 1 – Características técnicas dos módulos fotovoltaicos

Algo comum em inversores para conexão como a rede elétrica é o fato de possuir uma ou mais entradas MPPT. Isso é feito para que haja a maximização da potência fornecida pelos módulos fotovoltaicos, pois assim eles são capazes de operar constantemente em seu ponto de máxima potência, independentemente das condições que afetam o desempenho e alteram a curva característica de corrente e tensão do conjunto de módulos (Villalva, 2015).

O inversor central escolhido foi o modelo 1.5-1 de 1,5 kW, da marca Fronius Galvo. Segundo suas especificações técnicas este modelo de inversor apresenta uma entrada MPPT, o que já permite um melhor desempenho do SFV. Observam-se as principais características do inversor na Tabela 2.

CARACTERÍSTICAS DO INVERSOR	
Potência nominal do inversor (kW)	1,5
Quantidade de inversores	1
Tensão de entrada máxima (V)	420
Corrente máxima de entrada (A)	13,3A
Quantidade de rastreadores MPPT	1
Faixa de tensão MPPT (V)	120-335

Tabela 2 – Características técnicas do inversor

Finalmente, os parâmetros de perdas para os dois sistemas dimensionados também apresentam os mesmos valores e estão definidos na Tabela 3.

PARÂMETROS DE PERDAS	
Térmicas	$U_c=19W/m^2.K$ (*)
Ôhmicas	1,5% (**)
Qualidade do módulo	2,5% (**)
Mismatch	1% (**)
Degradação pela Luz	2% (**)
Acúmulo de sujeira nos módulos	3% (**)

Tabela 3 – Parâmetros de perdas utilizados na simulação

(*) painéis instalados sobre bases vazadas com livre circulação de ar / (**) valor sugerido pelo PVSyst

3.6 Definição da configuração

A definição da configuração do sistema da árvore solar foi feita de forma a buscar a eficiência do sistema e respeitando as limitações do projeto e da ferramenta computacional utilizada na análise.

Como o modelo arquitetônico sugerido apresenta os “galhos” em um mesmo plano, sem curvatura e os módulos em uma mesma orientação, foi utilizada a análise do PVSyst para a otimização dos ângulos de inclinação e azimute. Assim, foi possível definir a configuração a partir das recomendações do software para os ângulos de orientação otimizados e para a quantidade de módulos por *string* que fosse adequada considerando as especificações técnicas dos modelos de inversor e módulos.

3.7 Simulação

De acordo com o que foi mencionado anteriormente, para auxiliar com o dimensionamento, permitir a simulação do sistema e determinar seus principais resultados no PVSyst, foi necessário definir a localização do projeto, a orientação e inclinação dos módulos, os modelos e potências dos painéis e do inversor, a interligação dos componentes do sistema e os parâmetros de perdas.

A partir de tais definições e do dimensionamento do projeto, é possível realizar a simulação da operação do sistema e obter resultados que permitem avaliar o efeito de variações sazonais da irradiação, a energia gerada (e no caso deste trabalho, injetada na rede elétrica), eficiência do sistema, entre outros parâmetros, e em intervalos de tempo que vão de horas até meses. A simulação auxiliou ainda na verificação de arranjos mais eficientes para cada caso. Nela foi necessário considerar as limitações do PVSyst e do projeto. Assim, verificou-se que o arranjo mais eficiente é o que divide os módulos em 2 strings com 12 painéis cada e com a orientação otimizada de 23° de inclinação e 0° de azimute.

Dessa forma, os resultados obtidos para a simulações do sistema da árvore solar, principalmente no que diz respeito à capacidade de geração podem ser observados nas Tabela 4.

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO SISTEMA	
Potência nominal dos módulos (Wp)	55
Quantidade de módulos	24
Orientação dos módulos (inclinação/azimute)	23°/0°
Quantidade de módulos série (string)	12
Número de Strings	2
Potência nominal do arranjo (kWp)	1,32
Potência em condições de operação – 50°C (kWp)	1,188
V _{mpp} (V)	193
I _{mpp} (A)	6,2
Área ocupada (m ²)	10
Potência nominal do inversor (kW)	1,5
Quantidade de inversores	1
Tensão de operação (V)	120-335
Performance (%)	79,95
Geração anual de energia (kWh/ano)	2168,0

Tabela 4 – Resultados da simulação do sistema fotovoltaico

Conforme observado dos resultados anteriores, o modelo proposto para implementação de uma árvore solar na Faculdade de Tecnologia é consideravelmente eficiente em termos de geração de energia durante o ano, apresentando um valor de 2168,0 kWh/ano.

3.8 Levantamento do Investimento Inicial

Com os valores dos componentes do sistema, do material utilizado na construção do protótipo e dos serviços realizados para a confecção e a implementação da árvore é possível estimar o custo inicial do projeto. A tabela a seguir representa a divisão dos custos em equipamentos do SFV e serviços realizados na construção e na instalação do projeto, bem como o preço da energia gerada pela árvore (Tabela 5).

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	TOTAL
Módulos	24	R\$ 6.000,00
Inversor	1	R\$ 6.500,00
Cabos (100m)	4	R\$ 440,00
BOS (Conectores, dispositivos de proteção, etc.)	-	R\$ 500,00
Serviço de construção do protótipo (serralheria)	-	R\$ 3.312,00
Serviço de instalação elétrica	-	R\$ 960,00
TOTAL		R\$ 17.712,00
Custo (R\$/kWp)		R\$ 13,42

Tabela 5 – Custos dos componentes do SFV

3.9 Concepção, construção e instalação da árvore solar na FT

Diante do que foi apresentado neste trabalho com a proposta de implementação de uma árvore solar fotovoltaica na Faculdade de Tecnologia da UnB e a partir dos resultados das análises técnica e econômica do projeto, teve início a instalação de fato de um protótipo de árvore solar no local determinado no estudo no final de 2017. Trata-se de um modelo arquitetônico com design mais orgânico e estrutura construída com o reaproveitamento de antigos postes de iluminação pública. Além de reduzir os gastos com o projeto, isso ainda chama a atenção para atitudes ecologicamente sustentáveis e que diminuam os danos ao meio ambiente, o que também é o foco deste projeto.

É importante mencionar que atualmente, no entanto, apesar de última etapa, de instalação da parte elétrica estar encaminhada, com os equipamentos comprados e o projeto elétrico feito, ela ainda está pendente devido algumas questões burocráticas relativas ao andamento de processos de contratação de serviços e compra de componentes.

O arranjo final do modelo pode ser observado na Figura 6.



Figura 5 – Arranjo final da estrutura montada da árvore solar da FT visto de direções distintas.

Fonte: Fotografias feitas pela autora em visita ao local

Uma vez que a implementação for concluída, com o gerador fotovoltaico devidamente instalado e em funcionamento, será possível coletar dados de medições do protótipo da árvore solar da FT e realizar análises de desempenho e eficiência do modelo. Assim, será possível avaliar, na prática, os aspectos que foram considerados previamente nas etapas de projeto do presente sistema fotovoltaico. Os futuros resultados práticos da geração fotovoltaica deste arranjo possibilitarão, ainda, análises sobre o impacto da economia do consumo energético do prédio da FT e os valores finais dos gastos com o projeto permitirão avaliar de que formas as árvores solares podem ser mais viáveis economicamente. Todas as conclusões sobre a implementação do referido protótipo serão de grande utilidade para embasar novos modelos de árvore solar pois, estando dentro da universidade, pode também incentivar os estudos necessários para desenvolver o próprio modelo instalado, as tecnologias nele envolvidas e promover o uso de energia solar.

4 | CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar técnica e economicamente a realização de um projeto de um sistema fotovoltaico na forma de uma árvore solar na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.

A elaboração e a execução de um projeto de aproveitamento de uma fonte de

energia renovável como a solar vem ao encontro de propostas que têm tomado um espaço cada vez maior na sociedade, não apenas em termos de protótipos para estudo do emprego das tecnologias nestes projetos, mas também em termos do lançamento de produtos derivados do desenvolvimento delas. Isso quer dizer que a realização de um projeto como o SFV, proposto neste trabalho, é uma forma de incentivar que sejam feitos cada vez mais trabalhos e estudos no sentido de melhorar a tecnologia do aproveitamento das fontes renováveis, de apresentar propostas de integração de sistemas de micro e minigeração a áreas urbanas, de tornar a energia gerada por esses sistemas mais acessível e viável, além de promover os objetivos do desenvolvimento sustentável.

Com a possibilidade de projetar SFVs com arquiteturas diferentes do que é feito tradicionalmente na paisagem urbana, em que se costumam utilizar telhados e fachadas de prédios, verificam-se algumas das vantagens que se obtêm com inovações no design de um sistema de geração solar, como a riqueza estética e a economia de espaço.

A modelagem em 3D permitiu verificar com precisão o arranjo arquitetônico do modelo e o local de instalação de modo a avaliar as dimensões do protótipo em relação à área designada e permitir a verificação das sombras projetadas sobre ele. A análise do recurso solar na cidade de Brasília conclui que a localização do projeto da árvore solar é bastante adequada para se atingir bons resultados na geração fotovoltaica. Além de o Brasil possuir altas taxas de irradiação (entre 4,5 e 6,1 kWh/m²) a cidade de Brasília apresenta uma taxa de irradiação de 5,33 kWh/m², que é igual a média brasileira (dados obtidos pelo PVSyst para Brasília).

Através da análise técnica concluiu-se que o modelo proposto é consideravelmente eficiente em termos de geração de energia durante o ano, apresentando um valor de 2168,0 kWh/ano. De fato, uma das principais conclusões foi que o investimento em sistemas de geração conectados à rede elétrica, sendo o caso deste trabalho um SFV, representa uma vantagem em termos de ações para reduzir os gastos energéticos de um prédio público e também do ponto de vista ecológico, ao utilizar energia limpa e renovável de fácil exploração.

Quanto ao ponto de vista econômico, entende-se que um projeto, como o realizado neste estudo, ainda pode ser melhor desenvolvido e alguns gastos podem ser minimizados para que a energia gerada por ele se torne ainda mais competitiva.

5 | REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro, 2004. 209p.

Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica. Cadernos Temáticos da Aneel: Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, 2016. 31p. Disponível em: www.aneel.gov.br.

Barbosa, L., 2014. Especificação Técnica para implementação de Árvore Solar na Faculdade de Tecnologia, Trabalho de Iniciação Científica, UnB, Brasília.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: www.cresesb.cepel.br.
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos, 2006. Disponível em: <ftp.cptec.inpe.br>.

Instituto Ideal. O mercado brasileiro da geração distribuída - Edição 2017. Florianópolis, 2017. 68p. Disponível em: www.issuu.com.

ONU – Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento sustentável - Agenda 2030. 2015. Disponível em: www.nacoesunidas.org.

PV Upscale – Urban Scale Photovoltaic Systems. Solar City Gleisdorf. 2007. Disponível em: www.pvupscale.org.

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. 2000. 111p. Disponível em: www.cresesb.cepel.br.

Villalva, M. G., 2015. Energia solar fotovoltaica, Conceitos e Aplicações, Sistemas Isolados e Conectados à Rede 2a edição. Ed. Érica.

SOBRE O ORGANIZADOR:

Paulo Jayme Pereira Abdala possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - RJ (1988), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005) e pós-graduação em Gestão de Aviação Civil pela Universidade de Brasília (2003). Entre 1989 e 2008 foi Chefe do Laboratório de Ruído Aeronáutico e Emissões de Motores do DAC/ANAC, tendo desenvolvido centenas de estudos sobre poluição sonora e atmosférica oriundas da atividade aeronáutica. Foi representante oficial do Brasil em diversos Fóruns Internacionais sobre meio ambiente promovidos pela Organização de Aviação Civil Internacional OACI - Agência da ONU. Foi Coordenador dos Cursos de Engenharia de Produção, Elétrica, Civil e Mecânica na UNOPAR/PG entre 2013 e 2018. Atualmente é Consultor Independente para a AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, OACI e INFRAERO. Tem experiência na área de Engenharia Eletrônica, atuando principalmente nos seguintes temas: acústica, meio ambiente e pedagogia (metodologia TRAINAIR/OACI).

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-066-7

