

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

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Stéphane Rodrigues da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais,
Departamento de Elétrica e eletrônica
Leopoldina-MG

Érica Tiemi Anabuki

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais,
Departamento de Elétrica e eletrônica
Leopoldina-MG

Luis Cláudio Gambôa Lopes

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais,
Departamento de Elétrica e eletrônica
Leopoldina-MG

RESUMO: Devido ao aumento crescente no preço da energia e aos incentivos governamentais aplicados a fontes renováveis de geração de energia elétrica, a energia solar fotovoltaica vem se tornando uma das principais alternativas quanto ao suprimento da geração de energia no país. Tendo em vista esse cenário, é proposto nesse artigo o desenvolvimento de um aplicativo interativo para dispositivos móveis de fácil manuseio a ser utilizado para dimensionar sistemas fotovoltaicos, além de monitorar o histórico de geração de energia através dos mesmos. O dimensionamento leva em consideração as condições climáticas

da localização do usuário, conforme a base de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), e a energia consumida pelo mesmo anualmente. O aplicativo possibilita, desse modo, que o usuário possa escolher os equipamentos adequados para compor seu sistema com base em uma análise de requisitos técnicos e econômicos. O aplicativo proposto pode ser utilizado por usuários interessados na instalação de sistemas fotovoltaicos em suas residências e por instituições de ensino e pesquisa.

PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento, Sistemas fotovoltaicos, Aplicativo

ABSTRACT: Due to the increasing price of energy and government incentives applied to renewable energy, photovoltaic system has become one of the main alternatives for the supply of energy generation in the country. Considering this scenario, it is proposed in this article the development of an interactive application for mobile devices of easy handling to be used to size photovoltaic systems, besides monitoring the history of power generation through them. The sizing takes into account the climatic conditions of the user's location according to the INMET (National Meteorological Institute) database and the energy consumed by it annually. This enables the user to choose the appropriate equipment to compose their

system based on an analysis of technical and economic requirements. The proposed application can be used by users interested in the installation of photovoltaic systems in their homes, and by educational and research institutions.

KEYWORDS: Dimensioning, Photovoltaic systems, App.

1 | INTRODUÇÃO

Um país é definido como desenvolvido conforme sua capacidade de dar acesso à população a serviços de infraestrutura, como saneamento, transporte, telecomunicações e energia. Sendo a energia, neste contexto, um fator dominante para o desenvolvimento econômico e social do país (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008).

Devido ao aumento constante nos preços da energia, incentivos fiscais, condições climáticas e queda nos preços da energia gerada pelas fontes fotovoltaicas, a energia solar fotovoltaica vem se tornando uma das principais alternativas para suplementar a geração de energia elétrica no país. Os estudos do Plano Nacional de Energia - PNE 2050, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, apontam que até 2050 18% dos municípios contarão com geração fotovoltaica, desses 18% em torno de 13% serão de consumo residencial (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008).

Atualmente o governo possui diversos incentivos buscando promover a utilização da energia fotovoltaica no país, como o ProGD (Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica) que estimula a geração de energia elétrica pelos próprios consumidores, a isenção do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) e do ICMS (Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias). Outro incentivo promovido é o Plano Inova de Energia, que é um fundo de R\$ 3 bilhões, criado em 2013, pelo BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ANEEL, com foco na empresa privada e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica nas áreas de redes inteligentes de energia elétrica, linhas de transmissão de longa distância em alta tensão, energias alternativas, como a solar, e eficiência de veículos elétricos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016).

Motivado pelo cenário exposto, é proposto nesse artigo o desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis de fácil manuseio que possibilita ao usuário realizar um prévio dimensionamento de um sistema fotovoltaico para sua propriedade. A aplicação busca otimizar a quantidade de equipamentos a serem utilizados na instalação do sistema fotovoltaico conforme as necessidades do usuário, levando em consideração o gasto médio de energia elétrica anual informado por ele. Além do gasto médio de energia, o dimensionamento realizado pelo aplicativo também leva em consideração a característica climática da região em que o usuário deseja instalar o sistema. Com essas informações o usuário pode escolher os equipamentos e principais acessórios adequados para compor seu sistema de geração fotovoltaica,

reduzindo assim custos com aquisição de equipamentos.

Além do dimensionamento, também é possível através da aplicação fazer o monitoramento da energia consumida pelo usuário e da energia gerada pelo sistema fotovoltaico dimensionado. O aplicativo permite ao usuário informar o histórico de energia elétrica consumido por ele no último ano, e comparar, através de um gráfico, com a energia elétrica gerada a cada mês prevista pelo dimensionamento do sistema fotovoltaico. Permite também monitorar e comparar o gasto médio da energia consumida do ano anterior informada pelo usuário com o custo encontrado na última conta de energia elétrica recebida. Isso possibilita que se verifique se o valor atual da última conta do usuário se encontra dentro da média de consumo de energia informada no ano anterior, verificando desse modo, se o sistema adotado ainda atende os requisitos de consumo do usuário.

O aplicativo também estima um bônus em dinheiro de energia com a instalação do sistema fotovoltaico dimensionado, quando o consumo de energia pelo usuário for inferior à energia gerada pelo sistema. Apesar do sistema de compensação de energia regulado pela Resolução Normativa N° 482 da ANEEL não gerar um bônus em dinheiro e sim em energia, estimar o valor do bônus informar os ganhos econômicos com o sistema fotovoltaico.

Esse aplicativo leva em consideração a geração de energia através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São sistemas que, dependendo da faixa de capacidade de potência nominal utilizada, produzem energia que pode atender parte da carga gerada localizada e/ou ser injetada diretamente na rede de serviço de abastecimento elétrico convencional (BARBOSA et al., 2007). Neste caso, através da resolução 482 da ANEEL pode-se gerar crédito de energia a ser utilizado nos meses seguintes.

2 | METODOLOGIA

Para dimensionar um sistema fotovoltaico é preciso levar em consideração inicialmente dois equipamentos: painéis fotovoltaicos e inversores.

Um painel fotovoltaico é formado por um conjunto de células fotovoltaicas que em conjunto são responsáveis por transformar a energia luminosa solar em corrente elétrica (MARQUES, 2009).

O inversor é um equipamento que faz a interface entre um ou mais painéis e a rede elétrica buscando adequar as formas de onda das grandezas elétricas DC (Corrente Contínua) do painel às formas de onda AC (Corrente Alternada) exigidas pela rede (CASTRO, 2002).

O aplicativo implementado realiza o dimensionamento do sistema fotovoltaico através do cálculo do número de painéis e inversores necessários para compor o sistema de geração fotovoltaica requisitado pelo usuário. Ao iniciar a aplicação

ele pode escolher um modelo de painel e inversor a partir de diferentes modelos, tamanhos e preços dos equipamentos. A partir dos dados de tensão, potência, área do painel, dos dados de consumo de energia elétrica informados pelo usuário no último ano e condição climática da região escolhida, é informado para o usuário o número de painéis e inversores necessários conforme o modelo escolhido e o preço dos equipamentos. A partir da definição do número de painéis e inversores o usuário pode optar por monitorar a energia elétrica gerada pelo sistema dimensionado, a energia consumida do último ano e os gastos obtidos estimados com a utilização de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

A característica climática da região influencia diretamente na energia produzida pelos painéis solares, quanto maior o índice de radiação solar maior a energia produzida por ele. Esse índice de radiação é denominado irradiância, que corresponde ao fluxo radiante solar que incide na superfície de um terreno por área de superfície. Essa informação foi retirada da base de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia, e cinco municípios de Minas Gerais foram utilizadas como base de dimensionamento: Barbacena, Belo Horizonte, Juiz de Fora, Sete Lagoas e Araxá. Para cada uma destes municípios foi realizada uma coleta dos valores de irradiância diários referentes a 5 anos (2011-2015) e após a coleta, uma média mensal foi aproximada para cada município.

Como o dimensionamento depende da energia elétrica consumida pelo usuário, uma tela foi implementada para o recolhimento desses dados. O software utilizado para fazer a implementação do aplicativo foi o Android Studio.

2.1 Dimensionamento do número de painéis

Para calcular o número de painéis necessários para suprir uma demanda de energia é preciso calcular a energia produzida diariamente por um painel, encontrar a energia gerada mensalmente e então dividir a energia consumida pelo usuário pela energia gerada mensal. O cálculo da energia produzida diariamente por um painel pode ser expresso conforme a Eq. (1):

$$E_D = E_S \times A_P \times \eta_P \times TD \quad (1)$$

Em que:

E_D = Energia produzida diariamente por um painel

E_S = Irradiação média diária da região

A_P = Área do painel

η_P = Eficiência do painel

TD = Taxa de desempenho. Referente a influência da sujeira, poeira, sombreamento e outros fatores. Para fins de testes foi considerado como 0.75 (75%).

A eficiência do painel pode ser expressa pela Eq. (2):

$$\eta_p = \frac{P_{MAX}}{A_p \times 1000} \quad (2)$$

Em que:

P_{MAX} =Potência máxima do painel nas condições padrão de ensaio (STC)

A energia mensal gerada por cada painel será a energia produzida pelo painel diariamente vezes o número de dias do mês. Para facilitar o dimensionamento, todos os meses foram considerados como sendo compostos por 30 dias. O cálculo da Energia média produzida pode ser expresso através da Eq. (3):

$$E_M = E_D \times 30 \quad (3)$$

O Número de painéis necessários para suprir a demanda do sistema será dado pela Eq. (4):

$$N_p = \frac{E_{necessária}}{E_M} \quad (4)$$

Em que:

$E_{necessária}$ =Média da energia consumida pelo usuário

Com base na Eq.(4) o aplicativo calcula o número de painéis e inversores necessários para suprir a requisição energética da propriedade do usuário conforme um modelo de painel escolhido previamente.

2.2 Dimensionamento do número de inversores

A especificação dos inversores depende basicamente de dois dados: a tensão total dos painéis utilizados e a potência total deste conjunto. Os painéis são associados em série. Num sistema em série, sabe-se que a tensão total é a soma da tensão de cada painel, isso é demonstrado na Eq. (5).

$$V_T = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (5)$$

Onde:

V_T =Tensão total dos painéis

V_1 =Tensão do painel 1

V_2 =Tensão do painel 2

V_n =Tensão do painel n

Caso todos os painéis sejam idênticos, então a tensão total dos painéis será o e potência dos painéis, caso não seja suficiente para atender essas especificações número de painéis multiplicado pela tensão gerada por cada um deles. O mesmo é válido para a potência. Com a tensão total e a potência total dos painéis, é possível determinar o número de inversores. O inversor deve atender as especificações de tensão outro inversor de mesmo modelo deve ser conectado em paralelo para suprir a demanda do sistema.

3 | RESULTADOS

A tela inicial do aplicativo, Fig.1, conta com uma interface de fácil manuseio com uma descrição do aplicativo e um botão dimensionar o sistema que carrega a segunda tela do aplicativo, Fig.2. Na segunda tela o usuário deve escolher o município mais próximo à região em que deseja instalar o sistema de geração fotovoltaica já que o valor da irradiância média mensal referente ao município escolhido implica no cálculo da energia produzida pelo conjunto de painéis. Atualmente ao acessar a aplicação o usuário tem acesso a cinco municípios do estado de Minas Gerais: Araxá, Barbacena, Belo Horizonte Juiz de Fora e Sete Lagoas.

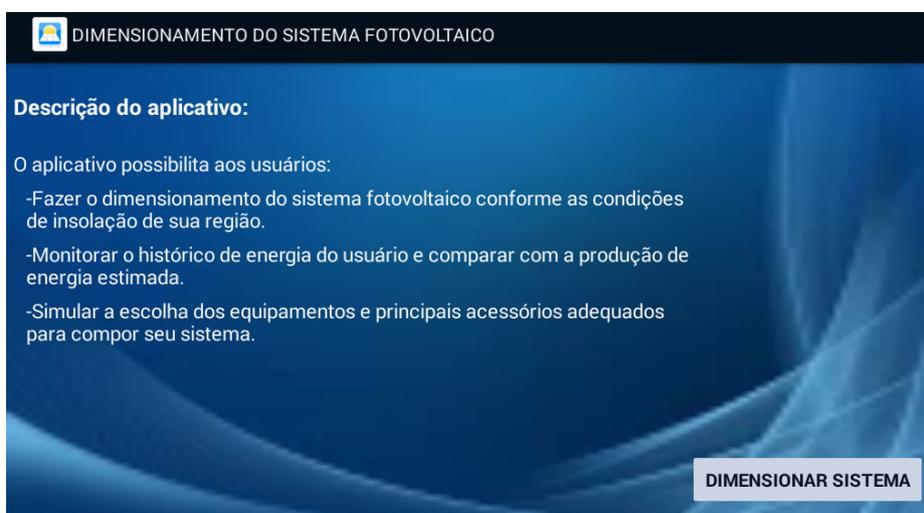


Figura 1 – Tela inicial do aplicativo

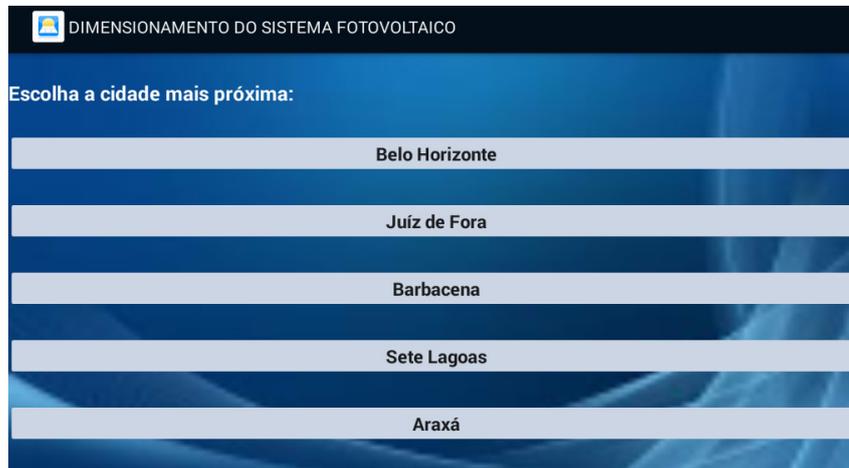


Figura 2 – Tela de escolha das cidades

O próximo passo da aplicação é definir um modelo de painel fotovoltaico e inversor. Ambos os equipamentos foram definidos conforme os modelos mais comumente encontrados no mercado. Na Fig.3 cinco modelos de inversores são disponibilizados para o usuário e ao escolher um dos modelos uma nova tela, Fig.4 é carregada onde as especificações do inversor escolhido podem ser visualizadas.



Figura 3 – Modelo de inversor



Figura 4 – Especificação do inversor

Após a escolha do inversor o usuário também deve escolher um modelo de

painel fotovoltaico. Após escolher um modelo de painel, Fig.5 uma nova tela com as especificações do modelo escolhido é carregada, Fig. 6.



Figura 5 – Modelo de painel



Figura 6 – Especificação do inversor

Após a escolha dos principais equipamentos necessários para compor o sistema fotovoltaico, a tela principal do aplicativo é aberta (Fig. 7). Na tela principal o usuário pode escolher o que deseja verificar no aplicativo como gráfico da energia estimada x energia consumida, gráfico da energia estimada x energia real (consumida), número de painéis, número de inversores, custo médio de consumo e atualização dos dados de consumo. É recomendado que o usuário acesse primeiramente o campo atualização dos dados de consumo, insira seus dados e retorne a tela principal.

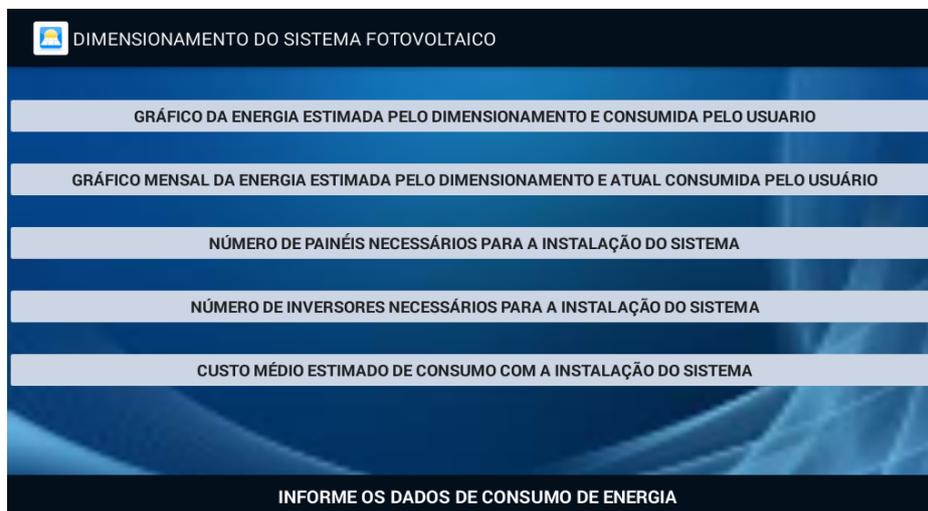


Figura 7 – Tela principal do aplicativo

3.1 Campo informe os dados de consumo de energia

O dimensionamento do sistema é feito com base na localidade e nos dados de consumo de energia elétrica do usuário, buscando dessa forma, especificar um sistema de baixo custo que atenda as requisições do mesmo durante todo o período anual.

Ao clicar no campo Informe os dados de consumo de energia (Fig. 7) uma nova tela é aberta, Fig.8, onde o usuário deve inserir o valor de energia consumido em KWh para cada mês do último ano, Fig. 8. O cálculo médio do consumo de energia leva em consideração o número de meses informados pelo usuário, portanto, quanto mais informações o usuário inserir no aplicativo mais real será o dimensionamento realizado pelo aplicativo. Após a inserção de dados o aplicativo retorna para a tela principal.

A tela de preenchimento dos dados do usuário, intitulada "DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO". Ela apresenta o texto "Insira a energia consumida mensal disponibilizada na conta de energia:" e uma lista de meses com campos de entrada de texto para cada um. Os valores inseridos são: Janeiro:204, Fevereiro:181, Março:217, Abril:187, Maio:212, Junho:199, Julho:248, Agosto:233, Setembro:250, Outubro:217, Novembro:207, Dezembro:212. Há um botão "OK" na base da tela.

Figura 8 – Tela de preenchimento dos dados do usuário

3.2 Campo gráfico da energia estimada pelo dimensionamento e consumida pelo usuário

Ao clicar no campo Gráfico da energia estimada pelo dimensionamento e

consumida pelo usuário na tela principal (Fig. 7), o usuário pode comparar seu consumo de energia elétrica com a energia elétrica gerada estimada pelo sistema fotovoltaico para cada mês do ano através de um gráfico de barras (Fig. 9). Como a energia estimada pelo sistema leva em consideração além das condições de insolação da região também a média aritmética de dados de consumo de energia elétrica do usuário, dependendo do mês, a produção de energia do sistema pode ficar inferior ao consumo. O contrário também pode acontecer, tornando a produção muito superior ao consumo, ocasionando uma compensação de energia, nesse caso.

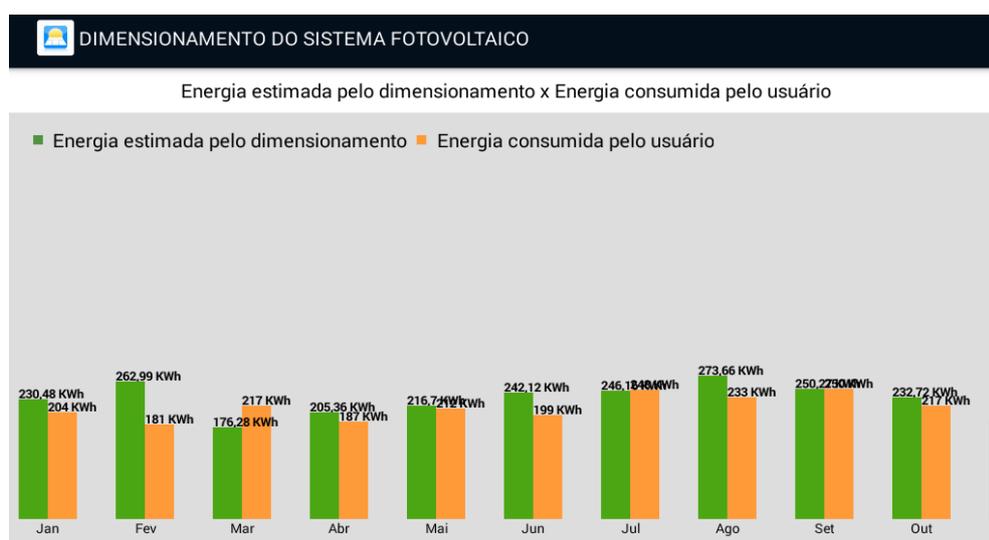


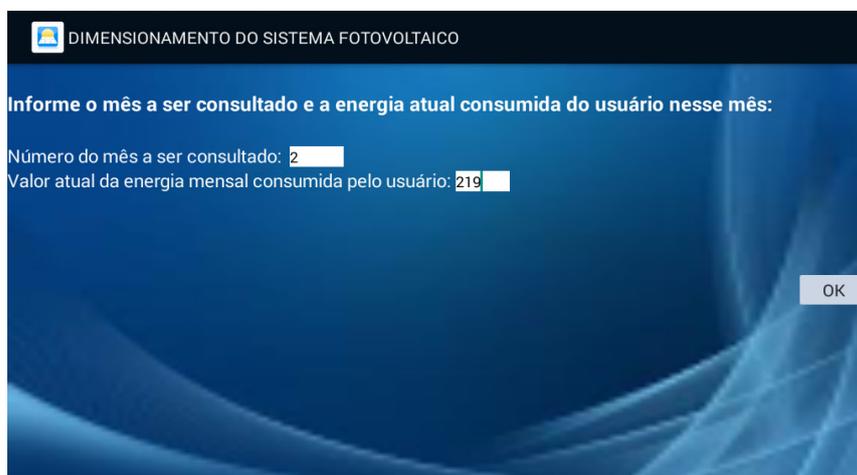
Figura 9 – Gráfico da energia consumida e estimada que possibilita ao usuário fazer uma comparação de valores

3.3 Campo gráfico da energia estimada pelo dimensionamento e atual consumida pelo usuário

No campo Gráfico da energia estimada pelo dimensionamento e atual consumida pelo usuário disposto na tela principal (Fig. 7), o usuário pode verificar se a energia elétrica produzida pelo sistema fotovoltaico está acima ou abaixo do valor real de consumo de energia para um determinado mês do ano (Fig. 10). No campo Número do mês a ser consultado ele deve inserir o mês ao qual deseja consultar a energia estimada pelo sistema e no campo Valor atual da energia mensal consumida pelo usuário o usuário deve inserir o valor real de consumo em KWh informado pela conta de energia elétrica.

Como a energia produzida pelo sistema depende também do histórico de consumo do usuário do ano anterior, caso o valor informado no campo Valor atual da energia mensal consumida pelo usuário seja superior ao valor do ano anterior pode-se verificar se o sistema dimensionado continua atendendo as requisições do usuário ou não. Isso pode ocorrer no caso do usuário não atualizar o histórico anual da energia elétrica consumida no aplicativo e em algum momento quiser verificar se um novo valor mensal, disposto na última conta de energia por exemplo, acarreta em um acréscimo ou decréscimo do bônus em energia recebido pela concessionária.

Após inserir os dados e ao clicar no botão OK na Fig. 10 uma nova tela é aberta onde a comparação entre a energia estimada pelo aplicativo e a consumida pode ser vista, Fig.11. Comparando os valores de energia consumida das Figs. 9 e 11 é possível verificar que o para o mês de Fevereiro o acréscimo do consumo de 181 KWh para 219KWh não foi suficiente para ocasionar o pagamento de tarifas a concessionária de energia, visto que a energia gerada pelo painel fotovoltaico foi superior ao valor de consumo.



DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Informe o mês a ser consultado e a energia atual consumida do usuário nesse mês:

Número do mês a ser consultado: 2

Valor atual da energia mensal consumida pelo usuário: 219

OK

Figura 10 – Valor mensal e real

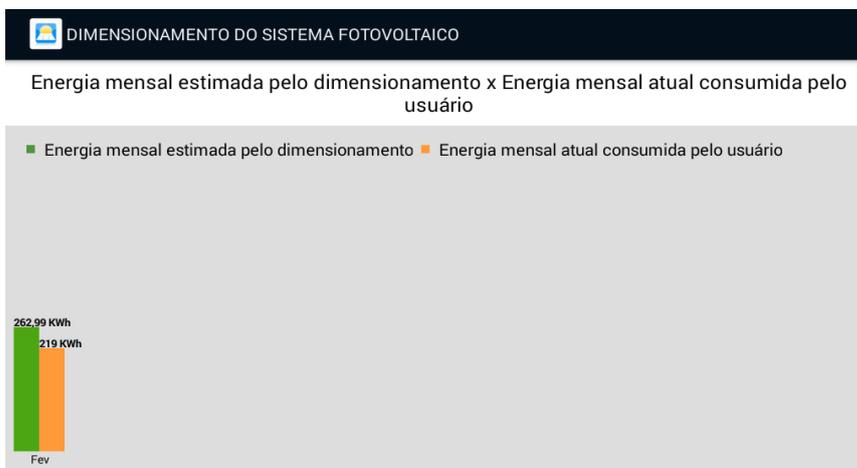


Figura 11 – Comparação mensal

3.4 Campo número de painéis necessários para a instalação do sistema

Acessando o campo Número de painéis necessários para a instalação do sistema, Fig.7, o usuário pode consultar informações tais como a quantidade de painéis necessários para suprir aproximadamente seu consumo, preço médio do modelo escolhido e o valor médio a ser gasto com a quantidade total de painéis do modelo escolhido (Fig. 12). O número de painéis varia conforme o modelo, tamanho do painel, irradiância média da região e a média de consumo de energia do usuário.



Figura 12 – Estimativa do número de painéis

3.5 CAMPO NÚMERO DE INVERSORES NECESSÁRIOS PARA A INSTALAÇÃO DO SISTEMA

No campo Número de inversores necessários para a instalação do sistema, Fig. 7, é possível estimar o número de inversores necessários para controlar e regular os níveis de tensão e corrente utilizados pelo conjunto de painéis fotovoltaicos. Os inversores são responsáveis pela conexão dos painéis fotovoltaicos à rede e necessitam que haja compatibilidade de tensão e potência com todos os painéis utilizados. Na Fig. 13 é informado o número de inversores conforme o modelo de painel escolhido pelo usuário anteriormente.



Figura 13 - Número de inversores

3.2 Campo custo médio estimado de consumo com a instalação do sistema

Outro campo disposto na tela principal (Fig. 7) é o campo Custo médio estimado de consumo com a instalação do sistema. Ele permite comparar o custo real de energia da conta de luz com o custo estimado de pagamento de energia com o sistema implementado. Ao clicar no campo é aberta uma nova tela, Fig. 14. Nessa tela há duas opções que podem ser acessadas pelo usuário o usuário, o campo Informe o custo obtida na última conta de energia elétrica e o campo Custo médio estimado após o dimensionamento do sistema.



Figura 14 – Tela com opções referentes ao custo do consumo

No campo Informe o custo obtida na última conta de energia elétrica o usuário pode inserir o valor de energia cobrado na conta de energia (Fig. 15) do mês anterior. O campo informado será utilizado para comparação quando o campo Custo médio estimado após o dimensionamento do sistema for selecionado, Fig.16.



Figura 15 – Tela de inserção do custo real

Ao clicar no campo Custo médio estimado após o dimensionamento do sistema (Fig. 16) uma nova tela é aberta, nela o usuário pode comparar o valor que pagou na conta de energia (campo Informe o custo obtida na última conta de energia elétrica) com o custo estimado pelo sistema com e sem o dimensionamento dos painéis e inversores. Na Fig. 16, por exemplo, sem o sistema fotovoltaico dimensionado o usuário poderia pagar uma conta de R\$ 154,88. Esse cálculo é feito mediante a média dos dados de energia informados pelo usuário no último ano e o valor do KWh informado na tela como Custo de Energia. Com o sistema implementado, além de não pagar o valor estipulado pelo sistema, ele recebe uma bonificação em torno de R\$8,96. Conforme dito anteriormente, como o sistema de compensação de energia RN 482 da ANEEL não gera um bônus em reais e sim em energia, o aplicativo possibilita informar ao usuário estimar os ganhos econômicos com a utilização de sistemas fotovoltaicos.

Com os dados fornecidos pelo aplicativo o usuário pode também comparar o custo real, Fig. 16, com o valor estimado pelo sistema a partir dos dados de consumo do ano anterior considerando o custo de energia, informado na Fig.16, verificando a influência de diversos fatores no custo da conta de energia, tais como aumento da tarifa de energia, mudanças climáticas, instalação de novos equipamentos, entre outros.



Figura 16 – Tela de comparação com o custo estimado

4 | CONCLUSÃO

O aplicativo possibilita ao usuário recolher diversas informações a respeito dos sistemas fotovoltaicos e realizar o dimensionamento do sistema conforme as condições de insolação de sua região, podendo escolher desse modo os equipamentos e principais acessórios adequados para compor seu sistema. Através dele, o usuário pode verificar o número de painéis e inversores necessários de acordo com o modelo escolhido, a potência e a energia gerada pelos mesmos, assim como fazer um levantamento do histórico de geração da energia pelo sistema fotovoltaico e de consumo de sua instalação.

O aplicativo desenvolvido é uma ferramenta de fácil utilização e alta interatividade cujo intuito é demonstrar a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos levando em consideração o custo e a região a ser implantada. O dimensionamento possibilita reduzir a dependência do usuário com a concessionária de energia, o que é benéfico principalmente nos períodos em que a conta de luz se encontra na bandeira vermelha.

Através do dimensionamento o usuário pode verificar o número de painéis e inversores serem utilizados no sistema, e o histórico de geração de energia e consumo, conforme os meses do ano. O aplicativo traz ao usuário a possibilidade de fazer uma avaliação de custo da utilização de sistemas fotovoltaicos e escolher tipos de painéis e inversores adequados às suas necessidades e que podem ser facilmente encontrados no mercado, uma vez que foram utilizados modelos comerciais.

Como desenvolvimento futuro pretende-se fazer a expansão do sistema para um número maior de municípios em diferentes estados do país, buscando assim compreender e analisar a influência climática no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Outra possível implementação é permitir que a escolha do painel e inversor seja realizada pelo aplicativo e não mais pelo usuário, fazendo com que o sistema adeque os equipamentos necessários conforme o consumo de energia elétrica e a localidade geográfica do usuário.

5 | AGRADECIMENTOS

Esse artigo é resultado da implementação do projeto “Desenvolvimento e estudo de um sistema de geração fotovoltaica para o CEFET-MG” apoiado pela FAPEMIG e CEFET-MG. Agradecemos ambas as instituições pela oportunidade.

6 | REFERÊNCIAS

Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília. 2008.

Barbosa, E.M.S., Silva, D.O., Melo, R.O., 2007. **Sistema Fotovoltaico conectado à rede com baterias**, ASADES - Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Argentina.

Castro, R.M.G. **Introdução a energia fotovoltaica.** Disponível em: http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf. Acesso em: 16/11/2017

Marques, J.P.P.T., 2009. **Modelação e Controlo de Conversor DC/AC para interligação de painéis fotovoltaicos à Rede**, Dissertação de Mestrado, FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.

Moreira, N.J.H. **Resolução Normativa N°482, de 17 de Abril de 2012.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 16/11/2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Energia Solar no Brasil e no Mundo.** Julho, 2016.

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

