



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

DOUGLAS AURÉLIO CARVALHO COSTA

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO
CAMPUS DO PICI DA UFC**

FORTALEZA

2018

DOUGLAS AURÉLIO CARVALHO COSTA

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO
CAMPUS DO PICI DA UFC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Energias Renováveis em Sistemas de Potência.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C871e Costa, Douglas Aurélio Carvalho.
Estimativa do potencial de geração fotovoltaica do Campus do Pici da UFC / Douglas Aurélio Carvalho
Costa. – 2018.
151 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho.
Coorientação: Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante.
1. Geração Distribuída. 2. Sistemas Fotovoltaicos Integrados às Edificações. 3. Geração de Eletricidade. 4. Fator de Capacidade Fotovoltaico. I. Título.

CDD 621.3

DOUGLAS AURÉLIO CARVALHO COSTA

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DO
CAMPUS DO PICI DA UFC

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Energias Renováveis em Sistemas de Potência.

Aprovada em: 23 de Julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho à minha família e
junto a este meu amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, Crispim, por nunca baixar a cabeça em um momento de dificuldade e ser o grande exemplo de superação ao qual posso me inspirar.

Agradeço à minha mãe, Deusimar, por ser a grande conselheira da minha vida e por ser a pessoa que é o elo de fortalecimento da união de nossa família.

Agradeço minhas preciosas irmãs, Sayonara e Soraya, e minha querida prima, Pollyana, por fazerem parte da minha jornada, vida e essência.

Agradeço ao Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, meu orientador, que acreditou no projeto, dando-me toda a estrutura e condições possíveis para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Antônio Paulo de Hollanda Cavalcante, meu coorientador, pela paciência, ajuda e sugestões.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Aos professores participantes da banca examinadora, Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso e Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Agradeço à Prefeitura do Campus do Pici pelo fornecimento dos dados do consumo de eletricidade do Campus.

Agradeço aos meus amigos que fizeram parte desta formação ao longo destes dois anos no programa, principalmente à Ivonne, Fellipe, Obed e Jeandson.

Agradecer não é o suficiente para demonstrar a importância de cada uma destas pessoas, logo, por não ter como expressar esta gratidão, gentileza, carinho e afeto, apenas posso dizer que este trabalho possui a contribuição de todos que fizeram parte desta jornada, sendo, portanto, o nosso trabalho.

“A necessidade é a melhor mestra e guia da natureza. A necessidade é terna e inventora, o eterno freio e lei da natureza.”

(Leonardo da Vinci).

“Um livro é a prova de que os homens são capazes de fazer magia.”

(Carl Sagan)

RESUMO

A presente dissertação visou à estimativa do potencial de geração fotovoltaica (FV) no Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC). Foram avaliados dados coletados durante o período de um ano – setembro de 2016 a agosto de 2017 - de uma geração distribuída (GD) fotovoltaica (FV) conectada à rede de distribuição do Campus do Pici/UFC e da irradiação nas proximidades da GD FV. Foram traçados gráficos de dias representativos para cada mês no período amostral. A irradiação média ($I_{g_{mês\ m}}$), a geração de eletricidade média ($G_{mês\ m}$), fator de capacidade FV médio (FC_{med}) e eficiência FV (e_{FV}) anuais para a região em estudo foram de 5,21 kWh/m²/dia, 7,55 kWh/dia (0,7754 kWh/m²/dia), 20,98% e 14,94%, respectivamente. A equivalência na redução de CO_2 proporcionado pela GD FV (E_{CO_2}) no LEA no período estudado foi de 255,64 kg CO_2 /ano. A análise do potencial FV do Campus do Pici foi feito com enfoque nos tetos dos prédios do Centro de Tecnologia (CT-UFC), Centro de Ciências (CC-UFC), Centro de Ciências Agrárias (CCA-UFC), Instituto de Cultura e Arte (ICA-UFC), Restaurante Universitário (R.U-UFC) e Biblioteca Universitária (B.U-UFC), sendo estes separados em cinco “conjuntos” de áreas que têm o potencial de geração FV de 2,67 GWh/ano, 4,80 GWh/ano, 1,97 GWh/ano, 2,25 GWh/ano e 0,55 GWh/ano, respectivamente, totalizando um potencial FV de 12,25 GWh/ano, com capacidade instalada total de 6,67 MWp. Para o caso 1, custo da GD FV no Campus do Pici com base no Investimento do Instituto Federal do Ceará (IFCE), o investimento para implantação do sistema de GD FV (C_{FV}) é de R\$ 29.262.587,57. Para o Caso 2, custo da GD FV no Campus do Pici com base no Investimento no parque solar de Nova Olinda, Piauí, o investimento necessário é de R\$ 20.400.732,78. O valor da fatura para o Campus do Pici neste período foi de R\$ 8.330.313,61. O consumo de energia elétrica foi de 14,33 GWh, sendo 1,19 GWh consumidos no horário de ponta (HP) e 13,14 GWh consumidos no horário fora de ponta (HFP). A $G_{mês\ m}$ média anual do Campus do Pici é capaz de compensar R\$ 5.047.425,79 (93,29%) do valor do consumo de energia no HFP. O prazo de retorno do investimento da GD FV (PRI_{FV}) instalada no Campus do Pici é de quatro a seis anos.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Sistemas Fotovoltaicos Integrados às Edificações. Geração de Eletricidade. Fator de Capacidade Fotovoltaico.

ABSTRACT

The present dissertation aimed at estimating the photovoltaic (PV) generation potential at the Pici Campus of the Federal University of Ceará (UFC). Data collected during the period of one year - September 2016 to August 2017 - were evaluated on a photovoltaic (PV) distributed generation (DG) connected to the distribution network of the Pici Campus/UFC and the irradiation in the vicinity of the PV DG. Representative day charts were plotted for each month in the sample period. The annual average irradiance ($I_{g_{m\hat{e}s\ m}}$), average electricity generation ($G_{m\hat{e}s\ m}$), average PV capacity factor (FC_{med}) and PV efficiency (e_{FV}) for the study region were of 5.21 kWh/m²/day, 7.55 kWh/day (0.7754 kWh/m²/day), 20.98% and 14.94%, respectively. The equivalence in the reduction of CO₂ provided by the PV DG (E_{CO_2}) in the LEA in the period studied was 255.64 kgCO₂/year. The analysis of the PV potential of the Pici Campus was done with a focus on the ceilings of the buildings of the Technology Center (CT-UFC), Science Center (CC-UFC), Agricultural Science Center (CCA-UFC), Institute of Culture and Art/University Restaurant (ICA-UFC/RU-UFC) and University Library (BU-UFC), which are separated into five "sets" of areas that have a PV generation potential of 2.67 GWh/year, 4.80 GWh/year, 1.97 GWh/year, 2.25 GWh/year and 0.55 GWh/year respectively, totaling a PV potential of 12.25 GWh/year, with a total installed capacity of 6.67 MWp. For case 1, cost of PV DG in the Pici Campus based on the Investment of the Federal Institute of Ceara (IFCE), the investment for the implementation of the PV DG system (C_{FV}) is R \$ 29,262,587.57. For Case 2, cost of PV DG in the Pici Campus based on the Investment in the solar park of Nova Olinda, Piauí, the required investment is R \$ 20,400,732.78. The amount of the invoice for the Campus do Pici in this period was R \$ 8,330,313.61. The consumption of electric energy was 14.33 GWh, with 1.19 GWh consumed in peak time (HP) and 13.14 GWh consumed in the off-peak time HFP. The average $G_{m\hat{e}s\ m}$ of the Pici Campus is able to offset R \$ 5,047,425.79 (93.29%) of the value of energy consumption in the HFP. The return period of the PV DG (PR_{FV}) investment installed in the Pici Campus is from four to six years.

Keywords: Distributed Generation. Photovoltaic Systems Integrated to Buildings. Electricity Generation. Photovoltaic Capacity Factor.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil – 2016.	22
Figura 02 – Irradiação global média diária no Brasil.	24
Figura 03 – Modelo de uma GD FV instalada em uma residência.	30
Figura 04 – Publicações anuais no mundo relacionadas ao tema GD.	32
Figura 05 – Produção científica por países relacionada ao tema de GD entre 1997 e 2017.	32
Figura 06 – Publicações anuais no Brasil relacionadas ao tema GD.	33
Figura 07 – Produção científica por instituições brasileiras relacionadas ao tema de GD entre 1997 e 2017.	33
Figura 08 – Publicações anuais no mundo relacionadas ao tema GD FV conectada a rede.	35
Figura 09 – Produção científica por países relacionada ao tema de GD FV conectada a rede entre 2000 e 2017.	35
Figura 10 – Publicações anuais no Brasil relacionadas ao tema GD FV conectada a rede.	36
Figura 11 – Produção científica por instituições brasileira relacionada ao tema de GD FV conectada à rede, entre 2000 e 2017.	37
Figura 12 – Evolução da capacidade instalada anual FV mundial entre 2000 e 2016.	38
Figura 13 – Localização do LEA.	43
Figura 14 – GD FV instalada no LEA-UFC e conectada à rede do Campus	44
Figura 15 – Inversor PHB1500-SS	45
Figura 16 – Quadro de proteção da GD FV	46
Figura 17 – <i>Datalogger</i> instalado no LEA	47
Figura 18 – Fluxograma do sistema de aquisição de dados da GD FV instalada no LEA.	48
Figura 19 – CLP instalado no LEA.	49
Figura 20 – Sensores para aquisição de dados do ambiente: (a) piranômetro LP02 e (b) sensor de temperatura PT-100.	50
Figura 21 – Fluxograma da aquisição de dados ambientais que influenciam a GD FV.	50
Figura 22 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, setembro de 2016	60

Figura 23 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em setembro de 2016.	61
Figura 24 – Curvas do dia representativo de setembro (27/09/2016).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	61
Figura 25 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, outubro de 2016.	62
Figura 26 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em outubro de 2016.	63
Figura 27 – Curvas do dia representativo de outubro (14/10/2016).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	63
Figura 28 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, novembro de 2016.	64
Figura 29 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em novembro de 2016.	65
Figura 30 – Curvas do dia representativo de novembro (23/11/2016).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	65
Figura 31 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, dezembro de 2016.	66
Figura 32 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em dezembro de 2016.	67
Figura 33 – Curvas do dia representativo de dezembro (07/12/2016).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	68
Figura 34 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, janeiro de 2017.	69
Figura 35 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em janeiro de 2017.	69
Figura 36 – Curvas do dia representativo de janeiro (14/01/2017).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	70
Figura 37 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, fevereiro de 2017.	71
Figura 38 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em fevereiro de 2017.	71
Figura 39 – Curvas do dia representativo de fevereiro (14/02/2017).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	72
Figura 40 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, março de 2017.	73
Figura 41 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em março de 2017.	73
Figura 42 – Curvas do dia representativo de março (19/03/2017).	
(a) Potência FV (b) irradiância.	74
Figura 43 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, abril de 2018.	75
Figura 44 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em abril de 2018.	75
Figura 45 – Curvas do dia representativo de abril (09/04/2018).	
(a) Potência FV (b) irradiância.	76
Figura 46 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, maio de 2017-2018.	77
Figura 47 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em maio de 2017-2018.	77

Figura 48 – Curvas do dia representativo de maio (08/05/2018).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	78
Figura 49 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, junho de 2017.	79
Figura 50 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em junho de 2017.	79
Figura 51 – Curvas do dia representativo de junho (17/06/2017).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	80
Figura 52 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, julho de 2017.	81
Figura 53 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em julho de 2017.	81
Figura 54 – Curvas do dia representativo de julho (03/07/2017).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	82
Figura 55 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, agosto de 2017.	82
Figura 56 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em agosto de 2017.	83
Figura 57 – Curvas do dia representativo de agosto (10/08/2017).	
(a) Potência FV (b) Irradiância.	84
Figura 58 – $CVP_{m_{ig}}$ anual da irradiação no LEA-UFC.	85
Figura 59 – CVP_{m_G} anual da GD FV instalada no LEA-UFC.	86
Figura 60 – Comparação entre $CVP_{m_{ig}}$ e CVP_{m_G} anual.	87
Figura 61 – FC_{med} anual da GD FV instalada no LEA-UFC.	88
Figura 62 – Eletricidade gerada e Irradiação mensal da GD FV.	88
Figura 63 – e_{FV} da GD FV.	89
Figura 64 – Comportamento da e_{FV} e FC_{med} da GD FV no período em análise.	90
Figura 65 – Eletricidade gerada por kWh/m ² /dia pela GD FV e da irradiação por kWh/m ² /dia no período em análise.	91
Figura 66 – G_m e G_{GD} da GD FV no LEA de setembro de 2016 a agosto de 2017.	92
Figura 67 – G_{GD} em kWh/m ² /mês da GD FV no LEA de setembro de 2016 a agosto de 2017.	93
Figura 68 – Comportamento da E_{CO_2} de setembro de 2016 a agosto de 2017.	94
Figura 69 – Comportamento de $E_{carvão}$ e $E_{carvão-CO_2}$ em setembro de 2016 a agosto de 2017.	95
Figura 70 – Etapas para estimação do potencial FV do Campus do Pici.	96
Figura 71 – Vista aérea do CT-UFC.	98

Figura 72 – Área da cobertura do bloco 717 em 2D.	99
Figura 73 – Vista em 3D do bloco 717.	99
Figura 74 – Área da cobertura do bloco 707 em 2D.	100
Figura 75 – Vista em 3D do bloco 707.	100
Figura 76 – Fotografia em campo (a) e imagem registrada de satélite do bloco 713 (b).	101
Figura 77 – Área efetiva (a) e área útil do telhado do bloco 706 (b).	102
Figura 78 – Vista aérea do CC-UFC.	103
Figura 79 – Área da cobertura do bloco 906 em 2D.	105
Figura 80 – Vista em 3D do bloco 906.	105
Figura 81 – Bloco 906.	106
Figura 82 – Vista aérea das áreas úteis do CC-UFC.	106
Figura 83 – Vista aérea do CCA-UFC.	108
Figura 84 – Vista aérea das áreas úteis do CCA-UFC.	109
Figura 85 – Vista aérea do ICA-UFC e RU-UFC.	111
Figura 86 – Área da cobertura do ICA-UFC em 2D.	112
Figura 87 – ICA-UFC.	112
Figura 88 – Vista aérea do B.U-UFC.	113
Figura 89 – Área da cobertura da B.U-UFC em 2D.	114
Figura 90 – Gráfico da geração de eletricidade total do Campus do Pici no período em análise.	121
Figura 91 – Comportamento da E_{CO_2} de setembro de 2016 a agosto de 2017 para o Campus do Pici.	122
Figura 92 – Comportamento de $E_{carvão}$ e $E_{carvão-CO_2}$ em setembro de 2016 a agosto de 2017 para o Campus do Pici.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Parâmetros Elétricos nas condições de teste padrão do módulo YL250P-29b.	44
Tabela 02 – Principais características elétricas do inversor PHB1500-SS.	45
Tabela 03 – Dados técnicos da <i>Datalogger</i> .	48
Tabela 04 – Classificação dos dados amostrais com base no CVP_m .	54
Tabela 05 – Dados de Julho de 2016 da GD FV para um comparativo entre s_m e o CVP .	54
Tabela 06 – Dados de Irradiação global média diária no LEA-UFC.	60
Tabela 07 – Dados obtidos da GD FV instalada no LEA-UFC.	60
Tabela 08 – FC_{med} anual da GD FV instalada no LEA-UFC.	87
Tabela 09 – e_{FV} anual da GD FV instalada no LEA-UFC	89
Tabela 10 – Geração Prevista e Monitorada da GD FV no LEA de setembro de 2016 a agosto de 2017.	92
Tabela 11 – Redução de CO_2 proporcionado pela GD FV no período estudado.	93
Tabela 12 – Redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV considerando uma termelétrica com ciclo de Rankine.	94
Tabela 13 – Dados referentes ao estudo das edificações do CT-UFC.	103
Tabela 14 – Dados referentes ao estudo das edificações do CC-UFC.	107
Tabela 15 – Dados referentes ao estudo das edificações do CCA-UFC.	110
Tabela 16 – Dados referentes ao estudo do ICA-UFC e R.U-UFC.	113
Tabela 17 – Dados referentes ao estudo do B.U-UFC.	114
Tabela 18 – C_{FV} para implantação do sistema de GD FV no Campus do Pici com base no Investimento do Instituto Federal do Ceará.	116
Tabela 19 – C_{FV} para implantação do sistema de GD FV no Campus do Pici com base no Investimento no parque solar de Nova Olinda.	117
Tabela 20 – Detalhamento da conta de energia elétrica do Campus do Pici/UFC – setembro de 2016 a agosto de 2017.	118
Tabela 21 – Dados do consumo de energia elétrica do Campus do Pici no período em análise.	119
Tabela 22 – Dados com a compensação anual do consumo de energia do Campus do Pici.	120
Tabela 23 – Geração de eletricidade total do Campus do Pici.	120

Tabela 24 – Redução de CO_2 no Campus do Pici com as GD FV.	121
Tabela 25 – Redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV considerando uma termelétrica com ciclo de Rankine no Campus do Pici.	123
Tabela 26 – Retorno do investimento da GD FV no Campus do Pici	124
Tabela 27 – Dados coletados da GD FV e ambientais em setembro de 2016.	140
Tabela 28 – Dados coletados da GD FV e ambientais em outubro de 2016.	141
Tabela 29 – Dados coletados da GD FV e ambientais em novembro de 2016.	142
Tabela 30 – Dados coletados da GD FV e ambientais em dezembro de 2016.	143
Tabela 31 – Dados coletados da GD FV e ambientais em janeiro de 2017.	144
Tabela 32 – Dados coletados da GD FV e ambientais em fevereiro de 2017.	145
Tabela 33 – Dados coletados da GD FV e ambientais em março de 2017.	146
Tabela 34 – Dados coletados da GD FV e ambientais em abril de 2018.	147
Tabela 35 – Dados coletados da GD FV e ambientais em maio de 2017/2018.	148
Tabela 36 – Dados coletados da GD FV e ambientais em junho de 2017.	149
Tabela 37 – Dados coletados da GD FV e ambientais em julho de 2017.	150
Tabela 38 – Dados coletados da GD FV e ambientais em agosto de 2017.	151

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	Alta Tensão.
B.U	Biblioteca Universitária.
BT	Baixa Tensão.
CC	Centro de Ciências.
CCA	Centro de Ciências Agrárias.
CHESF	Companhia Hidrelétrica do Vale São Francisco
CLP	Controlador Lógico Programável.
CPU	<i>Central Processing Unit.</i>
CT	Centro de Tecnologia.
FV	Fotovoltaico.
GD	Geração Distribuída.
GE	<i>Google Earth.</i>
ICA	Instituto de Cultura e Arte.
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos.
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.
LEA	Laboratório de Energias Alternativas.
LED	Diodo Emissor de Luz.
MME	Ministério de Minas e Energia.
NEPAU	Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana.
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico.
PCH's	Pequenas Centrais Hidrelétricas.
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.
ProGD	Programa de Desenvolvimento da GD.
R.U	Restaurante Universitário.
UECE	Universidade Estadual do Ceará.
UFC	Universidade Federal do Ceará.
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido.
UNESP	Universidade Estadual Paulista.
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas.
USP	Universidade de São Paulo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Motivação	21
1.2	Apresentação da Justificativa do Tema	21
1.2.1	<i>Matriz de energia elétrica Brasileira</i>	22
1.2.2	<i>Aumento tarifário no Ceará</i>	23
1.2.3	Cenário favorável à GD FV	24
1.3	Objetivos	25
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i>	25
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	25
1.4	Metodologia	25
1.5	Estrutura da dissertação	26
2	ESTADO DA ARTE: A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	
	FOTOVOLTAICA	28
2.1	Geração Distribuída	28
2.1.1	<i>Desenvolvimento Normativo à Geração distribuída</i>	28
2.1.2	<i>Geração Distribuída Fotovoltaica</i>	30
2.2	Pesquisas Acadêmicas Envolvendo a GD e a GD FV conectada à rede elétrica	31
2.2.1	<i>Pesquisa com GD</i>	31
2.2.2	<i>Pesquisa com GD FV conectada a rede</i>	34
2.3	Desenvolvimento da GD FV	37
2.3.1	<i>No mundo</i>	37
2.3.2	<i>No Brasil</i>	39
2.3.3	<i>No Ceará</i>	41
3	MATERIAIS UTILIZADOS E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	43
3.1	Local de Trabalho	43
3.2	Sistema FV	44
3.2	Inversor	45
3.3	Proteção da GD FV	46
3.4	Sistemas de aquisição	46

<i>3.4.1 Sistema de aquisição de dados da GD FV</i>	47
<i>3.4.2 Sistema de aquisição de dados do ambiente que influenciam a GD FV</i>	49
<i>3.4.3 Base de tempo dos sistemas de aquisição de dados</i>	50
3.5 Formulação matemática	51
<i>3.5.1 Geração média diária mensal</i>	51
<i>3.5.2 Irradiação global média diária mensal</i>	51
<i>3.5.3 Fator de Capacidade médio FV</i>	52
<i>3.5.4 Geração prevista da GD FV</i>	52
<i>3.5.5 Geração Monitorada da GD FV</i>	52
<i>3.5.6 Eficiência da GD FV</i>	52
<i>3.5.7 Desvio-padrão amostral mensal</i>	53
<i>3.5.8 Coeficiente de variação de Pearson FV mensal</i>	53
<i>3.5.9 Desvio-padrão x Coeficiente de variação de Pearson</i>	54
<i>3.5.10 Índice de utilização das coberturas das edificações</i>	54
<i>3.5.11 Número de painéis FV</i>	55
<i>3.5.12 Potência FV instalada</i>	55
<i>3.5.13 Geração FV média mensal estimada</i>	55
<i>3.5.14 Geração FV média anual estimada</i>	56
<i>3.5.14 Equivalência da redução de CO2 com o uso da GD FV</i>	56
<i>3.5.15 Equivalência da redução de carvão usado em termelétrica com o uso da GD FV</i>	56
<i>3.5.16 Equivalência de CO2 em carvão em termelétricas</i>	57
<i>3.5.17 Custo do Investimento da GD FV</i>	57
<i>3.5.18 Prazo de Retorno do Investimento da GD FV</i>	57
4 ANÁLISE DA PERFORMANCE DA GD FV INSTALADA NO LEA-UFC	58
4.1 Análise da GD FV instalada no LEA	58
<i>4.1.1 Visão geral dos dados</i>	58
<i>4.1.2 Setembro de 2016</i>	60
<i>4.1.3 Outubro de 2016</i>	62
<i>4.1.4 Novembro de 2016</i>	64
<i>4.1.5 Dezembro de 2016</i>	66

4.1.6	<i>Janeiro de 2017</i>	68
4.1.7	<i>Fevereiro de 2017</i>	70
4.1.8	<i>Março de 2017</i>	72
4.1.9	<i>Abril de 2018</i>	74
4.1.10	<i>Mai de 2017-2018</i>	76
4.1.11	<i>Junho de 2017</i>	78
4.1.12	<i>Julho de 2017</i>	80
4.1.13	<i>Agosto de 2017</i>	82
4.2	Característica do coeficiente de variação de Pearson da irradiação	84
4.3	Característica do coeficiente de variação de Pearson da GD FV	85
4.4	Comparação entre coeficiente de variação de Pearson da irradiação e o coeficiente de variação de Pearson GD FV	86
4.5	Característica do fator de capacidade médio da GD FV	87
4.6	Eficiência da GD FV instalada no LEA	88
4.7	Relação entre FC_{med} FV e e_{FV}	90
4.8	Comportamento da eletricidade gerada por m ² pela GD FV e da Irradiação por m ² no período em análise	90
4.9	Geração monitorada e prevista	91
4.10	Equivalência na Redução de CO_2 proporcionado pela GD FV instalada no LEA	93
4.11	Equivalência na redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV instalada no LEA considerando uma equivalência com uma termelétrica com ciclo de Rankine	94
5	POTENCIAL PARA INSTALAÇÃO DA GD FV NO CAMPUS DO PICI DA UFC	96
5.1	Procedimentos	96
5.2	Caracterização do Campus do Pici	97
5.3	CT-UFC	97
5.4	CC-UFC	103
5.5	CCA-UFC	108
5.6	ICA-UFC e RU-UFC	110
5.7	B.U-UFC	113

5.8	Investimento do sistema de GD FV no Campus do Pici	115
5.8.1	<i>Caso 1: Custo de Investimento da GD FV no Campus do Pici com base no Investimento do Instituto Federal do Ceará</i>	115
5.8.2	<i>Caso 2: Custo de Investimento da GD FV no Campus do Pici com base no Investimento no Parque Solar de Nova Olinda, Piauí</i>	116
5.9	Redução na conta de energia elétrica do Campus do Pici	116
5.9.1	<i>Detalhamento da conta de energia do Campus do Pici no período em análise</i>	117
5.9.2	<i>Redução da conta de energia elétrica no Campus do Pici com GD FV</i>	119
5.10	Equivalência da redução de CO_2 proporcionado pela GD FV no Campus do Pici	121
5.11	Equivalência da redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV no Campus do Pici considerando uma comparação com uma termelétrica com ciclo de Rankine	122
5.12	PRI_{FV} no Campus do Pici	124
6	CONCLUSÕES	125
	TRABALHOS FUTUROS	129
	ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO	130
	RESUMOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS DE PÓS-GRADUAÇÃO	131
	ARTIGOS SUBMETIDOS, EM AVALIAÇÃO E ACEITOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO	132
	REFERÊNCIAS	133
	APÊNDICE A – DADOS COLETADOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA E DADOS AMBIENTAIS	140

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A presente dissertação foi desenvolvida a partir da perspectiva da diversificação e descentralização da geração da energia elétrica no Campus do Pici, buscando a produção e consumo de eletricidade de forma a manter a sustentabilidade financeira, social e ambiental. Nos últimos anos têm ocorrido no país constantes aumentos nas tarifas de energia elétrica, que foram ocasionados pelo uso intenso das termelétricas quando as hidrelétricas se encontram com os reservatórios em nível baixo, devido à escassez de chuvas. Outra motivação foi a criação, em 2012, da Resolução Normativa nº 482 que caracteriza a conexão de sistemas fotovoltaicos (FV) à rede elétrica de distribuição de energia elétrica, incentivando-se, desta forma, a geração distribuída (GD), sendo que esta resolução foi atualizada pela Resolução Normativa nº 687/2015, visando a expansão da GD.

1.2 Apresentação da Justificativa do Tema

A presente proposta de dissertação tem uma relação de estudo e expansão do uso das fontes alternativas de energia, com foco na geração FV, atrelando-se com a missão, visão e valores do Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O Brasil almeja diversificar e descentralizar suas de fontes de energia elétrica, pois a maior parte do potencial hidrelétrico brasileiro já se encontra em uso, sendo lançado em Dezembro de 2015 pelo MME (Ministério de Minas e Energia) o ProGD (Programa de Desenvolvimento da GD), tendo ênfase na energia solar. O citado programa busca ampliar o uso de GD no país. O ProGD prevê projeto específico de instalação de sistemas de GD FV em Universidades Federais (MME, 2015).

As bases que justificam e motivam a presente dissertação são apresentadas mais detalhadas a seguir, em que encontramos uma matriz energética brasileira centralizada e pouco diversificada, que quando tem sua principal fonte de energia elétrica comprometida – principalmente pela escassez das chuvas – tende a afetar o consumidor com o aumento das tarifas de energia, além do cenário propício aos sistemas de GD FV devido à alta irradiação no país e baixas emissões de CO_2 por esta tecnologia.

1.2.1 Matriz de energia elétrica Brasileira

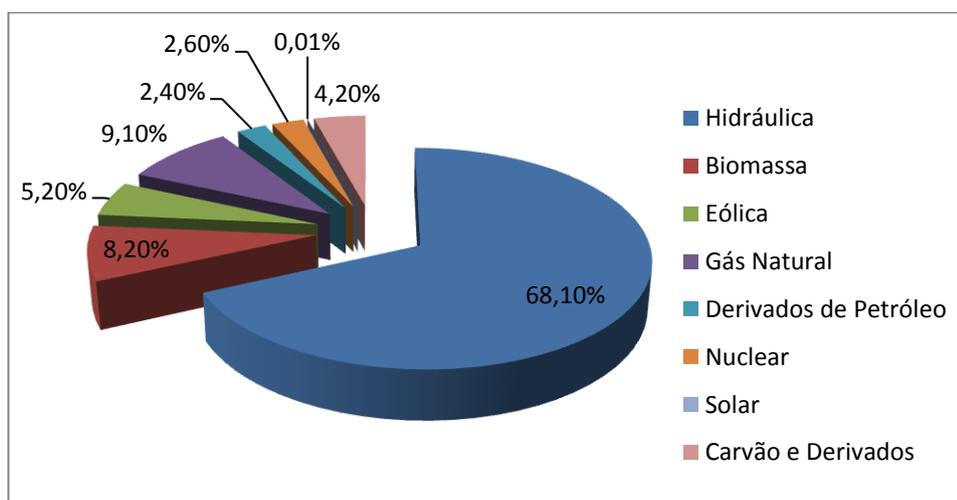
A matriz elétrica brasileira, apesar de ser predominantemente renovável, é centralizada e não diversificada, sendo composta por grandes centrais hidrelétricas, que no ano de 2016 foram responsáveis por 68,1% da geração de energia elétrica no país, tendo as fontes renováveis participado com 81,7% (EPE, 2017), vale ressaltar que no Brasil, apesar da fonte hídrica ser renovável, esta não é considerada uma fonte alternativa, visto que a fonte hídrica é a principal fonte de energia elétrica brasileira.

A geração eólioeleétrica foi de 33.489 GWh em 2016, tendo aumentado 54,9% em relação a 2015 e sendo a maior expansão percentual de potência instalada para a geração com 33% de aumento (EPE, 2017).

A geração FV, em 2016, foi de 85 GWh, ainda que tenha representado neste ano apenas 0,01% da oferta interna da geração de energia elétrica do país, esta geração vem aumentando significativamente desde 2012, quando foi lançado a Resolução Normativa nº 482, que forneceu as bases para a GD FV, tendo aumentado 42.500% em 2016 em relação a 2012. Para uma comparação mais recente pode-se afirmar que aumentou 44,07% em 2016 quando comparado com 2015 (EPE, 2017).

Na Figura 1 é mostrada a oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil em 2016, em que o gás natural foi a segunda maior fonte com 9,1%, ficando atrás apenas da fonte hidráulica, vindo logo em seguida a biomassa com 8,2% e a fonte eólica com 5,2%. A fonte nuclear, derivados de petróleo e carvão e derivados ficaram com 2,6%, 2,4% e 4,2%, respectivamente.

Figura 01 – Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil - 2016.



Fonte: EPE, 2017

1.2.2 Aumento tarifário no Ceará

Nos últimos anos a América Latina experimentou uma alta desvalorização das moedas regionais, causando inflação e, assim, aumentos nas tarifas de energia elétrica nestes países, logo os sistemas de GD FV tem a paridade do investimento acelerada (CADAVID, FRANCO; 2017).

A escassez das chuvas também tem ocasionado o aumento das tarifas de energia elétrica, pois com o baixo volume nos reservatórios das hidrelétricas as termelétricas operaram intensamente, sendo esta uma forma de geração de energia elétrica mais onerosa que tem a diferença de preço repassada ao consumidor. Por isto nos últimos anos a conta de energia elétrica para o consumidor tem crescido significativamente.

Em 2014 o aumento na tarifa de energia elétrica no Ceará foi de 17,02% para os consumidores de baixa tensão (BT), que abrangem os consumidores residenciais e de 16,16% para os consumidores em alta tensão (AT), que abrangem indústrias e comércios de grande porte (DN, 2014).

O ano de 2015 foi marcado para o consumidor cearense pelos quatro aumentos na tarifa de energia elétrica, totalizando neste ano um aumento médio do insumo de 40,16%, sendo 31,99% para BT e 60,82% para AT (OPOVO, 2015), além de ter ocorrido em janeiro de 2015 a criação das bandeiras tarifárias, em que se aplica uma cobrança extra na taxa de energia elétrica, tendo os 12 meses de 2015 um aumento por esta taxa extra (G1, 2016).

O aumento da tarifa, em 2016, para os consumidores cearenses foi de 13,64% para BT e 11,51% para AT (ANNEL, 2016), ainda sendo aplicado, durante 5 meses de 2016, uma taxa extra na conta de energia de acordo com as bandeiras tarifárias (G1, 2016).

Em 2017 houve um pequeno reajuste na tarifa de energia elétrica, sendo de 1,44% para os consumidores de AT e -0,39% para os consumidores de BT (SESI, 2017), sendo esta a primeira diminuição aparente da conta de energia, porém esta diminuição irrisória foi apenas aparente, pois neste mesmo ano a bandeira vermelha patamar 2 aumentava em 42,8%, estando a tarifa de energia dos cearenses sujeita a aumentos que impactam a conta em até 10% (OPOVO, 2017).

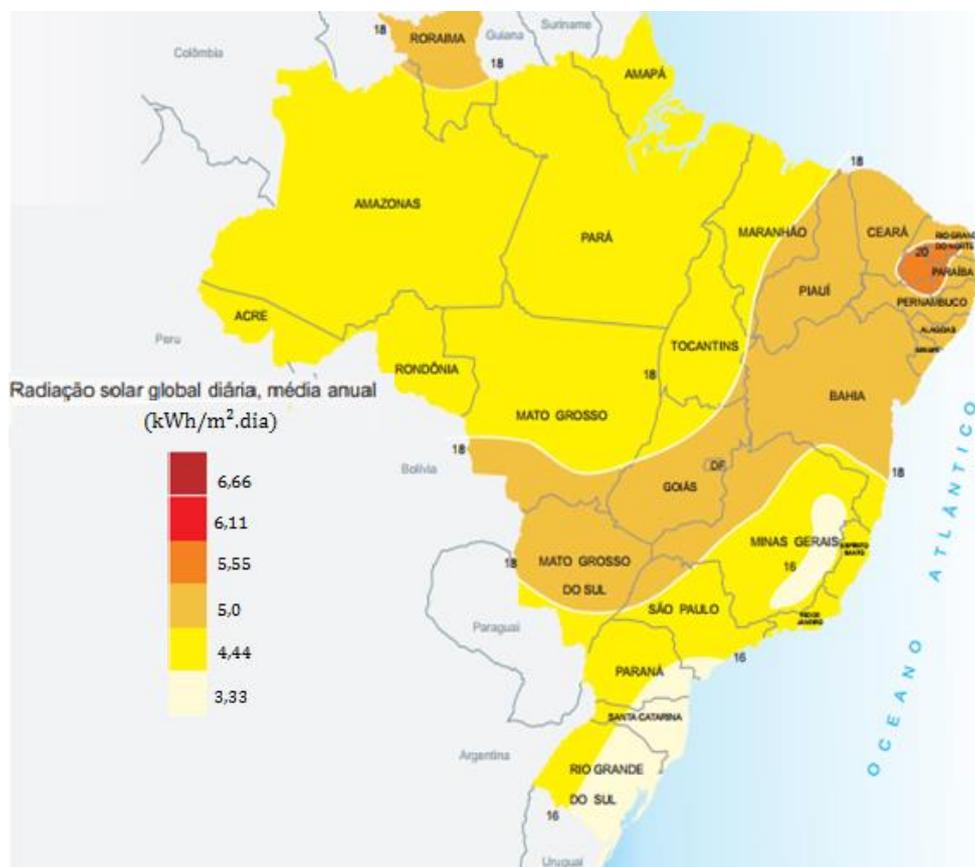
1.2.3 Cenário favorável à GD FV

A necessidade por novas fontes de energia elétrica faz com que as potencialidades regionais sejam aproveitadas, configurando mudanças do modelo de geração, que tendem a buscar a descentralização e a diversificação da matriz de energia elétrica brasileira. Os incentivos econômicos, redução de custos e a rapidez no desenvolvimento tecnológico permitem o uso de plantas fotovoltaicas ligadas à rede de energia elétrica de maneira simples, eficiente e rentável (LIMA, FERREIRA e MORAIS; 2017).

No Brasil, particularmente no Nordeste e mais especificamente no Ceará, a exploração da irradiação solar incidente, seja esta de forma direta ou indireta, como fonte renovável de energia, encontra-se em ótimas condições durante todo o ano (ADECE, 2011).

A irradiação global média diária no Brasil, mostrada na Figura 2, varia de 12 MJ/m² (3,33 kWh/m²) para regiões localizadas ao Sul e Sudeste do país até 20 MJ/m² (5,55 kWh/m²) para o interior do Nordeste (Cresesb, 2000).

Figura 02 - Irradiação global média diária no Brasil



Fonte: Cresesb, 2000.

A região nordeste apresenta os melhores valores de irradiação global média diária do país, com média diária de 18 MJ/m², que equivale a 5 kWh/m², portanto, tendo-se uma capacidade de geração anual de 1,825 MW/m², estando o Ceará incluso nesta média citada (PARENTE, 2016).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Devido ao alto consumo de energia elétrica na Universidade Federal do Ceará (UFC), além dos fatores climáticos favoráveis ao uso da GD FV, a presente dissertação visa analisar a produção de eletricidade de plantas FV conectadas à rede elétrica no Campus do Pici, aplicadas às edificações existentes, propondo locais adequados para a GD FV.

1.3.2 Objetivos Específicos

Coletar dados de uma planta GD FV instalada no LEA – UFC.

Calcular parâmetros relativos ao desempenho elétrico de uma planta FV conectada à rede elétrica do Campus do Pici.

Identificar edificações no Campus do Pici como potenciais para instalação de plantas FV, através de um sistema de informações geográficas.

Determinar índices de sombreamento e barreiras limitantes para um uso de plantas FV em edificações no Campus do Pici.

Estimar a geração de eletricidade de plantas FV em edificações no Campus do Pici.

Estimar o custo para implantação do sistema de GD FV no Campus e estimar o prazo de retorno do investimento.

1.4 Metodologia

A metodologia está dividida em seis partes, que não necessariamente são capítulos deste trabalho, mas que são partes essenciais desta dissertação.

1. Aquisição e Tratamento de Dados de uma GD FV;

Coleta, durante o período de um ano, de dados de irradiação solar e de produção de eletricidade de uma GD FV conectada à rede elétrica do Campus do Pici no LEA – UFC e cálculo dos parâmetros estatísticos relativos ao desempenho elétrico da planta.

2. Caracterização de edificações do Campus do Pici;

Caracterização de edificações no Campus do Pici potenciais para instalação de plantas FV.

3. Análise de Áreas Potenciais Efetivas;

Levantamento das áreas das coberturas das edificações do Campus do Pici, através de fotos e usando-se o Google Earth, visando uma base de informações.

4. Determinação de Fatores Locais que influenciam o Projeto;

Os principais fatores a serem abordados são o sombreamento que ocorre nas áreas efetivas e o espaçamento entre grupos de placas FV para fins de manutenção e instalação.

5. Estimativa do potencial de geração FV do Campus do Pici;

Estimativa do potencial FV do Campus do Pici, usando-se como referência dados coletados da GD FV instalada no LEA – UFC. Cálculo estimado do custo de implantação do sistema de GD FV no Campus e cálculo do prazo de retorno do investimento.

6. Análise da redução da Conta de energia elétrica do Campus do Pici

Determinação de quanto da demanda do Campus do Pici pode ser compensada, em termos percentuais, por plantas de GD FV e o nível de redução na conta de energia elétrica do Campus.

1.5 Estrutura da dissertação

Na introdução são apresentados a motivação da dissertação, objetivos gerais e específicos que se visa alcançar a metodologia utilizada e a estruturação dos demais capítulos.

No capítulo 2 é apresentado o conceito de geração distribuída e estudos que seguem esta tendência no exterior, Brasil e Ceará.

No capítulo 3 é descrito o LEA - UFC, local em que as pesquisas e aquisição de dados ocorrem, assim como todos os equipamentos necessários para a pesquisa. Neste capítulo também são descritas as formulações matemáticas, essenciais para entendimento de como os dados coletados são trabalhados.

No capítulo 4 é analisado o desempenho da GF FV instalada no LEA - UFC, através dos dados coletados da planta FV e dados meteorológicos, a fim de entender o comportamento deste tipo de planta no Campus do Pici/UFC, Fortaleza-CE.

No capítulo 5 é feita a análise das áreas potenciais efetivas nas coberturas das edificações do Campus do Pici, para identificar quais locais a GD FV pode ser alocada, sendo considerado o sombreamento que cada prédio possa receber por fatores externos ou da própria edificação, estimando-se o potencial FV e do valor que pode ser compensado da tarifa de energia elétrica do Campus Universitário.

No capítulo 6 são feitas as considerações finais do trabalho, com os resultados obtidos, em seguida sendo mostradas sugestões para futuros trabalhos envolvendo o tema desta dissertação e também são mostrados trabalhos desenvolvidos pelo discente durante o período de duração do programa de pós-graduação.

2 ESTADO DA ARTE: A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

Neste capítulo são mostrados conceito e aspectos da GD FV, assim como as normas que regem este tipo de geração de energia elétrica no Brasil, também são mostrados avanços de trabalhos com instalações de GD FV no mundo, no Brasil e no Ceará.

2.1 Geração Distribuída

A GD, segundo a Enel (2016), pode ser definida como uma central geradora de energia elétrica, de qualquer potência, conectada diretamente no sistema elétrico de distribuição ou na instalação de consumidor, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachada – ou não – pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Simplificando, a GD é o termo que se refere à geração de energia elétrica próxima ao consumidor, tendo, portanto, caráter descentralizado. As GD's podem abranger:

- Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's);
- Painéis FV;
- Grupos Geradores que atuam em horário de ponta;
- Co-geradores;
- Geradores de emergência.
- Outras fontes alternativas de energia;

É importante salientar que a GD também inclui equipamentos destinados a controle, comando e medidas, pois estes equipamentos objetivam o bom funcionamento da GD junto à rede a qual será ligada, assim, podendo-se operar a GD e controlar a carga - ligamento e desligamento da GD.

2.1.1 Desenvolvimento Normativo à Geração distribuída

Em 2004, teve um avanço ao incentivo do uso de GD quando a Lei 10.848/04, que dispões da comercialização de energia elétrica, citou-a como uma possível fonte de geração de energia elétrica (INEE, 2018).

Neste mesmo ano foi lançado o Decreto 5.163/04, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, processo de outorga de concessões e autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Este decreto forneceu as

características que ajudaram as empresas distribuidoras de energia elétrica, que até então se opunham a esta forma de geração, a enxergarem na GD uma das formas de mitigar riscos de planejamento (INEE, 2018).

Em 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa N° 482/2012, que estabeleceu para o consumidor as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, através de um sistema de compensação de energia (ANEEL, 2012).

O sistema de compensação barateou o custo dos sistemas de GD, tornando-os mais atrativos ao consumidor, porque dispensa o uso de baterias e sistemas de armazenamentos de energia, pois a energia gerada é cedida à distribuidora local na forma de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012).

A Resolução Normativa N° 687/2015, foi lançada em 2015, a fim de alterar a Resolução Normativa N° 482/2012, ampliando desta forma o público beneficiado pelas resoluções, assim como melhorar as informações na fatura de energia elétrica. Os benefícios mais significativos com esta alteração são: autoconsumo remoto, redução significativa na espera da conexão da GD à rede elétrica de distribuição, geração compartilhada e geração em condomínios (ANEEL, 2015).

No Ceará a Norma Técnica N° 10/2016 rege a conexão da microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Sendo considerada a microgeração uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada até 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ENEL, 2016). A minigeração é considerada uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada maior que 75 kW e até 3 MW para fontes hídricas ou até 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (Enel, 2016).

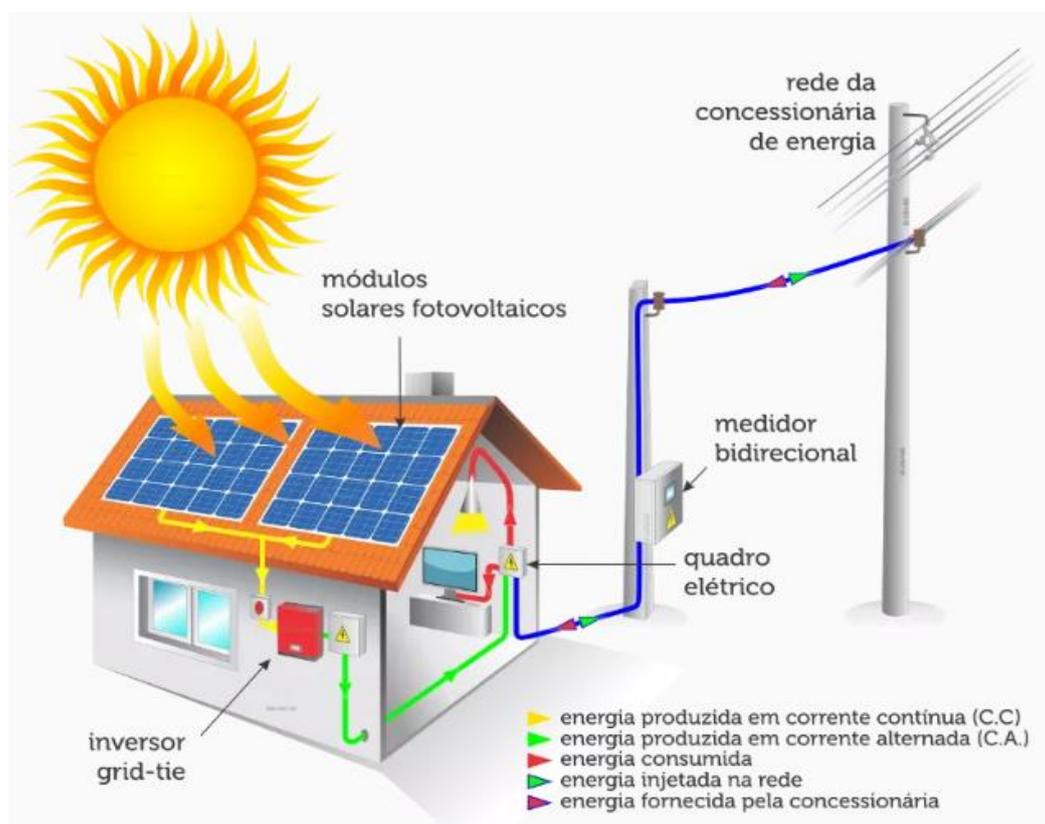
2.1.2 Geração Distribuída Fotovoltaica

Quando a GD é implantada com painéis FV, esta é denominada de GD FV, sendo, atualmente a forma de GD que mais cresce no mundo e mais recomendada para centros urbanos.

Na Figura 3 é elucidado, de acordo com a Resolução Normativa N° 482/2012, como a GD FV instalada em uma residência pode se conectar à rede de distribuição e suprir as necessidades de energia elétrica desta residência, total ou parcialmente, através do sistema de compensação de energia.

A energia solar captada pelos painéis FV é transformada em energia elétrica em corrente contínua; o inversor transforma a energia em corrente contínua em corrente alternada, sendo esta enviada à rede de distribuição por meio de um empréstimo gratuito. A distribuidora local continua a fornecer energia à edificação, porém a energia fornecida e recebida pela distribuidora de energia elétrica é medida por um medidor bidirecional; através da leitura deste medidor é feita a compensação de energia elétrica, podendo haver créditos da energia gerada excedente pela residência por até 60 (sessenta) meses.

Figura 03 – Modelo de uma GD FV instalada em uma residência.



Fonte: Sevenia, 2018.

2.2 Pesquisas Acadêmicas Envolvendo a GD e a GD FV conectada à rede elétrica

Pesquisas acadêmicas estão sendo desenvolvidas e publicadas com o intuito de promover a expansão da GD e da GD FV, a fim de melhorar as condições de seu uso, além da busca diária pela inovação neste setor de estudo, assim, buscando a melhoria e aumento de confiabilidade no fornecimento de energia elétrica.

A base de dados utilizada é o Scopus, base de dados de resumos e citações de literatura científica, cuja indexa 36.377 títulos - 22.794 ativos e 13.583 inativos – de mais de 11 mil editoras internacionais.

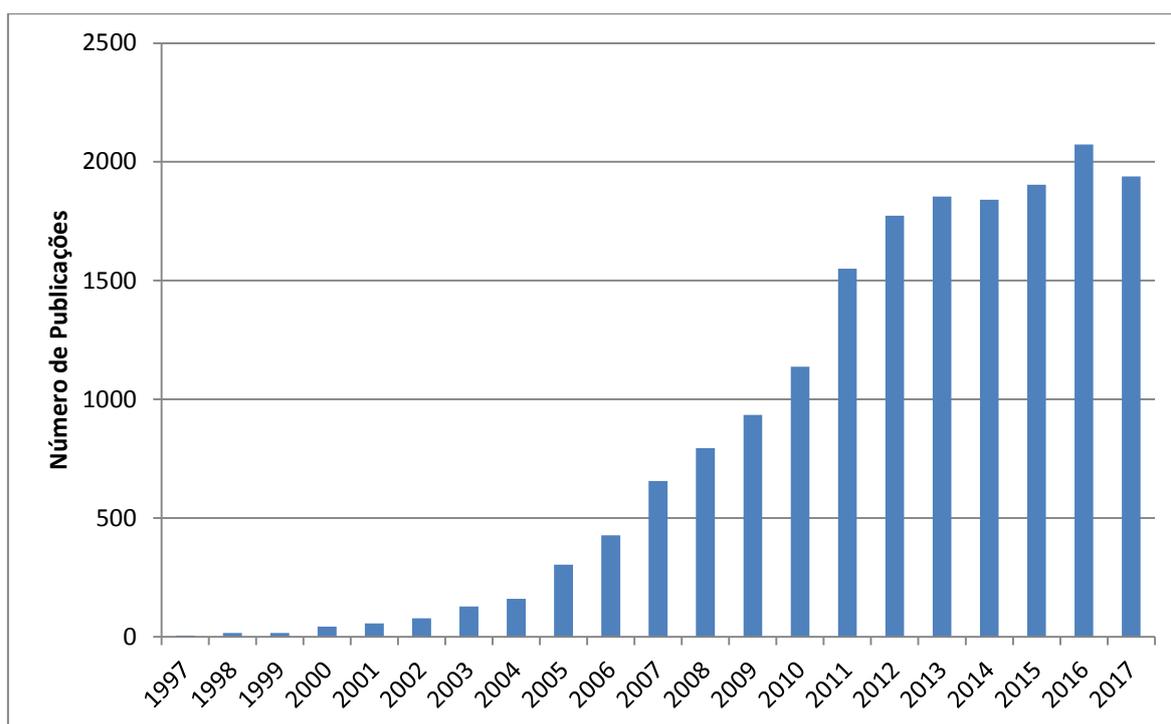
Realizando uma busca em inglês das palavras chaves “Distributed Generation” e “Grid Connected Photovoltaic Distributed Generation” no Scopus foi possível se ter uma visão detalhada das publicações no mundo, no Brasil e no Ceará nos últimos anos.

2.2.1 Pesquisa com GD

Na Figura 4 é mostrado o número de publicações anuais no mundo sobre a GD durante o período de 1997 a 2017. Foram realizadas 17683 publicações neste período de 21 anos. As pesquisas tiveram um aumento gradativo ao longo dos anos até o ano de 2012, quando as pesquisas tiveram uma variação pouco significativa em relação ao número de publicações, tendo-se alcançado um pico na quantidade de publicações no ano de 2016.

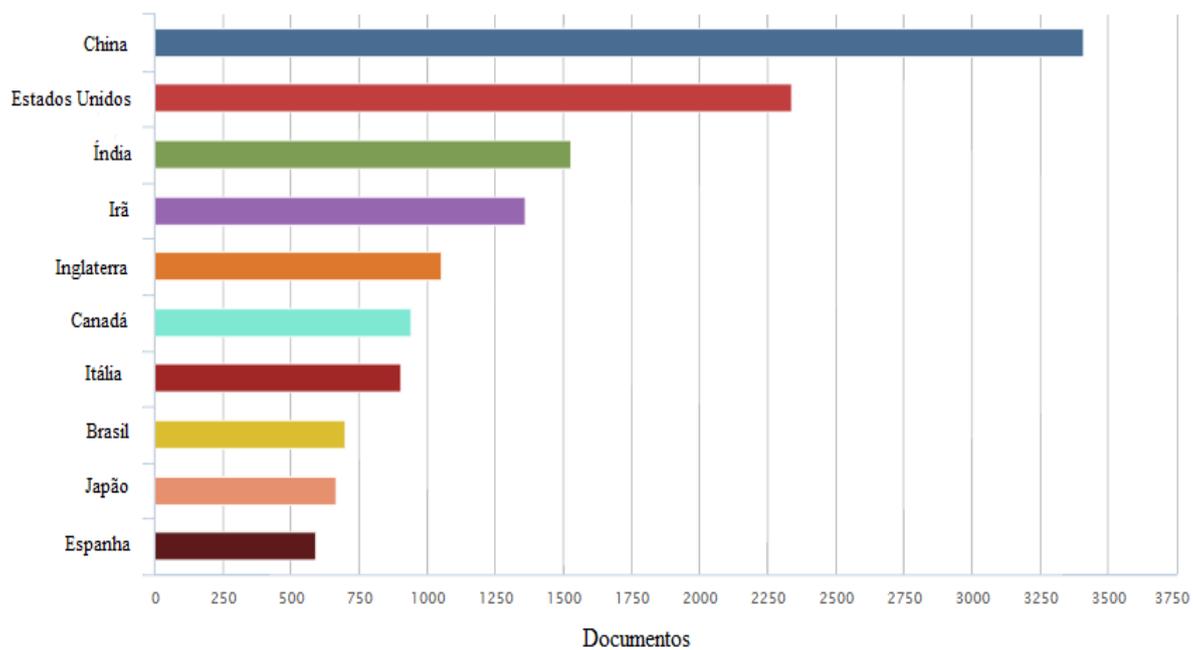
Os países que tiveram maior número de publicações com o tema, entre 1997 e 2017, estão mostrados na Figura 5. A China lidera o ranque com 3412 publicações, seguida pelos Estados Unidos e Índia, com 2340 e 1529 publicações, respectivamente. O Brasil está em oitavo lugar, tendo 697 publicações neste período. O Brasil ainda está muito atrás na área de pesquisas neste tema em relação à China, Estados Unidos e Índia, refletindo-se, assim, na discrepância desta quantidade de publicações.

Figura 04 – Publicações anuais no mundo relacionadas ao tema GD.



Fonte: Adaptado do Scopus.

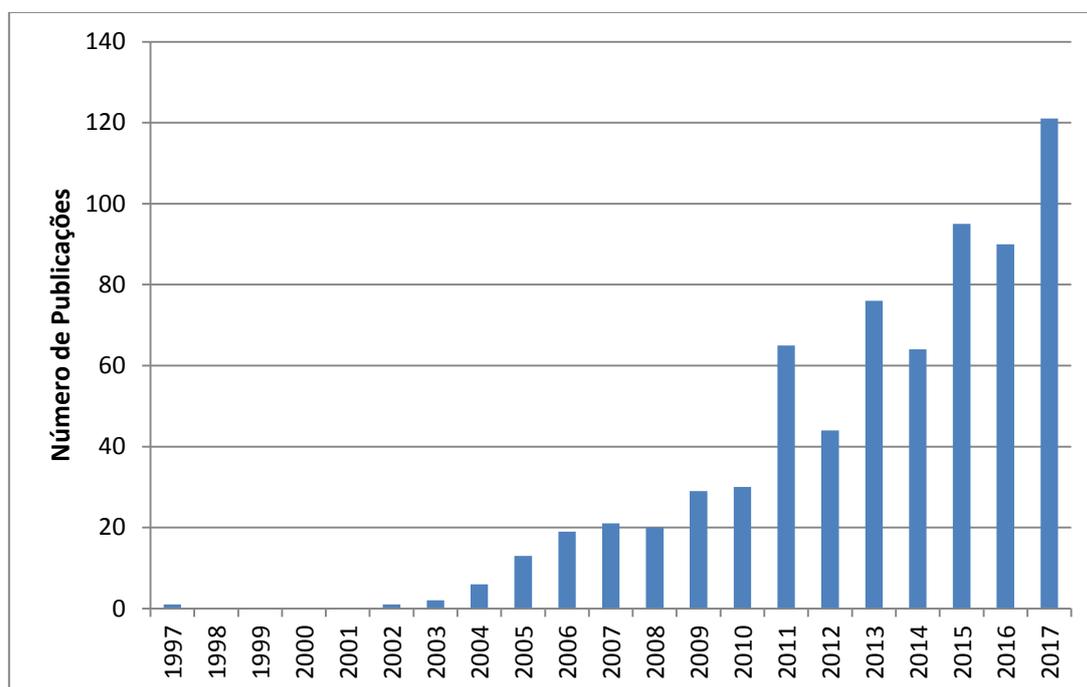
Figura 05 - Produção científica por países relacionada ao tema de GD entre 1997 e 2017.



Fonte: Adaptado do Scopus.

No Brasil, dois aumentos expressivos nos números de publicações com o tema GD podem ser notados. O primeiro aumento expressivo das quantidades de publicações ocorreu em 2011, um ano antes de ser lançada a Resolução Normativa 482/2012, quando as bases para esta norma e o incentivo a este tipo de geração estavam sendo consolidados no país. O segundo aumento ocorreu em 2017, após o lançamento da Resolução Normativa 687/2015, que ampliou o acesso à GD. Na Figura 06 é mostrada a distribuição das 697 publicações do Brasil ao longo dos anos.

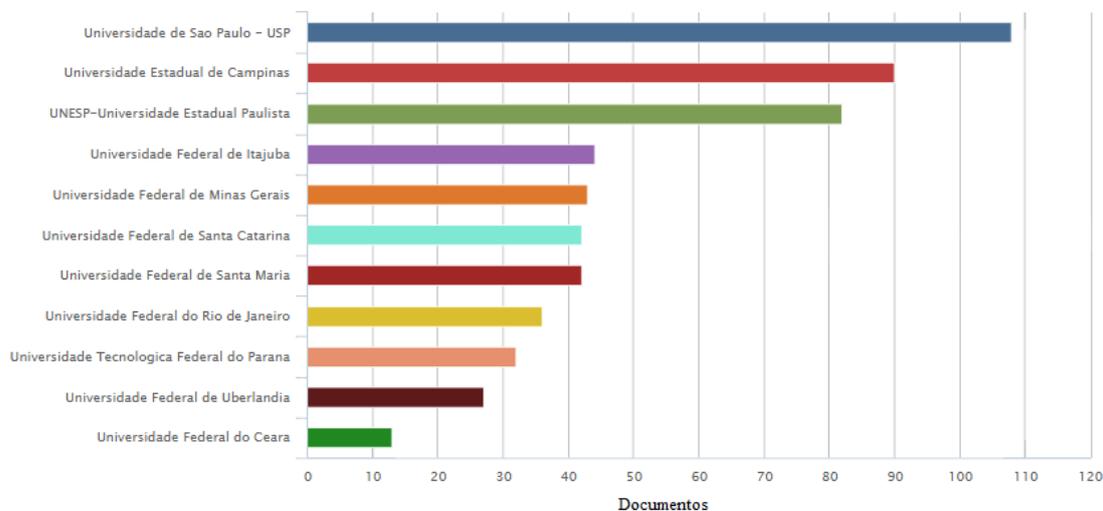
Figura 06 – Publicações anuais no Brasil relacionadas ao tema GD.



Fonte: Adaptado do Scopus.

As instituições brasileiras que mais contribuíram com a pesquisa relacionada à GD são mostradas na Figura 7. As três primeiras colocações no ranque são ocupadas por universidades paulistas, sendo que suas hegemonias neste setor de publicação estão longe de serem ameaçadas pelas posições subsequentes; Universidade de São Paulo (USP) lidera o ranque com 108 publicações, seguidas pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Universidade Estadual Paulista (UNESP), com 90 e 82 publicações, respectivamente. A Universidade Federal do Ceará ocupa a vigésima posição entre as instituições brasileiras, tendo feito treze publicações relacionadas ao tema GD neste período.

Figura 07 - Produção científica por instituições brasileiras relacionadas ao tema de GD entre 1997 e 2017.



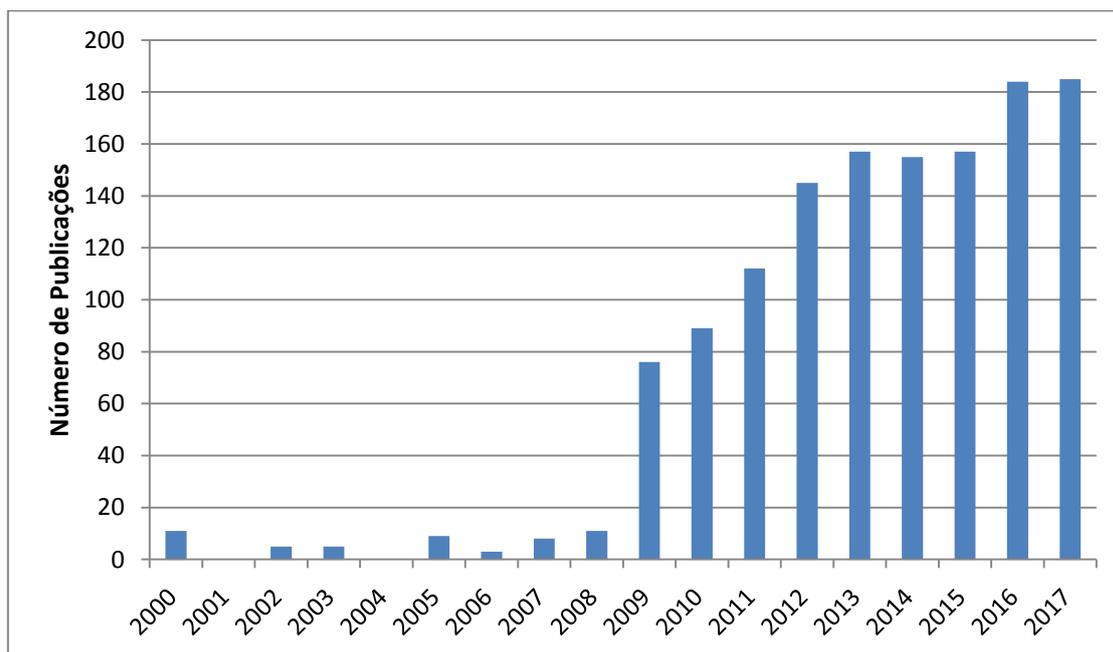
Fonte: Adaptado do Scopus.

2.2.2 Pesquisa com GD FV conectada a rede

Na Figura 8 é mostrado o número de publicações anuais no mundo sobre a GD FV conectada a rede durante o período de 2000, ano em que se têm as primeiras referências no Scopus sobre este tema, a 2017. Foram realizadas 1312 publicações neste período de 18 anos, pois sendo este um tema mais restrito da GD, correspondem apenas 7,42% de suas publicações. A partir de 2009 as pesquisas tiveram um aumento significativo, pois houve, no mundo, maiores incentivos e melhoria das condições para inserção da GD FV na matriz de energia elétrica mundial.

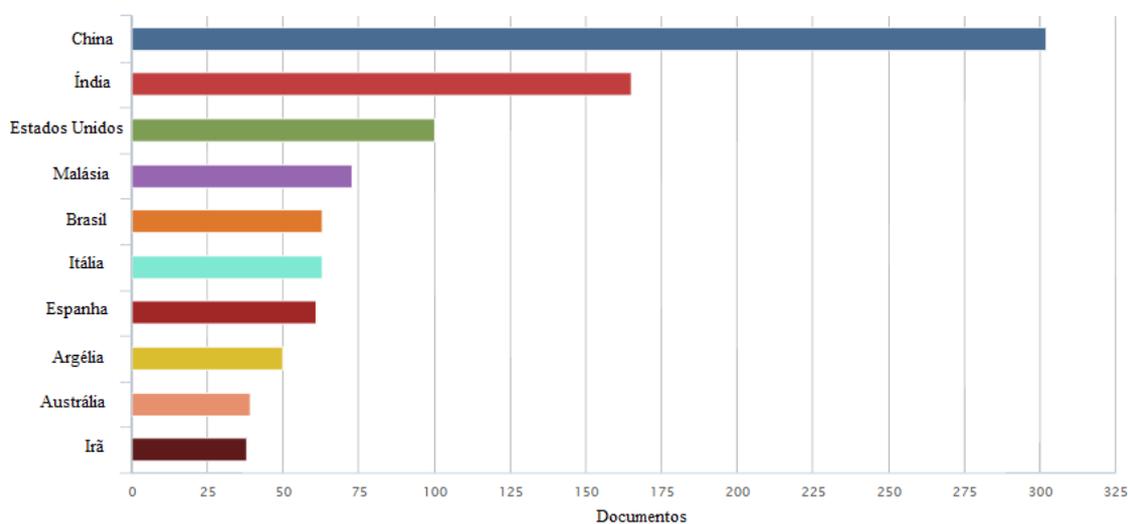
Os países que tiveram maior número de publicações com o tema GD FV conectadas a rede, entre 2000 e 2017, estão mostrados na Figura 9. A China lidera o ranque com 302 publicações, seguida pela Índia, Estados Unidos e Malásia, com 165, 100 e 73 publicações, respectivamente. O Brasil e a Itália estão empatados em quinto lugar, tendo cada um 62 publicações, isto mostra que o Brasil, apesar de ter poucas publicações quando comparado com China e Índia, consegue estar em um padrão de excelência na produção científica e à frente de muitos países desenvolvidos em relação a este tema, sendo, portanto, uma posição de destaque mundial.

Figura 08 – Publicações anuais no mundo relacionadas ao tema GD FV conectada à rede.



Fonte: Adaptado do Scopus.

Figura 09 – Produção científica por países relacionada ao tema de GD FV conectada a rede entre 2000 e 2017.

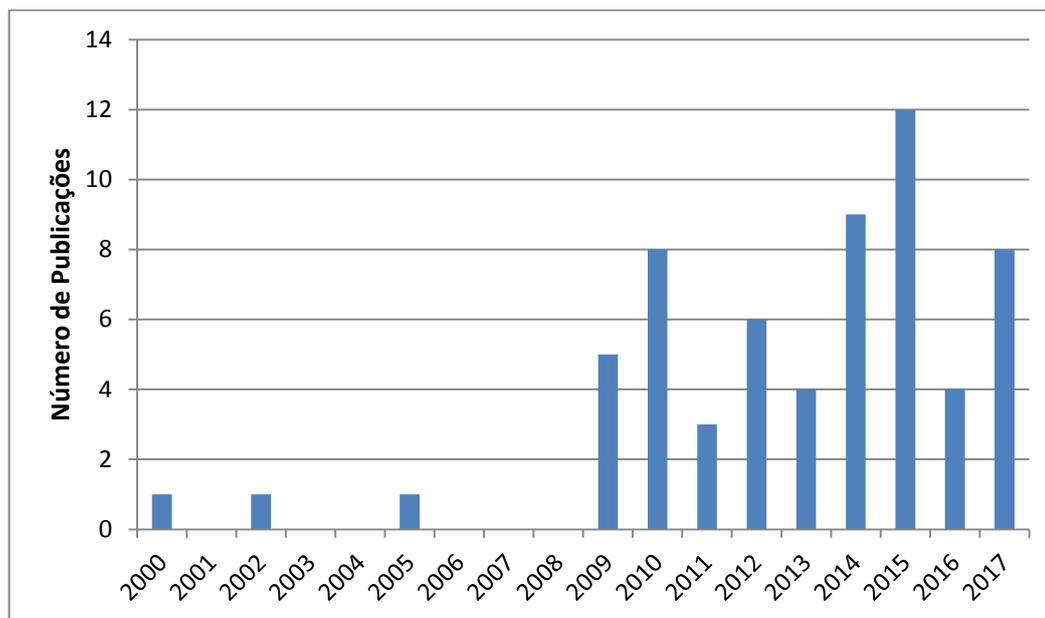


Fonte: Adaptado do Scopus.

No Brasil, entre 2000 e 2008, era publicado, no máximo, um artigo relacionado à GD FV conectada à rede por ano. Em 2009, o número de publicações aumentou consideravelmente, pois as instituições brasileiras, já sabendo desta crescente tendência mundial, buscavam criar a base desta tecnologia e trazê-la à realidade

brasileira. O pico de publicações ocorreu em 2015, sendo lançada em novembro deste ano a Resolução Normativa 687, que ampliou o acesso à GD e que afetou diretamente as conexões da GD FV à rede de energia elétrica. Na Figura 10 é mostrada a distribuição das 62 publicações do Brasil ao longo dos anos neste tema.

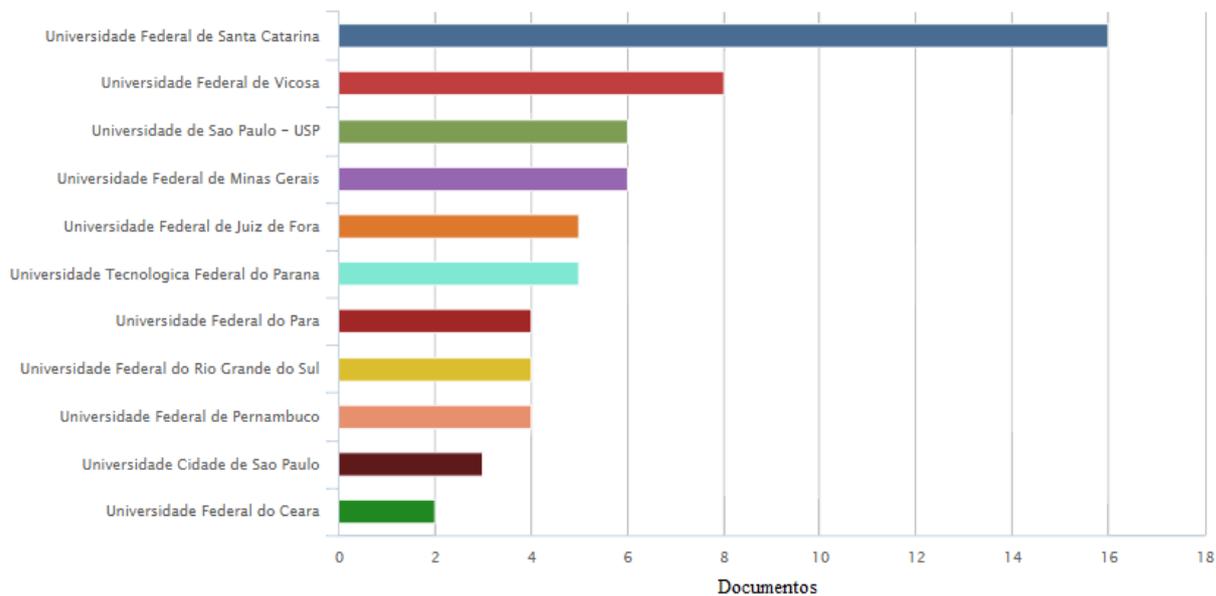
Figura 10 - Publicações anuais no Brasil relacionadas ao tema GD FV conectada à rede.



Fonte: Adaptado do Scopus.

As instituições brasileiras que mais contribuíram com a pesquisa relacionada à GD FV conectada à rede são mostradas na Figura 11. A primeira colocação é ocupada pela Universidade Federal de Santa Catarina, sendo que sua hegemonia neste setor de publicação está longe de ser ameaçada, já que possui o dobro de publicações da Universidade Federal de Viçosa, que é segundo lugar. A USP e a Universidade Federal de Minas Gerais estão empatadas na terceira posição, tendo cada uma 6 publicações. A Universidade Federal do Ceará ocupa a décima sétima posição entre as instituições brasileiras, tendo feito duas publicações relacionadas ao tema GD FV conectada à rede neste período.

Figura 11 - Produção científica por instituições brasileira relacionada ao tema de GD FV conectada à rede, entre 2000 e 2017.



Fonte: Adaptado do Scopus.

2.3 Desenvolvimento da GD FV

A GD FV é uma solução viável para ajudar a diminuição de gastos com energia elétrica para os clientes residenciais e comerciais das distribuidoras de energia elétrica (PEREIRA; SOUSA, 2017), além de trazer a geração de energia elétrica para próximo do consumidor, diminuindo as perdas na rede elétrica, ajudando a descentralizar a geração de energia elétrica e diversificando a matriz energética.

Por isso nesta parte da dissertação é feita um levantamento de alguns incentivos e trabalhos no mundo, no Brasil e no Ceará que contribuíram para o desenvolvimento e expansão da GD FV.

2.3.1 No mundo

O país que mais se desenvolveu nas últimas décadas foi a China, portanto, aumentando significativamente sua demanda por energia elétrica e necessidade de produção desta energia de diversas formas, sendo a GD FV uma delas.

Fang Zhang *et. al.* (2015) mostraram que em 2013 uma série de mudanças políticas, que afetariam a GD FV, foram incentivadas, visando uma expansão deste setor e seu desenvolvimento em grande escala. Neste trabalho foram analisadas as

mudanças políticas, desde 2013, e seus efeitos no mercado nacional chinês de GD FV, assim como, a atratividade deste tipo de investimento.

Na China, em 2016, foram conectados à rede elétrica 34,5 GW de painéis FV, um aumento de 128%, quando comparado ao total instalado em 2015; ao fim de 2016 a China possuía instalados 77,9 GW, representando um quarto de todo o potencial FV instalado no mundo (Global Market Outlook, 2017).

Por outro lado, o ano de 2016 foi decepcionante para a Europa, com apenas 6,7 GW de novas instalações FV (Global Market Outlook, 2017).

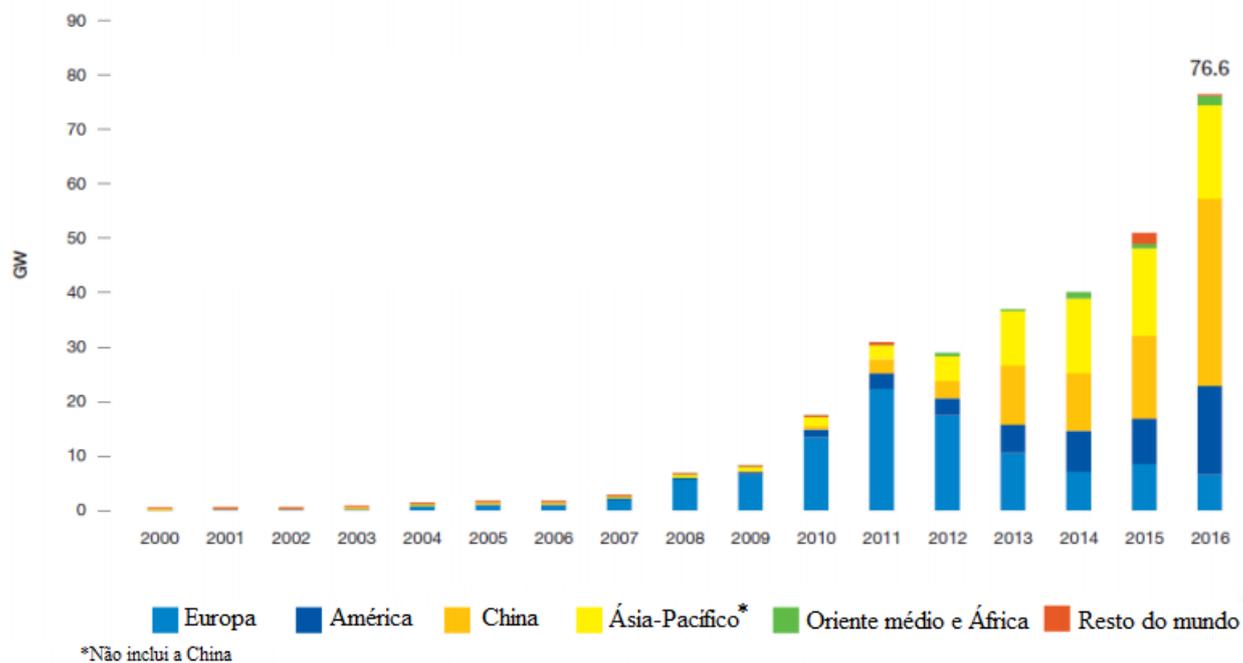
O governo da Índia aprovou, em dezembro de 2014, a implantação de 25 parques solares com capacidade maior ou igual a 500 MW, buscando totalizar 20.000 MW adicionais de capacidade instalada de GD FV até 2019, sendo que não são considerados nestes números as instalações residenciais, comerciais e outras de pequeno porte (PIB, 2014).

Os Estados Unidos, país que mais consome energia elétrica no planeta, tem sido ativos nas pesquisas e desenvolvimento da GD FV, ver Figura 9, por isto também investiu no setor FV.

Em 2015, a terceira maior planta FV do mundo, foi instalada nas proximidades de Rosamond, na Califórnia, tendo capacidade instalada de 597 MWp. A obra faz uso de 1,7 milhão de painéis solares, que ocupam uma área total de 13 km². A usina é dividida em duas plantas, sendo a Solar Star I com capacidade para 318 MWp e a Solar Star II com capacidade para 279 MWp (GREENBRÁS, 2016).

Em 2016, foram instalados à rede elétrica no mundo 76,6 GW, como mostra a Figura 12, sendo este o ano com maior potência FV instalada. Vale ressaltar que o ano de 2016 ficou marcado como o ano em que a energia elétrica produzida pela fonte solar ficou mais barata que a energia produzida pela fonte eólica, tendo sido assinado, em 2016, o menor contrato de suprimento de energia solar do mundo, com U\$ 2,44 cents/kWh (Global Market Outlook, 2017).

Figura 12 - Evolução da capacidade instalada anual FV mundial entre 2000 e 2016



Fonte: Adaptado de Global Market Outlook, 2017.

Mas é importante destacar que, mundialmente, a geração FV é usada principalmente para fornecimento de energia elétrica ao setor predial, que é responsável em torno de 40% da demanda de energia (PACHECO, LAMBERTS, 2013); para suprir esses requisitos, estão sendo estudados modelos de construções que gerem eletricidade a partir de módulos FV instalados em suas mediações (DÁVI *et. al.*, 2016).

2.3.2 No Brasil

Em agosto de 2011, as primeiras centrais FV, decorrentes da Chamada Pública ANEEL13/2011, Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” (ANEEL, 2011) iniciam a fase de operação e promovem a oportunidade do conhecimento sobre a dinâmica de instalação de usinas FV e montagem de usinas FV e a composição dos custos reais para geração FV no Brasil (BARBOSA *et. al.*, 2014).

Neste contexto, a Companhia Hidrelétrica do Vale de São Francisco (CHESF), apresentou um projeto para a instalação de uma usina de 3 MWp FV na cidade de Petrolina, Pernambuco, região NE do Brasil, no mesmo local em que já estava

prevista a instalação de uma usina heliotérmica (1 MWe) e a criação de um Laboratório de Energia Solar (VILELA *et. al.*, 2014).

As Universidades brasileiras, principais instituições de pesquisas no país, começaram a instalar plantas FV de pequeno porte, a fim de pesquisá-las mais a fundo e expandir o desenvolvimento neste setor, que se mostrara promissor.

Foi feito o dimensionamento de um sistema FV autônomo, com três módulos de potência de 63 W, modelo SM-63KSM, com finalidade de gerar eletricidade para um sistema de iluminação de lâmpadas LED (diodo emissor de luz) na Universidade Federal Rural do Semi-Árido — UFERSA, no corredor do prédio Laboratório de Engenharia I -laboratório de Engenharia de Energia e Mecânica - (SANTIAGO; VARELLA, 2014).

Sousa e Nerys (2012) propõem a instalação de uma GD FV em uma edificação da Escola de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás. O sistema mostrou-se inviável economicamente, porém entende-se que a solução atende à intenção educacional e de pesquisa, além de promover a tecnologia FV aos alunos e professores.

Com o aumento das instalações das GD e inserção delas nas redes de eletricidade, precisou-se estudar os impactos que a GD causa ao sistema elétrico.

Donadel, Fardin e Encarnação (2017) propuseram ajustes nos processos de planejamento técnico das redes de distribuição, contemplando o grau de risco associado à potência fornecida pelas GD, pois a dinâmica de entrada/saída da GD é bem mais rápida que a dinâmica de execução de obra de reforço na rede de energia elétrica.

Leite *et. al.* (2018) analisaram a qualidade da energia usando um analisador de qualidade em um sistema FV conectado à rede de distribuição local. Todas as medidas foram realizadas em um sistema GD FV residencial de 3,38 kWp. O espectro harmônico foi medido e analisado com base nos limites estabelecidos no PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional)-Módulo 8 e IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) 519, mostrando que os valores encontrados nas medições atendem as normas vigentes na grande maioria das faixas de potência gerada.

2.3.3 No Ceará

No Ceará, terra em que o sol “brilha” a 30 °C durante pelo menos 2/3 do ano, cuja capital é Fortaleza, Cidade da Luz, também conhecida carinhosamente pelos brasileiros como Terra do Sol, é um lugar excepcional para receber a GD FV e extrair desta todo seu “potencial latente”.

A UFC, em 2012, apresentou um conversor cc-ca de dois estágios para injetar a energia de um arranjo de painéis FV na rede elétrica com um protótipo de laboratório de 850 W. Obteve-se um rendimento global experimental de aproximadamente 86,5%, enquanto que a distorção harmônica total da corrente entregue à rede elétrica obtida via simulação computacional foi 3,8% a plena carga (TERÁN, 2012).

Lima, Ferreira, e Morais (2017) analisaram o desempenho de um sistema FV de 2,2 kWp instalado na Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, Brasil. O sistema foi monitorado de junho de 2013 a maio de 2014, sendo a eficiência do conjunto dos painéis, do inversor e da GD FV de 13,3%, 94,6% e 12,6%, respectivamente. O fator de capacidade anual da GD FV foi de 19,2%.

No Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da UFC, cujo detalhamento é feito no Capítulo 3, realizaram-se pesquisas relacionados à GD FV conectada à rede do Campus do Pici.

Rabelo *et. al.* (2017) estudaram sobre a sujidade de uma GD FV, localizada no LEA e conectada à rede elétrica da UFC, Campus do Pici, em Fortaleza. Após as limpezas, foram comparados os valores de energia elétrica gerada e observou-se um acréscimo em seu desempenho de 4,2% para o caso da primeira limpeza, mostrando que mesmo com intensas chuvas a limpeza manual das placas FV ainda se justifica, e 9,1% para a segunda limpeza, período sem chuvas na região.

Távora *et. al.* (2017) analisaram dados coletados de temperatura de operação de um módulo FV de uma GD FV localizada no LEA. Três equações foram utilizadas para calcular a temperatura de operação do módulo FV, propostas por diferentes autores, através de parâmetros coletados: temperatura ambiente e irradiação global. Estas equações foram analisadas e comparadas entre si, a fim de determinar qual delas melhor conseguia determinar a temperatura de operação do painel FV, com erros na previsão entre 5,20% a 8,45%.

Costa *et. al.* (2017) apresentaram um estudo sobre características de uma GD FV, instalada no LEA e conectada à rede elétrica do Campus do Pici/UFC. A coleta de

dados desta GD FV foi realizada de julho a dezembro de 2016. O fator de capacidade no período estudado atingiu valor máximo de 25,63% em setembro e valor mínimo de 20,13% em dezembro, mostrando um grande potencial de geração. O CVP (coeficiente de variação de Pearson) atingiu seu valor máximo de 0,1443 em dezembro, devido ao período chuvoso, mas ainda sendo um valor que é considerado de baixa dispersão.

Barreto (2017) dimensiona e analisa a viabilidade para a implementação de GD FV em um *shopping center* de Fortaleza - CE. A área disponível para implementação do projeto FV é determinada, 3188,11 m², e um estudo de sombreamento é realizado, com a ajuda do programa *SketchUP*. Com os dados da demanda de energia elétrica do shopping, 5500 kW, a placa multicristalino-Si apresentou *payback* de 7 anos e 7 meses e Valor Presente Líquido de R\$ 6.809.107.

Costa (2017) dimensiona e analisa a viabilidade e um sistema FV hipotético conectado à rede e integrado à arquitetura do Instituto de Primeira Infância (IPREDE), com a utilização dos *softwares* RETScreen e SketchUp. Para abastecer 50% da demanda de energia elétrica do prédio foi dimensionado um sistema com potência de 47,74 kWp, ocupando uma área de 341 m², com custo de R\$ 294.140,00 e tempo de retorno de aproximadamente 5 anos e 4 meses.

3 MATERIAIS UTILIZADOS E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

No presente capítulo é mostrado o local em que grande parte do trabalho foi desenvolvido, assim como os materiais utilizados nesta dissertação e a formulação matemática necessária para uma adequada análise da GD FV, lembrando que apesar da formulação ser mostrada neste capítulo, a análise será feita em capítulos subsequentes.

3.1 Local de Trabalho

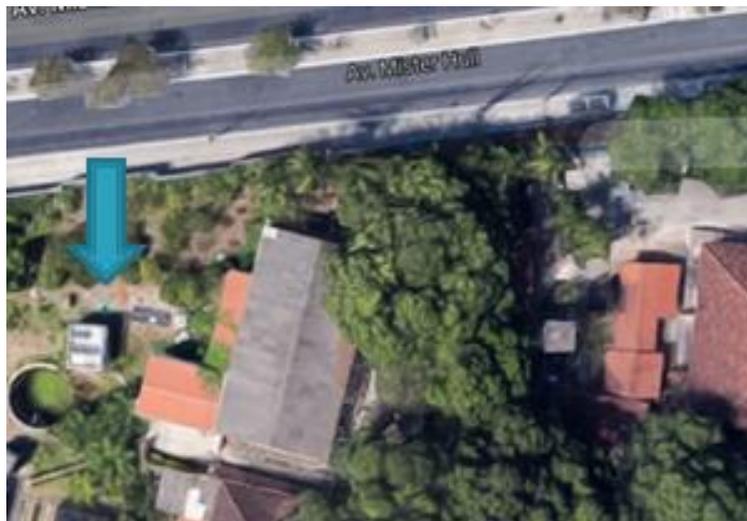
A pesquisa foi realizada nas dependências do Laboratório de Energias Alternativas (LEA) do Centro de Tecnologia (CT) da UFC, que tem parceria com o Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) do Centro de Ciências Agrárias da UFC, local da instalação física.

O LEA foi idealizado pelo Professor Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho, que pertence ao corpo docente do departamento de Engenharia Elétrica da UFC, a fim de realizar pesquisas que favoreçam a inserção das fontes alternativas de energia e, assim, fortalecer a busca pelo fortalecimento de uma matriz energética mais diversificada, descentralizada e confiável para a região e também em âmbito nacional.

A localização do LEA é próximo a Av. Mister All, Campus do Pici, Fortaleza/CE, mostrada da Figura 13, sendo suas coordenadas:

- Latitude: $3^{\circ} 44'14.82''S$ e Longitude: $38^{\circ} 34'21.97''O$.

Figura 13 – Localização do LEA.



Fonte: Google Earth, 2017.

3.2 Sistema FV

O sistema de geração FV, conectado à rede elétrica do Campus do Pici, encontra-se instalado nas dependências do LEA da UFC; possui 6 módulos de silício policristalino - módulo YL250P-29b - conectados em série, do fabricante Yingli Solar, com potência individual de 250 kWp, totalizando uma potência nominal de geração de 1,5 kWp, como mostrado na Figura 14. Cada módulo possui 1,6400 m de comprimento e 0,99000 m de largura, totalizando uma área útil de 9,7416 m².

Esta GD FV é conectada a uma rede de distribuição de baixa tensão (BT), monofásica, tensão nominal de 220 V e funcionando em um sistema de compensação de energia, portanto, estando de acordo com a NT-010 da Enel.

Figura 14 – GD FV instalada no LEA-UFC e conectada à rede do Campus.



Na Tabela 01 é mostrada as principais características elétricas dos módulos YL250P-29b.

Tabela 01 - Parâmetros Elétricos nas condições de teste padrão do módulo YL250P-29b.

Parâmetros elétricos	Simbologia	Unidade	Modelo
			YL250P-29b
Potência de saída	Pmax	W	250
Eficiência do módulo	η_m	%	15,4
Tensão em Pmax	Vmpp	V	29,8
Intensidade em Pmax	Impp	A	8,39
Tensão em circuito aberto	Voc	V	37,6
Corrente em curto circuito	Isc	A	8,92

Fonte: Adaptado da Yingli Solar, 2015.

3.2 Inversor

Os seis módulos FV estão conectados em série, logo, a corrente CC é a mesma para cada painel FV, mas a tensão do sistema FV é a soma das tensões individuais de cada painel. Portanto, o inversor monofásico escolhido precisa suportar: potência máxima maior que 1500 W, uma corrente CC máxima maior que 8,39 A e uma tensão CC máxima maior que 178,8 V.

Figura 15 – Inversor PHB1500-SS.



O inversor instalado junto aos painéis FV foi o PHB1500-SS, Figura 15, com os principais dados elétricos mostrados na Tabela 02.

Tabela 02 – Principais características elétricas do inversor PHB1500-SS.

Parâmetros elétricos			Modelo
Descrição	Símbolo	Unidade	PHB1500-SS
Máxima potência de saída		W	1950
Máxima Tensão CC		V	450
Corrente CC máxima		A	10
Número de strings		-	1
Potência CA Nominal		W	1500
Máxima Potência CA		W	1500
Tensão Nominal CA		V	220
Corrente CA de saída máxima		A	7,5
Fator de Potência		-	1

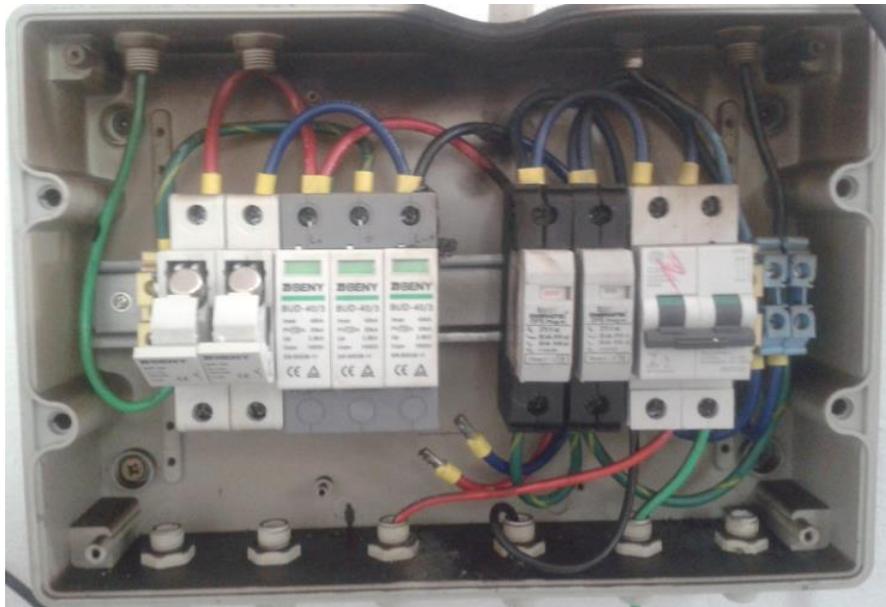
Fonte: Adaptado da PHB, 2017.

3.3 Proteção da GD FV

A fim de proporcionar uma operação segura da instalação, a proteção da GD FV é feita por um disjuntor de 10 A do lado CA do inversor, sendo este valor menor que os 25 A determinado pelo fabricante como corrente de abertura máxima para o modelo PHB1500-SS e maior que os 7,5 A, que representa a corrente máxima de saída CA do inversor. Na Figura 16 é mostrada o quadro de proteção e isolamento de rede que foi projetado para proteção contra surtos vindo da rede elétrica em corrente CA. O quadro conta com dispositivo de proteção contra surtos e disjuntor, sendo montado em caixa de plástico com grau de proteção IP65.

O inversor possui integradas algumas funções importantes para o bom funcionamento da microgeração FV junto à rede de distribuição de energia elétrica, como: monitoramento da corrente de fuga e da corrente residual entre o sistema FV e a rede elétrica, proteções de requisito mínimo que a NT-010 da Enel estabelece para microgeração com potência instalada menor ou igual a 75 kW, as proteções de anti-ilhamento, de subtensão e sobretensão e de subfrequência e sobrefrequência.

Figura 16 - Quadro de proteção da GD FV



3.4 Sistemas de aquisição

A instalação de sistemas que possam monitorar o funcionamento da GD FV foi a preocupação inicial desta dissertação, pois a coleta de dados é uma tarefa de

profunda importância e que demanda tempo considerável, pelo curto período em que esta precisa ser escrita.

São dois sistemas de aquisição que são melhor discutidos em seguida, sendo um para coleta de dados da GD FV e o outro para coleta de dados ambientais que a afetam.

3.4.1 Sistema de aquisição de dados da GD FV

A fim de aprofundar os estudos feitos da GD FV instalada no LEA foi essencial instalar um sistema de aquisição de dados e monitoramento desta geração. Segundo CRESSEB (2014), o sistema de monitoramento também pode ajudar na detecção e, assim, correção mais rápida das falhas.

O elemento central no sistema de aquisição de dados da GD FV é o *Datalogger*, Figura 17, que é fabricado pela mesma empresa do inversor. Através deste é realizado o monitoramento da microgeração FV instalada no LEA.

O *Datalogger* pode se comunicar com até 20 inversores, desde que o cabo que faz esta ligação não ultrapasse 800 m e sua instalação deve ser feita em ambientes internos, sendo suas condições de operação mostradas na Tabela 03.

Figura 17 – *Datalogger* instalado no LEA.



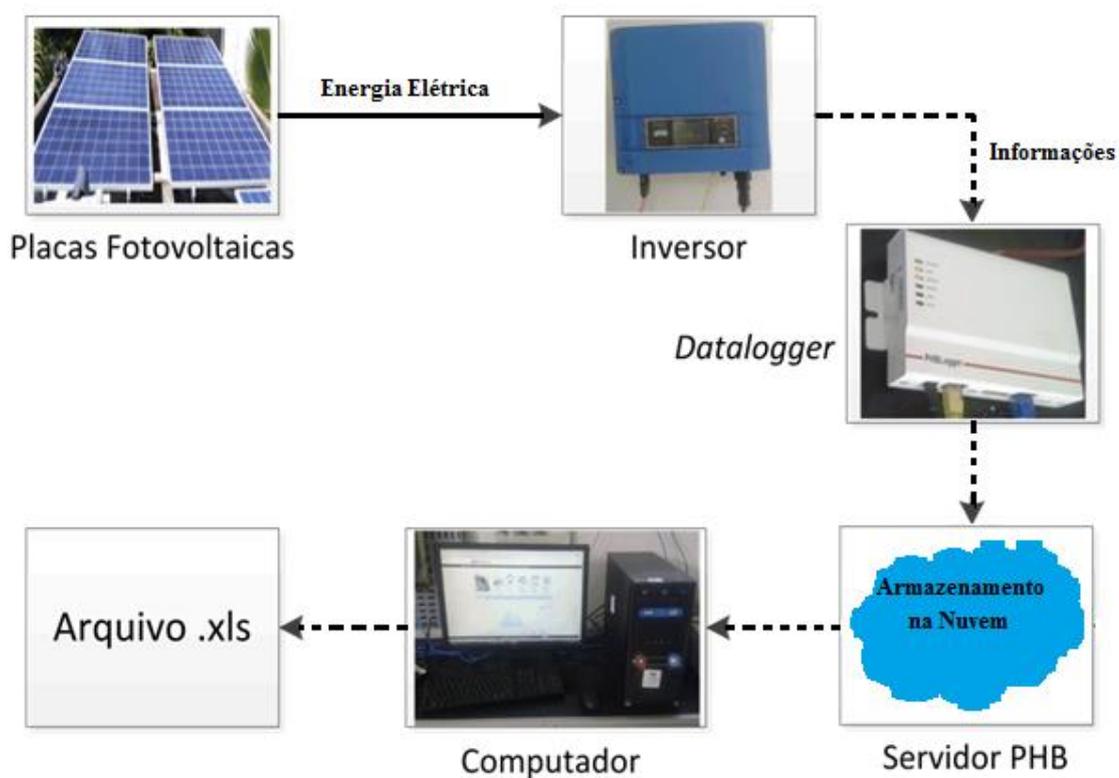
O *Datalogger* tem uma comunicação com o inversor através de uma ligação via RS485. O fluxograma da coleta de dados da geração é mostrado na Figura 18, o sistema permite arquivar as informações coletadas a cada 10 minutos e transmite

automaticamente as informações ao servidor web da PHB via internet, estes dados podem ser exportados no formato .xls.

Tabela 03 – Dados técnicos da *Datalogger*.

Parâmetros elétricos	Unidade	Modelo
		PHBlogger
Tensão de entrada CC	V	9
Corrente de entrada CC	A	15,4
Potência	W	2
Temperatura de operação	°C	-20 ~ 60
Umidade	%	0 ~ 95
Interface	Conector	Distância máxima do cabo (m)
RS485 (Inversor)	RJ45	800 m
Porta USB	MiniUSB_B	2 m
Rede	RJ45	100 m

Figura 18 – Fluxograma do sistema de aquisição de dados da GD FV instalada no LEA.



3.4.2 Sistema de aquisição de dados do ambiente que influenciam a GD FV.

Para ser feita a aquisição de dados da irradiância foi necessário a utilização do sistema SCADA com um Controlador Lógico Programável (CLP), modelo Twido TWDLC-E40DRF, que está mostrado na Figura 19.

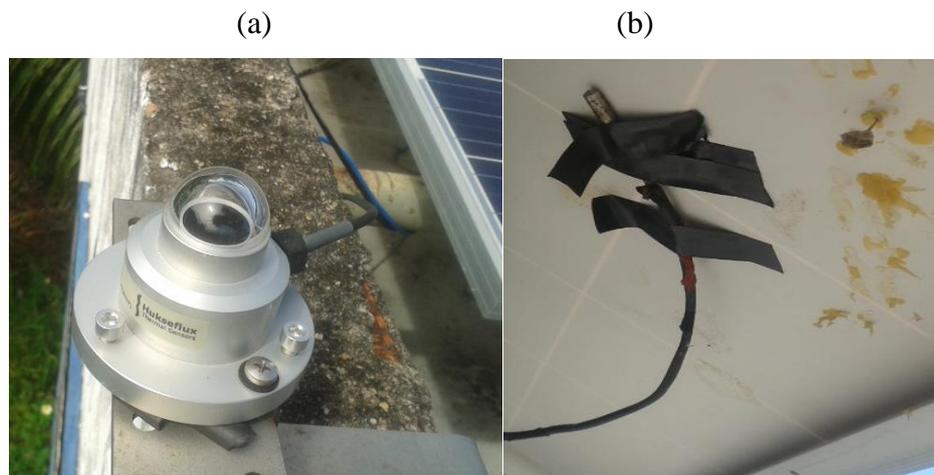
Figura 19 – CLP instalado no LEA.



Para um melhor acompanhamento dos parâmetros que afetam a GD FV foi necessário instalar um sensor de temperatura - PT-100 a 3 fios - para a aquisição da temperatura do módulo FV, que não terá uma importância significativa nas discussões desta dissertação, e um piranômetro - modelo LP02 da empresa Hukseflux - com uma sensibilidade de $18,56 \times 10^{-6} \text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$, para adquirir a irradiação global. Na Figura 20 são mostrados os sensores utilizados.

Os sensores foram conectados ao CLP, que por sua vez foi conectado a uma CPU (Central Processing Unit) com um monitor, a qual possui o sistema SCADA instalado. As informações coletadas pelo sistema são armazenados a cada 1 minuto, podendo ser exportados estes dados no formato .xls. Na Figura 21 é mostrado o fluxograma de aquisição dos dados ambientais que afetam a GD FV.

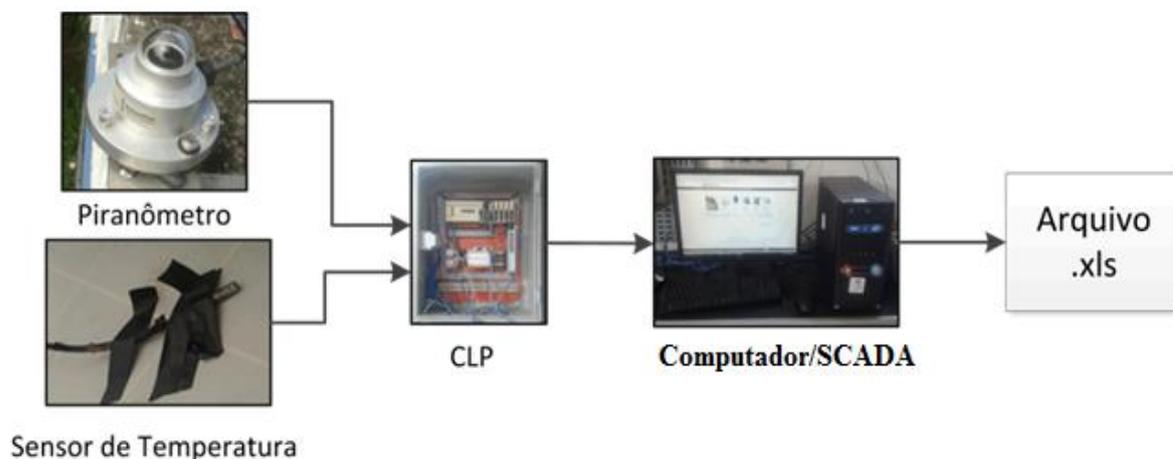
Figura 20 – Sensores para aquisição de dados do ambiente: (a) piranômetro LP02 e (b) sensor de temperatura PT-100.



3.4.3 Base de tempo dos sistemas de aquisição de dados

É importante ressaltar que os dois sistemas de aquisição, apesar de serem independentes, precisam ter a mesma base de tempo, pois, somente assim, estes dados poderão ser trabalhados corretamente para uma devida análise quantitativa e qualitativa do impacto que a GD FV traz ao sistema de distribuição e ao consumidor.

Figura 21 – Fluxograma da aquisição de dados ambientais que influenciam a GD FV.



O sistema de aquisição de dados da GD FV está em uma base de medição a cada 10 minutos e o sistema de aquisição de dados ambientais coleta dados a cada 1

minuto, portanto, é feita a média dos dados coletados dos dados ambientais a cada 10 minutos, a fim de que eles fiquem em uma base de 10 minutos, assim como os dados obtidos da GD FV, tornando a análise mais adequada.

3.5 Formulação matemática

Na presente dissertação são analisados os diversos aspectos da GD FV, tendo como base os dados colhidos em campo. Pela variedade dos tipos de dados, a GD FV apresentada tem como foco a análise quanto ao seu perfil de geração em Fortaleza através de uma abordagem matemática, que tem sua formulação mostrada neste tópico.

Os principais levantamentos verificados são índices, quocientes estatísticos e elétricos, calculados por meio dos dados coletados, que delimitam a avaliação da planta solar instalada, mostrando o potencial da fonte na região.

3.5.1 Geração média diária mensal

A geração média diária mensal no mês m ($G_{mês\ m}$) é a média das gerações diárias de todos os dias que apresentaram medições, conforme a Equação 1, em que $G_{dia\ k}$ é a geração total do dia k e n é a quantidade de dias do mês que apresentaram medições. O $G_{mês\ m}$ revela o montante médio gerado por dia pela GD FV no mês m , sendo sua unidade o kWh.

$$G_{mês\ m} = \frac{\sum_{k=1}^n G_{dia\ k}}{n} \quad (1)$$

3.5.2 Irradiação global média diária mensal

A irradiação global média diária mensal no mês m ($Ig_{mês\ m}$) é média das irradiações globais diárias de todos os dias que apresentaram medições, conforme a Equação 2, em que $Ig_{dia\ k}$ é a irradiação total do dia k e n é a quantidade de dias do mês que apresentaram medições. O $Ig_{mês\ m}$ revela o montante médio de irradiação no local em que o estudo é feito, sendo sua unidade o kWh/m².

$$Ig_{mês\ m} = \frac{\sum_{k=1}^n Ig_{dia\ k}}{n} \quad (2)$$

3.5.3 Fator de Capacidade médio FV

Um dos índices a serem avaliados é o FC Médio FV (FC_{med}), calculado conforme a Equação 3, o índice toma como base o valor da energia total gerada em um dado período de tempo (Eg_{total}) em kWh, a potência nominal da planta FV ($P_{nominal}$) em kW e o período de tempo analisado (ΔT) em h. O FC_{med} mostra o percentual da eletricidade que foi efetivamente gerada, em um dado período de tempo, por quanto de eletricidade poderia ser gerada caso a GD FV operasse sempre com a $P_{nominal}$.

$$FC_{med} = \left(\frac{Eg_{total}}{P_{nominal} * \Delta T} \right) * 100\% \quad (3)$$

3.5.4 Geração prevista da GD FV

A geração prevista (G_p) é a quantidade de energia elétrica que pode ser obtida pela GD FV por um determinado período de tempo, neste trabalho é utilizado período mensal, considerando o FC do sistema neste período, a $P_{nominal}$ do sistema e a quantidade de dias que o mês possui ($Qtde_{dias_{mês}}$), G_p pode ser calculado pela Equação 4 e sua unidade é kWh.

$$G_p = \frac{FC_{med} * P_{nominal} * Qtde_{dias_{mês}} * 24h}{1000} \quad (4)$$

3.5.5 Geração Monitorada da GD FV

A geração monitorada (G_m) é a soma de energia elétrica que foi obtida pela GD FV, por um determinado período, dos dias que apresentaram medições, neste trabalho é utilizado o período mensal, G_m pode ser calculado pela Equação 5 e sua unidade é kWh, em que $G_{mês\ m}$ é dado pela Equação 1 e n é a quantidade de dias do mês que apresentaram medições.

$$G_m = G_{mês\ m} * n \quad (5)$$

3.5.6 Eficiência da GD FV

A eficiência da GD FV (e_{FV}) é a relação da eletricidade gerada pelo sistema FV em relação à energia solar incidente (irradiação), sendo calculada levando em

consideração a área total dos módulos FV. O sistema completo possui uma área útil (A_{GD}) em m^2 – que é de $9,7416 m^2$, medidas fornecidas pelo fabricante -, sendo Ig_g a irradiação solar global em kWh/m^2 . A e_{FV} é calculada de acordo com a Equação 6.

$$e_{FV} = \left(\frac{Eg_{total}}{A_{GD} * Ig_{mes}} \right) * 100\% \quad (6)$$

3.5.7 Desvio-padrão amostral mensal

O desvio-padrão amostral mensal, s_m , é uma medida de dispersão absoluta em torno do valor médio dos dados e que possui a mesma unidade da variável estudada. O s_m revela quão dispersos os dados medidos estão em relação à média no intervalo de um mês, ou seja, quanto menor for s_m menor é a variabilidade mensal dos dados. Na Equação 7 é apresentada a fórmula de cálculo deste índice, sendo \bar{x} a média da variável que se deseja o desvio padrão e x_i o valor da variável em i . Porém, por ser uma medida de dispersão absoluta, o s_m não é adequado para comparações de conjuntos de dados, como mês a mês.

$$s_m = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1} \right)} \quad (7)$$

3.5.8 Coeficiente de variação de Pearson FV mensal

O coeficiente de variação de Pearson FV mensal, CVP_m , é uma medida relativa de dispersão que mostra a razão do desvio padrão com a média, sendo calculado pela Equação 8.

$$CVP_m = \left(\frac{s_m}{\bar{x}} \right) \quad (8)$$

A partir do CVP_m , que é uma medida de dispersão relativa, é possível classificar os dados amostrais coletados, de forma empírica, em níveis de dispersão, como demonstrado na Tabela 04.

Este coeficiente é essencial para uma análise da intermitência, permitindo uma interpretação acerca de diferentes grupos amostrais dos dados, podendo-se, assim,

comparar conjuntos de dados, como mês a mês, e traçar um estudo de estado para uma GD FV na região de Fortaleza.

Tabela 04 – Classificação dos dados amostrais com base no CVP_m .

Faixa de CVP_m	Classificação dos dados
$CVP_m < 0,15$	Baixa dispersão, homogênea, estável.
$0,15 \leq CVP_m < 0,30$	Média dispersão.
$CVP_m \geq 0,30$	Alta dispersão, heterogênea.

3.5.9 Desvio-padrão x Coeficiente de variação de Pearson

A fim de que fique clara a diferença entre o s_m e o CVP_m é colocado um exemplo a seguir com dados coletados da planta FV no mês de julho de 2016.

Perceba, na Tabela 05, que o s_m por ser uma medida de dispersão absoluta, esta varia em torno da média, ou seja, caso o objeto de estudo seja representado de uma forma diferente, tendo-se assim uma nova média, o s_m também irá mudar, porém isto não afeta o CVP_m , por este ser uma medida de dispersão relativa.

Tabela 05 – Dados de Julho de 2016 da GD FV para um comparativo entre s_m e o CVP .

	Geração diária mensal (kWh)	Geração diária mensal por área (kWh/m ²)	FC (%)
Média	8,18	0,8393	22,71
s_m	0,8489	0,0871	2,358
CVP_m	0,1038	0,1038	0,1038

3.5.10 Índice de utilização das coberturas das edificações

O índice de utilização das coberturas das edificações, i_{ut} , é uma relação entre a área útil estimada sobre o telhado com a área efetiva do telhado, podendo ser calculado de acordo com a Equação 9:

$$i_{ut} = \frac{A_{\text{útil estimada}}}{A_{\text{efetiva}}} \quad (9)$$

Ressaltando que a área efetiva foi selecionada como área das coberturas não afetadas por fatores da própria edificação, enquanto a área útil é uma parcela da área efetiva que não é afetada por fatores circunvizinhos à edificação.

Com o objetivo de classificar as edificações foi escolhido como critério o nível médio diário de sombreamento sobre as áreas dos telhados. Os prédios foram classificados em três categorias:

- Baixo nível de sombreamento, com índice de utilização (i_{ut}) maior que 0,8;
- Médio nível de sombreamento, com i_{ut} entre 0,6 e 0,8;
- Alto nível de sombreamento, com i_{ut} menor que 0,6.

3.5.11 Número de painéis FV

O número de painéis FV (N_{FV}^o) que é estimado na cobertura de cada edificação é a razão entre a área útil estimada da cobertura da edificação e a área que um painel FV pode ocupar, calculado de acordo com a Equação (10):

$$N_{FV}^o = \frac{A_{\text{útil estimada}}}{A_{GD}} \quad (10)$$

3.5.12 Potência FV instalada

A potência FV instalada estimada (P_{FV}) em kW na cobertura de cada edificação é o produto do N_{FV}^o e da $P_{nominal}$ dos painéis utilizados, calculada de acordo com a Equação (11):

$$P_{FV} = \frac{N_{FV}^o * P_{nominal}}{1000} \quad (11)$$

3.5.13 Geração FV média mensal estimada

A geração FV média mensal estimada ($G_{FV\ mensa}$) em kWh/mês é o produto do FC_{med} mensal, número de dias do mês e número de horas de um dia, sendo $G_{FV\ mensa}$ calculado pela Equação 12:

$$G_{FV\ mensa} = FC_{med} * P_{FV} * Qtde_{dias_{mês}} * 24h \quad (12)$$

3.5.14 Geração FV média anual estimada

A geração FV média anual estimada ($G_{FV\ anual}$) em kWh/ano é o produto do FC_{med} do ano, número de dias do ano (considerou-se 365 dias) e número de horas de um dia, sendo $G_{FV\ anual}$ calculado pela Equação 13:

$$G_{FV\ anual} = FC_{med} * P_{FV} * Qtde_{diasano} * 24h \quad (13)$$

3.5.15 Equivalência da redução de CO₂ com o uso da GD FV

A equivalência da redução de CO₂ com a GD FV (E_{CO_2}) é a representatividade da redução de CO₂ lançado na atmosfera em kg com a utilização da GD FV para geração de eletricidade em kWh, sendo E_{CO_2} calculado pela Equação 14, sendo o fator de emissão de CO₂ médio anual para o Brasil de 0,0927 kgCO₂/kWh no ano de 2017 (MCTIC, 2018), este fator tem valor abaixo da média mundial, pois o Brasil tem a fonte hídrica como principal meio para geração de eletricidade:

$$E_{CO_2} = 0,0927 * G_{FV} \quad (14)$$

3.5.16 Equivalência da redução de carvão usado em termelétrica com o uso da GD FV

A equivalência da redução de carvão usado em termelétrica com ciclo de Rankine com o uso da GD FV ($E_{carvão}$) é a representatividade da redução de carvão usado em termelétricas com ciclo de Rankine em kg para geração de eletricidade em kWh com a utilização da GD FV, sendo $E_{carvão}$ calculado pela Equação 15, sendo o fator de combustão do carvão médio anual para termelétricas com ciclo de Rankine de 0,3115 kgCarvão/kWh - 1 kg de carvão para cada 3,2105 kWh de eletricidade - (ABRAPCH, 201-):

$$E_{carvão} = 0,3115 * G_{FV} \quad (15)$$

3.5.17 Equivalência de CO_2 em carvão em termelétricas

A equivalência de CO_2 em carvão em termelétrica ($E_{carvão-CO_2}$) é a representatividade de quantos kg de CO_2 é produzido com a queima de 1 kg de carvão, sendo $E_{carvão-CO_2}$ calculado pela Equação 16, sendo o fator de equivalência de CO_2 em carvão de 3,67 kg CO_2 /kgCarvão - 1 kg de carvão produz 3,67 kg CO_2 - (ABRAPCH, 201-):

$$E_{carvão-CO_2} = 3,67 * E_{carvão} \quad (16)$$

3.5.18 Custo do Investimento da GD FV

O custo do Investimento da GD FV (C_{FV}) em R\$, calculada pela Equação 17, é produto da P_{FV} que se deseja instalar pelo valor gasto para a instalação de um kW (V_{kW}) na unidade R\$/kW.

$$C_{FV} = P_{FV} * V_{kW} \quad (17)$$

3.5.19 Prazo de Retorno do Investimento da GD FV

O prazo de retorno do investimento da GD FV (PRI_{FV}) em unidade de tempo, calculado pela Equação 18, é um indicador de atratividade do negócio, pois mostra o tempo necessário para que o empreendedor recupere tudo o que investiu, sendo o RT_{FV} a razão do investimento total pelo valor compensado pela GD FV.

$$PRI_{FV} = \frac{\text{Investimento total}}{\text{Valor compensado pela GD FV}} \quad (18)$$

4 ANÁLISE DA PERFORMANCE DA GD FV INSTALADA NO LEA-UFC

Após a fundamentação teórica da GD FV, entendimentos dos equipamentos utilizados e formulação matemática, este capítulo da dissertação traz a análise do desempenho da GD FV instalada no LEA – UFC. A análise é realizada através dos dados coletados da planta FV e dados meteorológicos de irradiação global incidente na região de estudo, de setembro de 2016 a agosto de 2017, a fim de entender o comportamento deste tipo de geração e suas características nas condições locais.

Em um primeiro momento é feita a análise mês a mês da GD FV, sendo em seguida feita uma análise mais ampla abrangendo todo o período.

4.1 Análise da GD FV instalada no LEA

Nesta secção é feita a análise da GD FV mês a mês, com foco nos parâmetros mostrados no Capítulo 3. Escolhe-se um dia que o FC_{med} é próximo do $FC_{med\ mensal}$ e que se tenha medições de irradiação global e da eletricidade gerada, podendo este dia escolhido ser chamado de dia representativo, pois representará o comportamento da irradiação global e da eletricidade gerada pela GD FV no mês.

4.1.1 Visão geral dos dados

Um resumo dos dados obtidos de irradiação e da GD FV durante o período de medição é apresentado na Tabela 06 e Tabela 07.

Na Tabela 06 é mostrada que o mês com a maior média diária de irradiação foi outubro de 2016, tendo $Ig_{mês\ m}$ de 6,39 kWh/m²/dia. O mês com a menor média diária de irradiação foi março de 2017, tendo $Ig_{mês\ m}$ de 3,71 kWh/m²/dia. A irradiação média diária anual para a região em estudo foi de 5,21 kWh/m²/dia.

Na Tabela 07 é mostrada que o mês com a maior média diária de geração de eletricidade foi setembro de 2016, tendo $G_{mês\ m}$ de 9,23 kWh/ dia (0,9475 kWh/m²/dia). O mês com a menor média diária de geração de eletricidade foi março de 2017, tendo $G_{mês\ m}$ de 5,92 kWh/dia (0,6077 kWh/m²/dia). A geração de eletricidade média diária anual para a região em estudo e com a GD FV utilizada foi de 7,55 kWh/dia (0,7754 kWh/m²/dia).

Tabela 06 - Dados de Irradiação global média diária no LEA – UFC

Mês/ano	Dias de medições	Ig (kWh/m ² /dia)	Desv.Padrão Ig (kWh/m ²)	CVP Ig
set-16	16	6,25	0,5355	0,0857
out-16	15	6,39	0,5561	0,0870
nov-16	21	5,95	0,7277	0,1224
dez-16	31	5,37	1,0838	0,2018
jan-17	22	4,99	1,2059	0,2416
fev-17	16	4,45	1,9918	0,4480
mar-17	27	3,71	1,3925	0,3751
abr-18	27	4,79	1,3009	0,2716
mai-17/18	21	4,37	1,4814	0,3392
jun-17	24	5,21	0,6495	0,1246
jul-17	30	5,05	1,0993	0,2175
ago-17	31	6,04	0,4895	0,0810
Média		5,21		

Tabela 07 – Dados obtidos da GD FV instalada no LEA-UFC

Mês/ano	Dias de medições	G (kWh/dia)	G (kWh/m ² /dia)	Desv.Padrão G (kWh/m ²)	CVP ΔG
set-16	30	9,23	0,9475	0,5669	0,0610
out-16	17	8,88	0,9116	0,7230	0,0814
nov-16	26	8,20	0,8418	0,6030	0,0736
dez-16	31	7,25	0,7442	1,0465	0,1444
jan-17	31	6,92	0,7104	1,3642	0,1971
fev-17	26	6,62	0,6796	1,8638	0,2814
mar-17	21	5,92	0,6077	1,5302	0,2585
abr-18	30	6,99	0,7175	1,5073	0,2156
mai-17/18	25	6,44	0,6611	1,8207	0,2827
jun-17	24	7,73	0,7935	1,0786	0,1396
jul-17	28	7,81	0,8017	1,5489	0,1984
ago-17	31	8,65	0,8879	0,6366	0,0736
Média		7,55	0,7754		

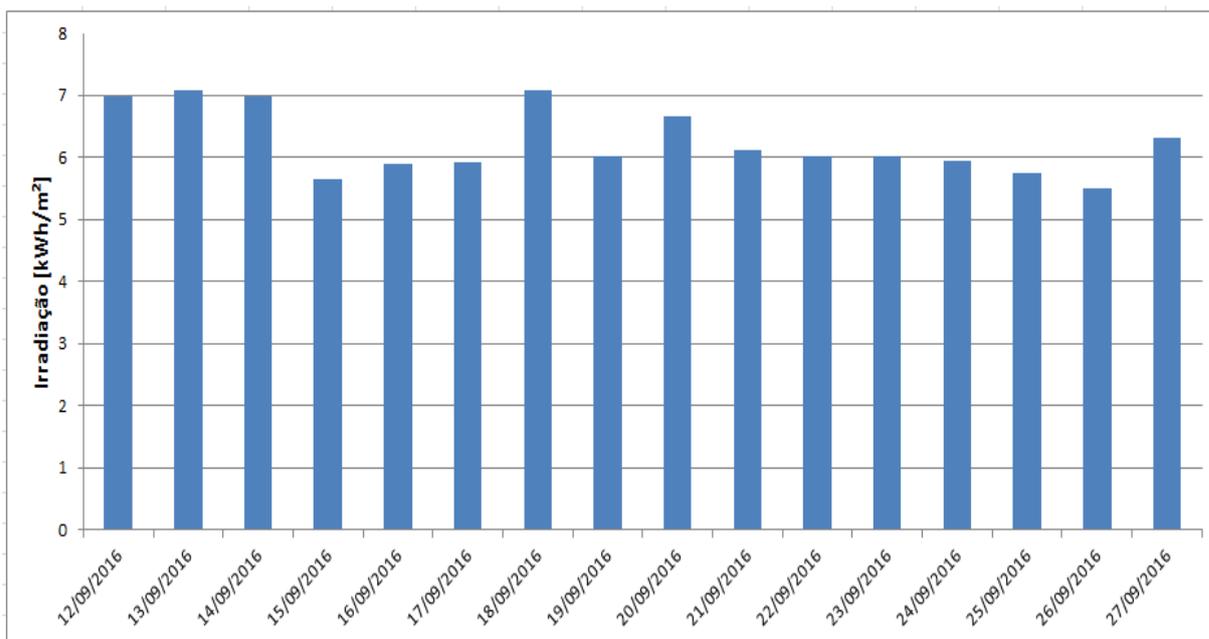
4.1.2 Setembro de 2016

Em setembro, houve 16 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 6,25 kWh/m², com s_{m_ig} (s_m para a irradiação) de 0,5355 kWh/m² e CVP_{m_ig} (CVP_m para a irradiação) de 0,0857. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem baixa dispersão, portanto a média representa bem os dados medidos.

Na Figura 22 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de setembro; a maior irradiação verificada foi no dia 18/09/2016, com 7,09 kWh/m² e a menor no dia 26/09/2016, com 5,50 kWh/m².

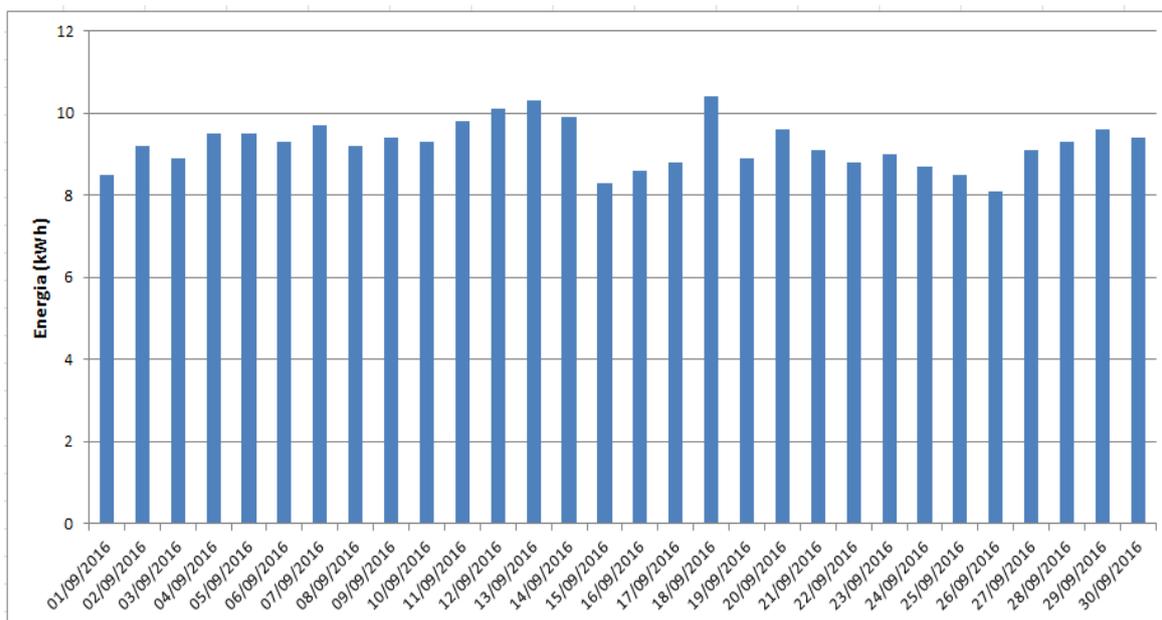
Houve 30 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 9,23 kWh, com s_{m_G} (s_m para a geração) de 0,5669 kWh e CVP_{m_G} (CVP_m para a irradiação) de 0,061. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem baixa dispersão. O FC_{med} FV de setembro foi de 25,63%, o maior no período analisado.

Figura 22 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, setembro de 2016.



Na Figura 23 é mostrado o comportamento da eletricidade gerada pela GD FV nos dias do mês de setembro; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 18/09/2016, com 10,40 kWh e a menor no dia 26/09/2016, com 8,10 kWh.

Figura 23 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em setembro de 2016.

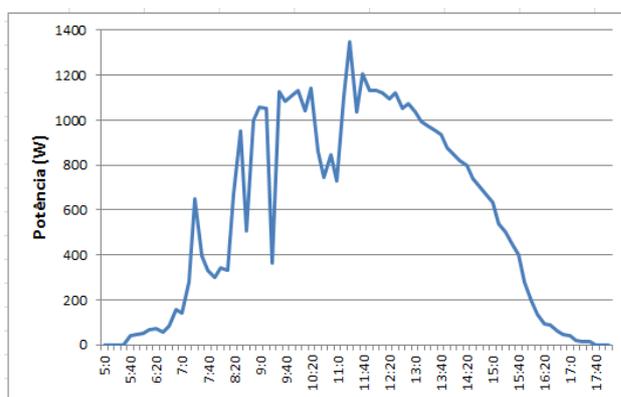


O dia 27/09/2016 foi escolhido como dia representativo de setembro, pois o FC_{med} do dia foi de 25,28%, mostrando-se 2,13% menor que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g_{mês\ m}}$, tendo irradiação de 6,33 kWh/m², ou seja, apenas 1,28% maior que $I_{g_{mês\ m}}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 9,10 kWh, apenas 1,41% menor que $G_{mês\ m}$.

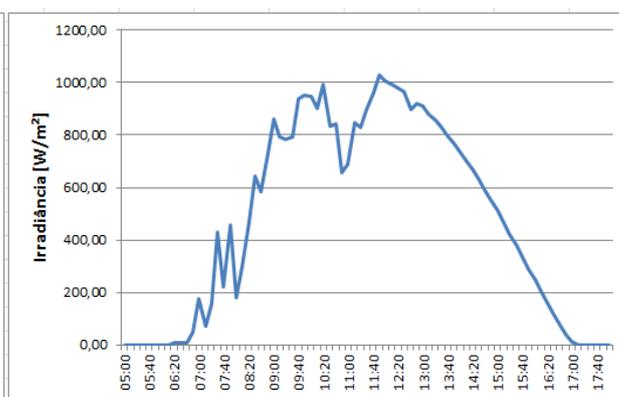
Na Figura 24 é mostrado o comportamento da potência fornecida pela GD FV e da irradiação em setembro de 2016, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 24.(a), tende a seguir a curva de irradiação, Figura 24.(b).

Figura 24 – Curvas do dia representativo de setembro (27/09/2016).

(a) Potência FV



(b) Irradiância



4.1.3 Outubro de 2016

Em outubro, houve 15 dias com medições de irradiação, sendo $I_{g\text{mês } m}$ de 6,39 kWh/m², com s_{m_ig} de 0,5561 kWh/m² e CVP_{m_ig} de 0,0870. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem baixa dispersão.

Na Figura 25 é mostrado o comportamento da irradiação global nos dias do mês de outubro; a maior irradiação verificada foi no dia 16/10/2016, com 7,09 kWh/m² e a menor no dia 20/10/2016, com 5,07 kWh/m².

Houve 17 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{\text{mês } m}$ de 8,88 kWh, com s_{m_G} de 0,7230 kWh e CVP_{m_G} de 0,0814. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem baixa dispersão. O FC_{med} FV de outubro foi de 24,67%.

Na Figura 26 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de outubro; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 11/10/2016, com 9,90 kWh e a menor no dia 08/10/2016, com 8,00 kWh.

Figura 25 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, outubro de 2016.

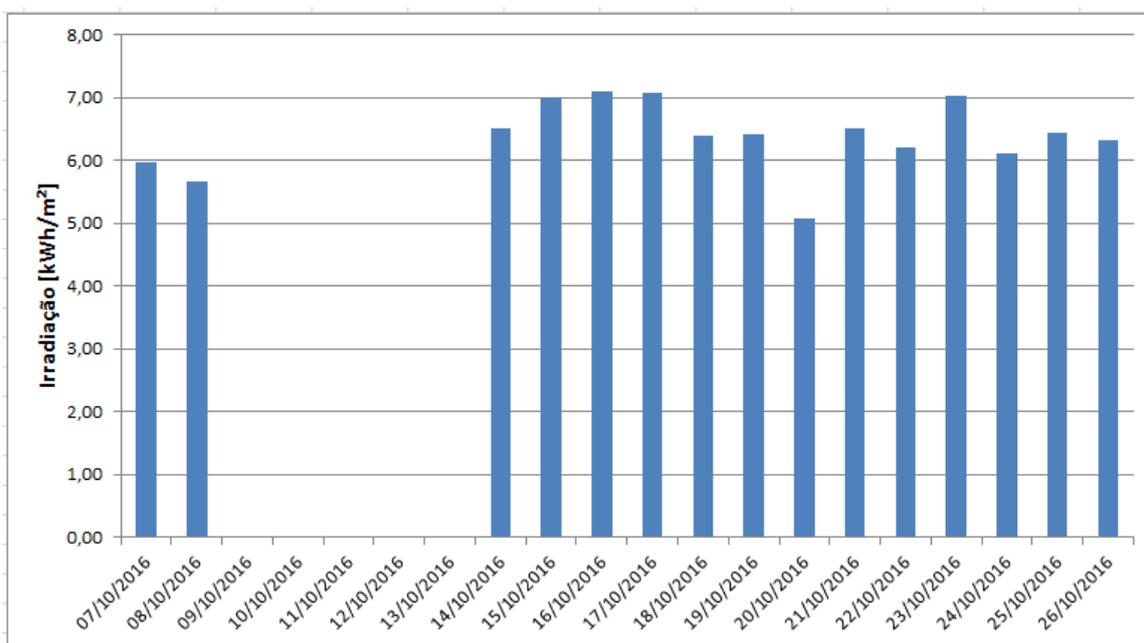
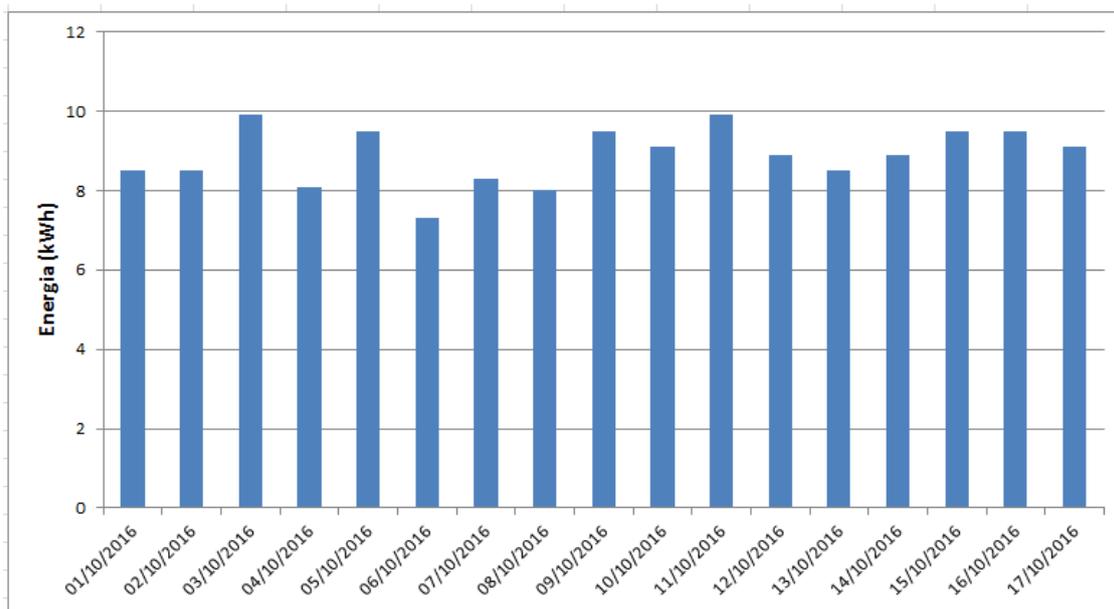


Figura 26 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em outubro de 2016.

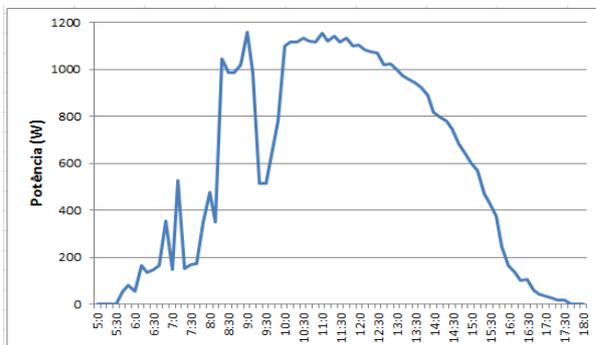


O dia 14/10/2016 foi escolhido como dia representativo de outubro, pois o FC_{med} do dia foi de 24,72%, mostrando-se 2,06% maior que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g_{mês\ m}}$, tendo irradiação de 6,51 kWh/m², ou seja, apenas 1,88% maior que $I_{g_{mês\ m}}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 8,90 kWh, ou seja, apenas 0,22% maior que $G_{mês\ m}$.

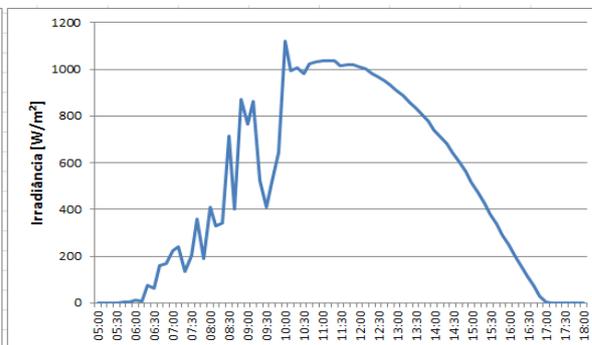
Na Figura 27 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiação, em outubro de 2016, através do dia representativo 14/10/2016. A potência FV, Figura 27.(a), tende a seguir a curva de irradiação, Figura 27.(b).

Figura 27 – Curvas do dia representativo de outubro (14/10/2016).

(a) Potência FV



(b) Irradiância

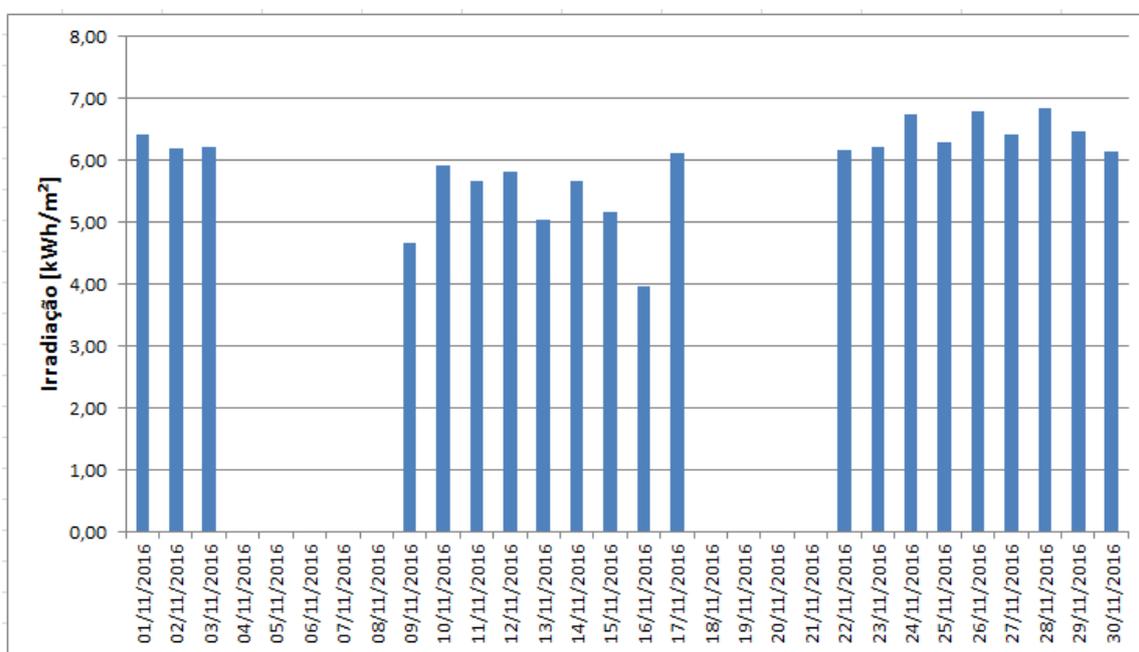


4.1.4 Novembro de 2016

Em novembro, houve 21 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 5,95 kWh/m², com s_{m_ig} de 0,7277 kWh/m² e CVP_{m_ig} de 0,1224. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem baixa dispersão.

Na Figura 28 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de novembro; a maior irradiação verificada foi no dia 28/11/2016, com 6,85 kWh/m² e a menor no dia 16/11/2016, com 3,95 kWh/m².

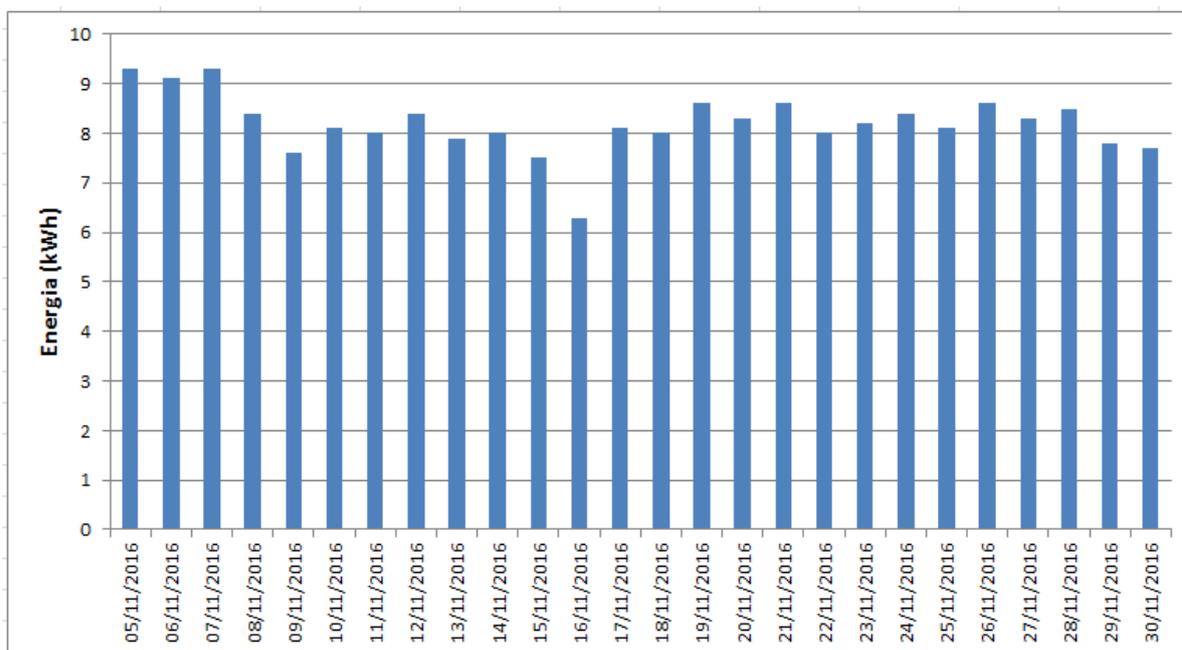
Figura 28 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, novembro de 2016.



Houve 26 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 8,20 kWh, com s_{m_G} de 0,6030 kWh e CVP_{m_G} de 0,0736. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem baixa dispersão. O FC_{med} FV de novembro foi de 22,77%.

Na Figura 29 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de outubro; a maior geração de eletricidade verificada ocorreu nos dias 05/11/2016 e 07/11/2016, ambos com 9,30 kWh e a menor no dia 16/11/2016, com 6,30 kWh.

Figura 29 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em novembro de 2016.

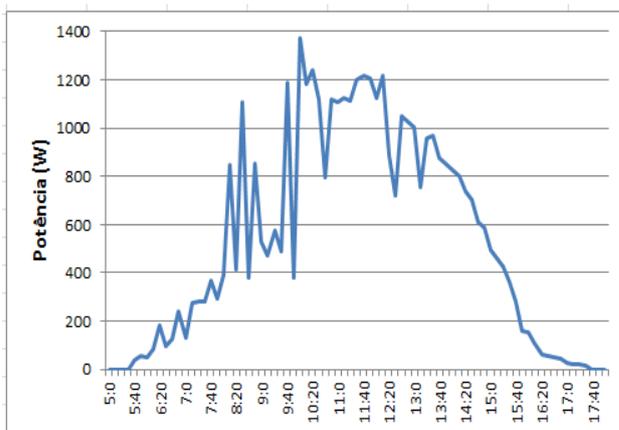


O dia 23/11/2016 foi escolhido como dia representativo de novembro, pois é FC_{med} do dia foi de 22,78%, mostrando-se 2,64% maior que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g_{mês\ m}}$, tendo irradiação de 6,21 kWh/m², ou seja, apenas 4,37% maior que $I_{g_{mês\ m}}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 8,20 kWh, mesmo valor de $G_{mês\ m}$.

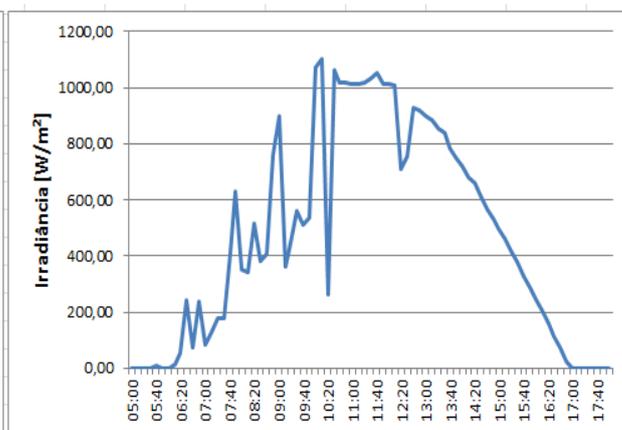
Na Figura 30 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiação, em novembro de 2016, através do dia representativo 23/11/2016. A potência fornecida FV, Figura 30.(a), tende a seguir a curva de irradiação, Figura 30.(b).

Figura 30 – Curvas do dia representativo de novembro (23/11/2016).

(a) Potência FV



(b) Irradiância



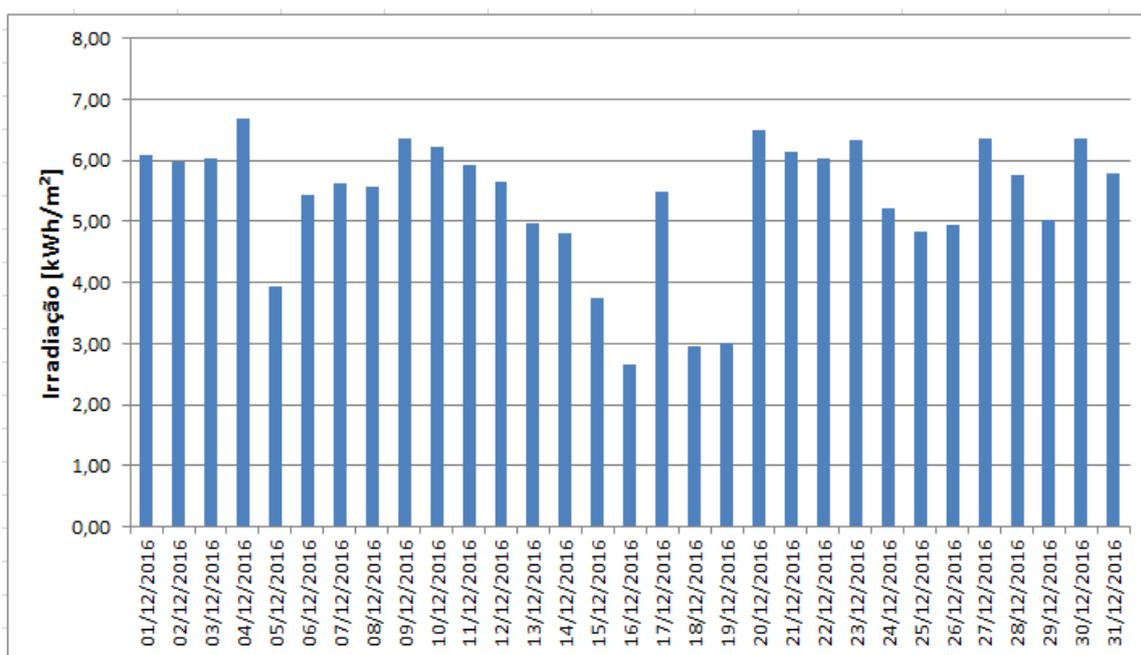
4.1.5 Dezembro de 2016

Em dezembro, houve 31 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 5,37 kWh/m², com s_{m_ig} de 1,0838 kWh/m² e CVP_{m_ig} de 0,2018. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem média dispersão, logo a média é apenas uma representação regular dos dados medidos. Este é o primeiro mês com uma dispersão média, mostrando que os dados de irradiação “perderam a homogeneidade” em relação aos meses anteriores, decorrendo-se isto pelo começo do período chuvoso na região de estudo ser no mês de dezembro.

Na Figura 31 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de dezembro; a maior irradiação verificada foi no dia 04/12/2016, com 6,69 kWh/m² e a menor no dia 18/12/2016, com 2,95 kWh/m².

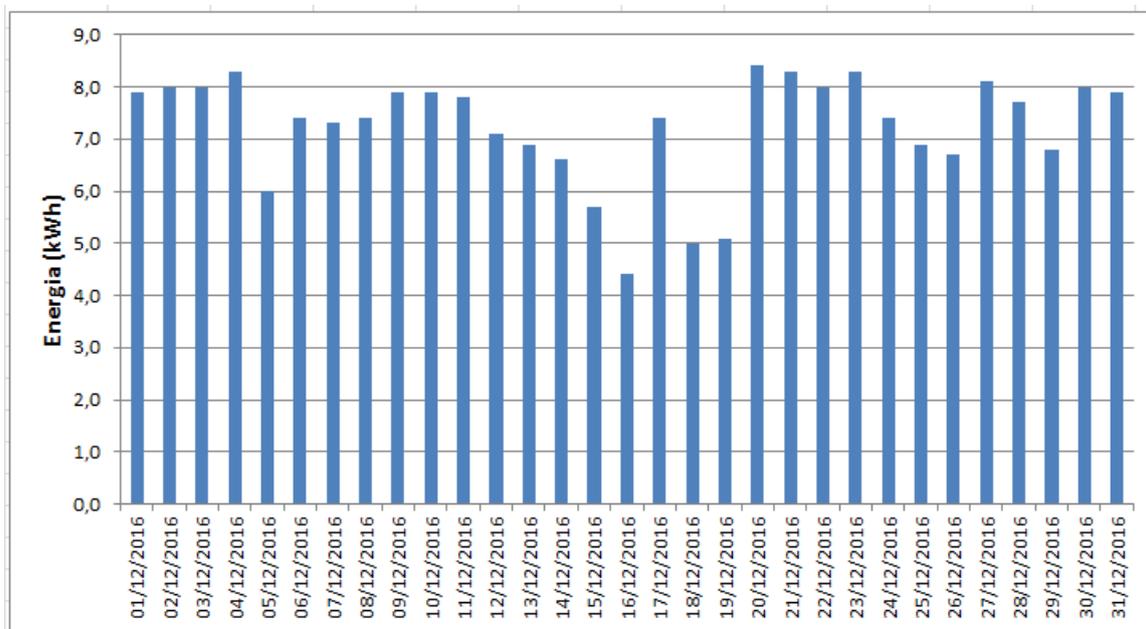
Houve 31 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 7,25 kWh, com s_{m_G} de 1,0465 kWh e CVP_{m_G} de 0,1444. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem baixa dispersão, porém está com um CVP_{m_G} muito próximo de 0,15, mostrando uma “homogeneidade” fraca dos dados medidos da GD FV. O FC_{med} FV de dezembro foi de 20,13%.

Figura 31 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, dezembro de 2016.



Na Figura 32 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de dezembro; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 20/12/2016, com 8,40 kWh e a menor no dia 18/12/2016, com 5,00 kWh.

Figura 32 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em dezembro de 2016.



O dia 07/12/2016 foi escolhido como dia representativo de dezembro, pois o FC_{med} do dia foi de 20,28%, mostrando-se 7,45% maior que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $Ig_{mês\ m}$, tendo irradiação de 5,62 kWh/m², ou seja, apenas 4,65% maior que $Ig_{mês\ m}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 7,30 kWh, apenas 0,69% maior que $G_{mês\ m}$.

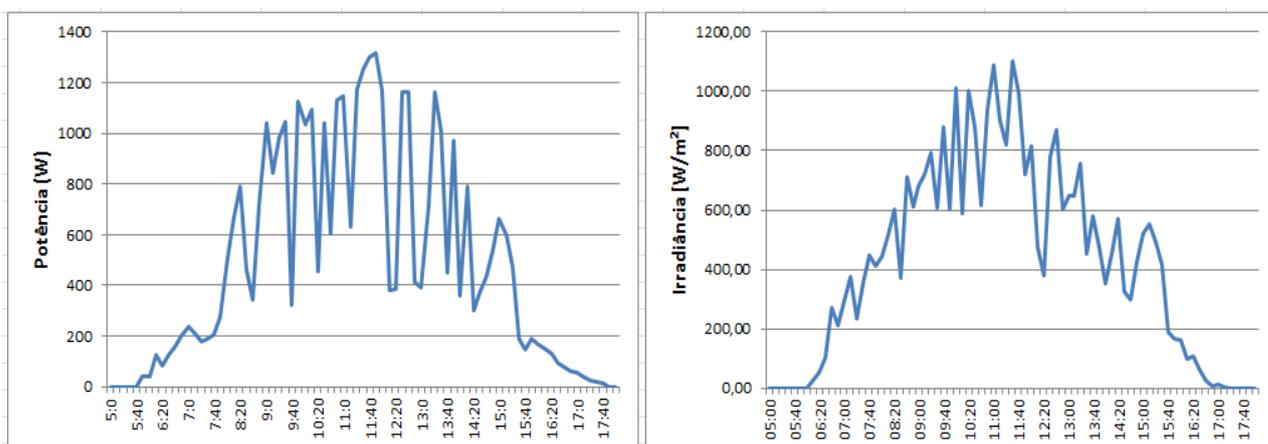
Na Figura 33 é mostrado o comportamento da potência da GD FV e da irradiância em dezembro de 2016, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 24.(a), possui picos mais acentuados em relação à curva de irradiância, Figura 24.(b), devido à fraca homogeneidade dos dados agravar o fato das medições serem feitas em bases diferentes de tempo e depois serem colocadas na mesma base de tempo. As medições feitas a cada 10 minutos, caso das medições da GD FV, tendem a ser afetadas mais facilmente por nuvens, causando maiores variações nos valores dos dados medidos (fraca homogeneidade) e grandes picos nas curvas geradas, enquanto as medições de irradiação são feitas a cada 1 minuto e passadas para a base de 10 minutos, tem uma correção neste processo dos picos causados nos gráficos devido ao uso da

média dos valores, portanto, sendo menos influenciável a passagens de nuvens e variações dos dados medidos.

Figura 33 – Curvas do dia representativo de dezembro (07/12/2016).

(a) Potência FV

(b) Irradiância



4.1.6 Janeiro de 2017

Em janeiro, houve 22 dias com medições de irradiação, sendo $I_{g_{mês\ m}}$ de 4,99 kWh/m², com $s_{m_{ig}}$ de 1,2059 kWh/m² e $CVP_{m_{ig}}$ de 0,2416. O $CVP_{m_{ig}}$ mostra que este mês a irradiação diária tem média dispersão.

Na Figura 34 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de janeiro; a maior irradiação verificada foi no dia 01/01/2017, com 6,35 kWh/m² e a menor no dia 11/01/2017, com 1,40 kWh/m².

Houve 31 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 6,92 kWh, com s_{m_G} de 1,3642 kWh e CVP_{m_G} de 0,1971. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem média dispersão para a eletricidade gerada. O FC_{med} FV de janeiro foi de 19,23%.

Na Figura 35 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de janeiro; a maior geração de eletricidade verificada ocorreu nos dias 07/01/2017 e 21/01/2017, com 8,50 kWh e a menor no dia 11/01/2017, com 2,80 kWh.

Figura 34 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, janeiro de 2017.

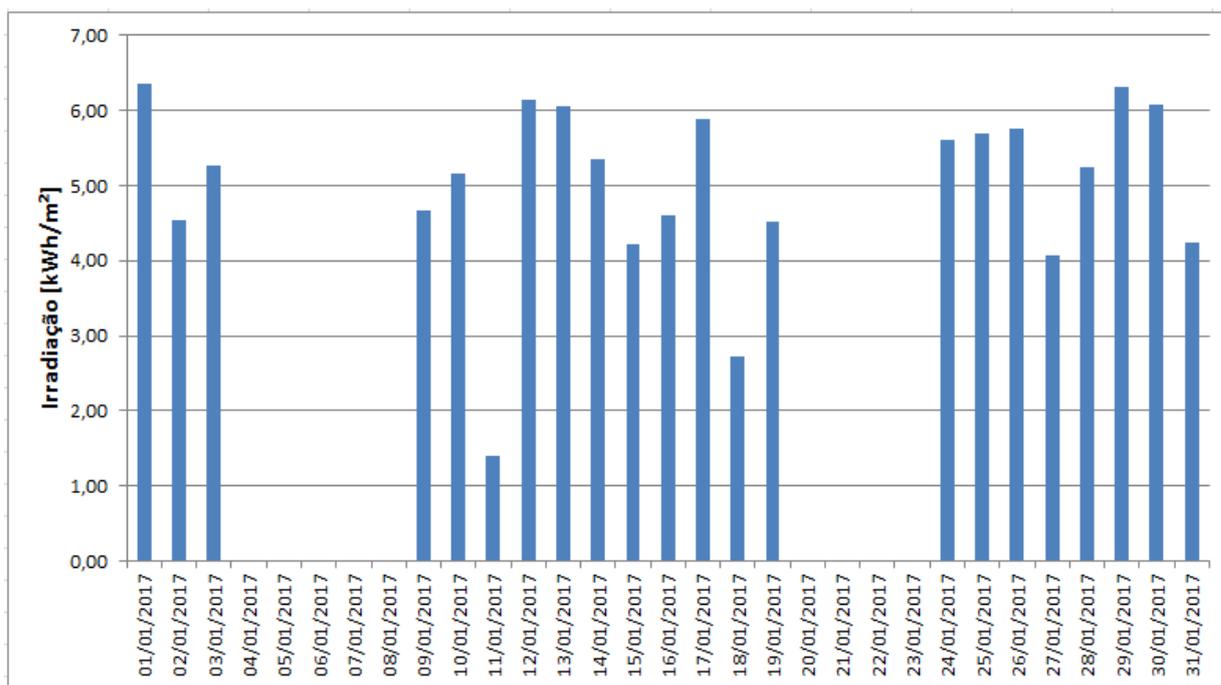
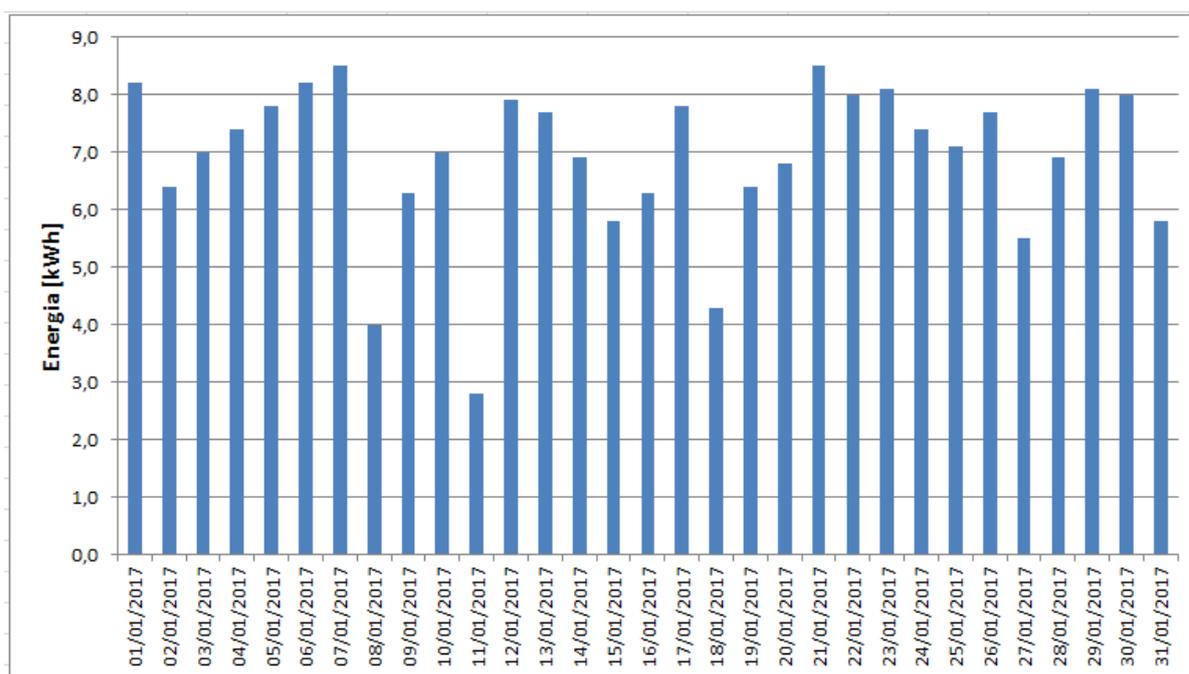


Figura 35 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em janeiro de 2017.



O dia 14/01/2017 foi escolhido como dia representativo de janeiro, pois o FC_{med} do dia foi de 19,17%, mostrando-se 0,57% menor que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g\text{mês } m}$, tendo irradiação de 5,35 kWh/m², ou seja,

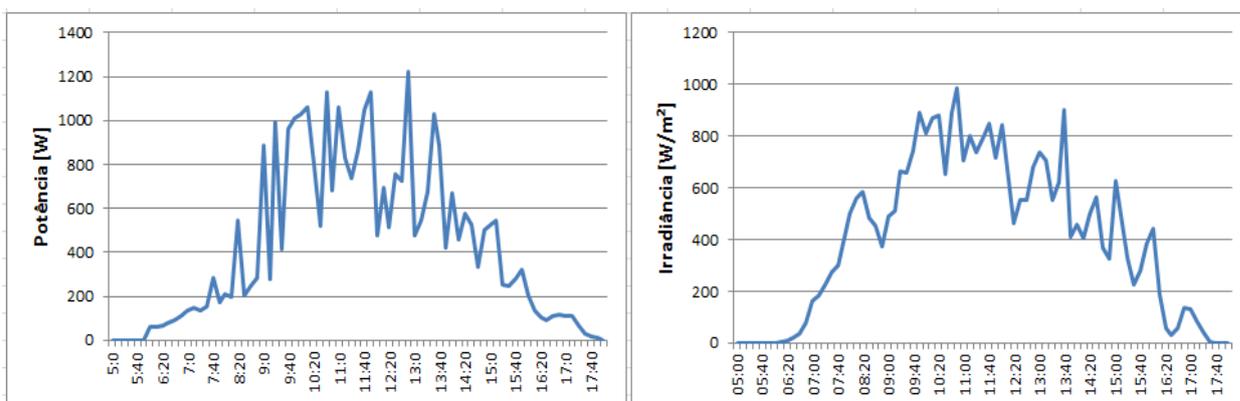
apenas 7,21% maior que $Ig_{mês\ m}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 6,90 kWh, ou seja, apenas 0,29% menor que $G_{mês\ m}$.

Na Figura 36 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em janeiro de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 36.(a), possui picos mais acentuados em relação à curva de irradiância, Figura 36.(b), devido à fraca homogeneidade dos dados.

Figura 36 – Curvas do dia representativo de janeiro (14/01/2017).

(a) Potência FV

(b) Irradiância



4.1.7 Fevereiro de 2017

Em fevereiro, houve 16 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 4,45 kWh/m², com s_{m_ig} de 1,9918 kWh/m² e CVP_{m_ig} de 0,4480. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem alta dispersão, logo a média não representa bem os dados medidos. Este é o primeiro mês analisado com uma dispersão alta, mostrando que os dados de irradiação são “heterogêneos”.

Na Figura 37 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de fevereiro; a maior irradiação verificada foi no dia 16/02/2017, com 6,95 kWh/m² e a menor no dia 17/02/2017, com 1,31 kWh/m².

Houve 26 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 6,62 kWh, com s_{m_G} de 1,8638 kWh e CVP_{m_G} de 0,2814. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem alta dispersão para a eletricidade gerada, mostrando que a eletricidade gerada, nos dias de fevereiro, pode variar significativamente. O FC_{med} FV de fevereiro foi de 18,40%.

Na Figura 38 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de fevereiro; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 16/02/2017, com 8,80 kWh e a menor no dia 17/02/2017, com 2,50 kWh.

Figura 37 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, fevereiro de 2017.

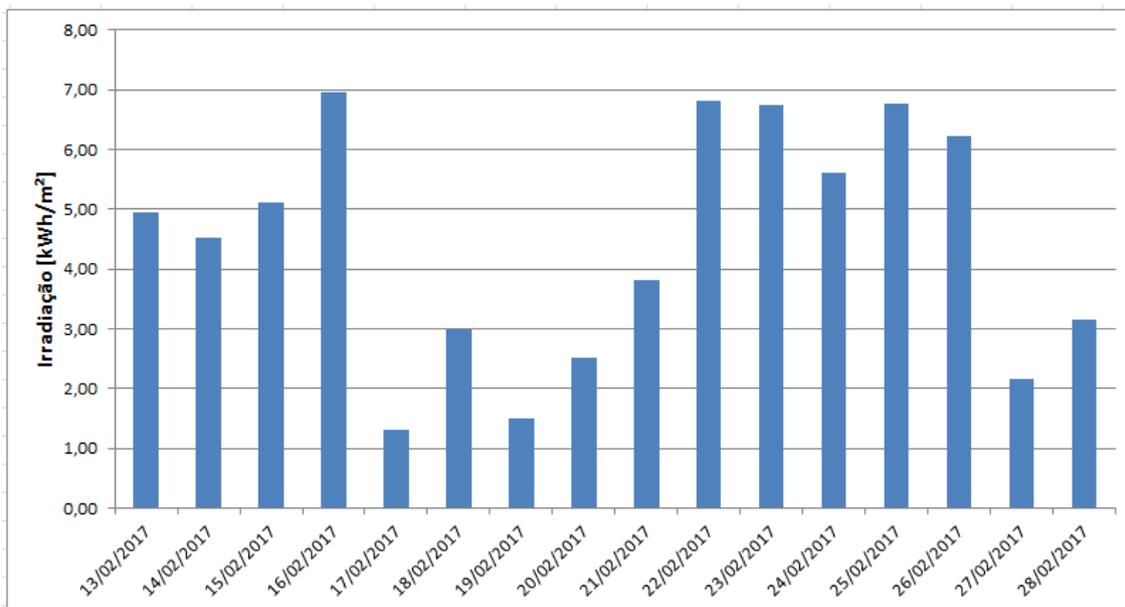
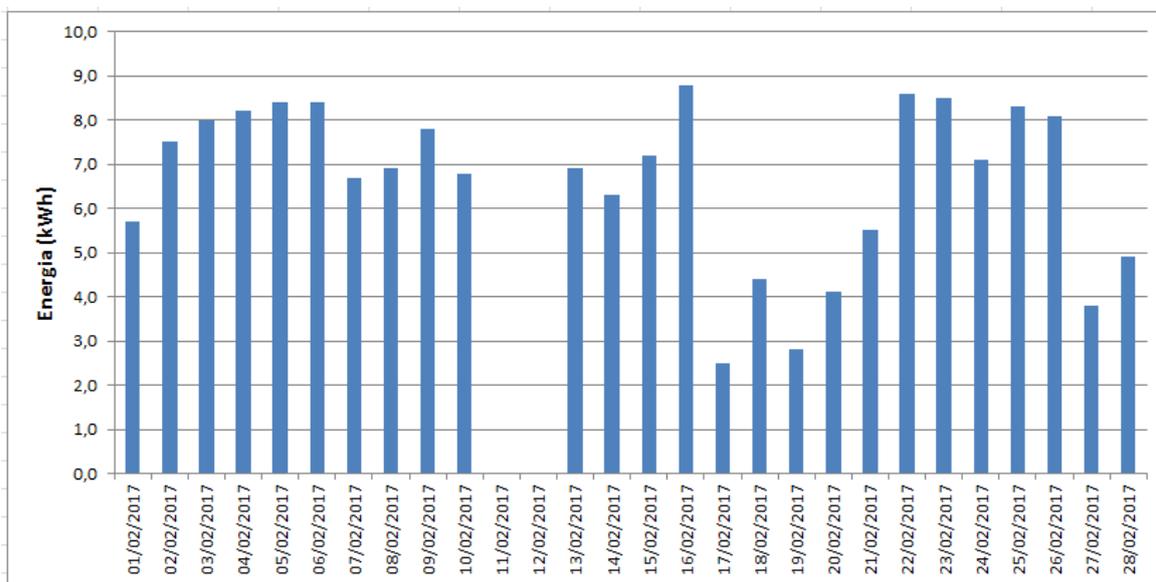


Figura 38 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em fevereiro de 2017.



O dia 14/02/2017 foi escolhido como dia representativo de fevereiro, pois o FC_{med} do dia foi de 17,50%, mostrando-se 4,89% menor que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $Ig_{mês\ m}$, tendo irradiação de 4,52 kWh/m², ou seja,

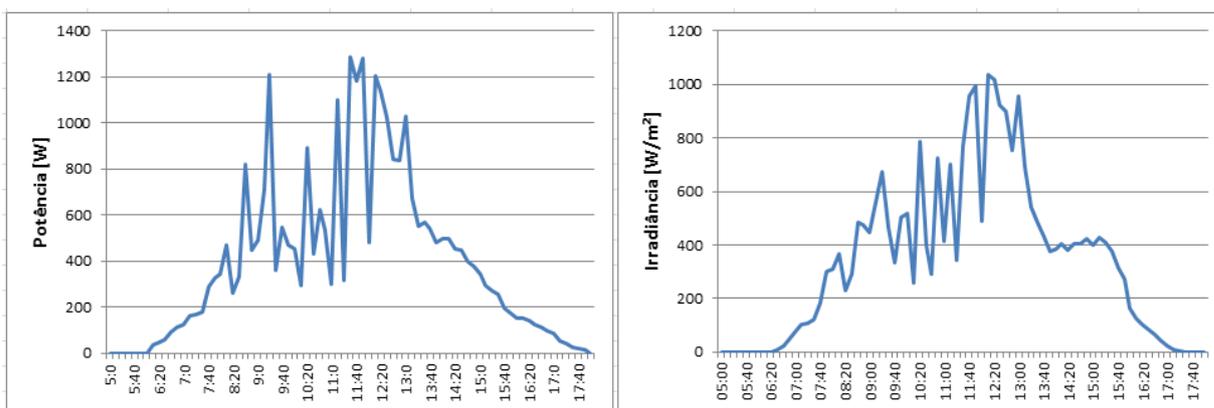
apenas 1,57% maior que $Ig_{mês\ m}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 6,30 kWh, apenas 2,48% menor que $G_{mês\ m}$.

Na Figura 39 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em fevereiro de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 39.(a), possui picos mais acentuados em relação à curva de irradiância, Figura 39.(b).

Figura 39 – Curvas do dia representativo de fevereiro (14/02/2017).

(a) Potência FV

(b) Irradiância



4.1.8 Março de 2017

Em março, houve 27 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 3,71 kWh/m², com s_{m_ig} de 1,3925 kWh/m² e CVP_{m_ig} de 0,3751. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem alta dispersão, logo a média não representa bem os dados medidos.

Na Figura 40 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de março; a maior irradiação verificada foi no dia 07/03/2017, com 6,60 kWh/m² e a menor no dia 24/03/2017, com 0,69 kWh/m².

Houve 21 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 5,92 kWh, com s_{m_G} de 1,5302 kWh e CVP_{m_G} de 0,2585. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem média dispersão para a eletricidade gerada. O FC_{med} FV de março foi de 16,44%.

Na Figura 41 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de março; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 07/03/2017, com 9,20 kWh e a menor no dia 08/03/2017, com 3,40 kWh.

Figura 40 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, março de 2017.

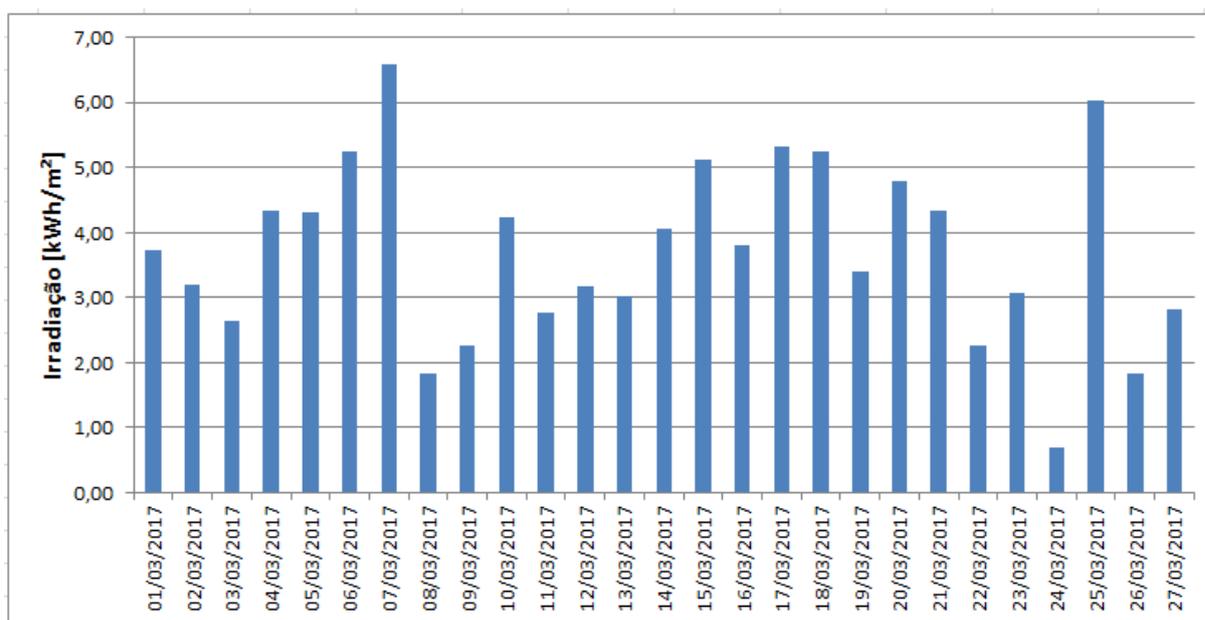
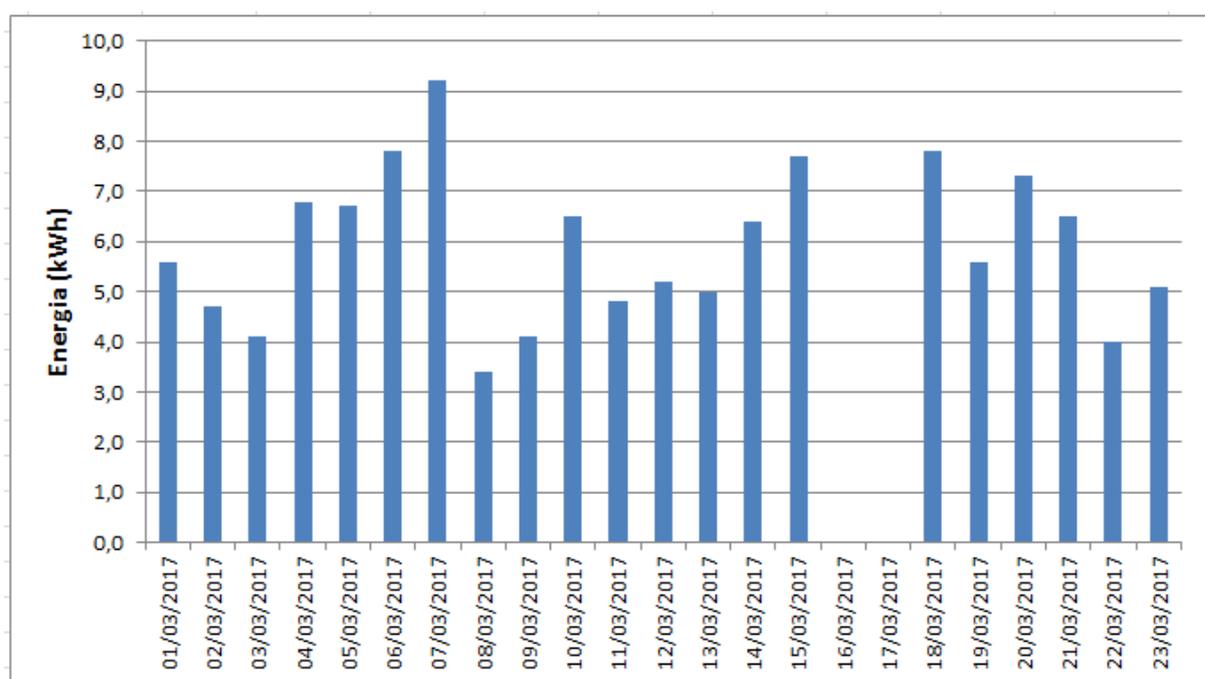


Figura 41 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em março de 2017.



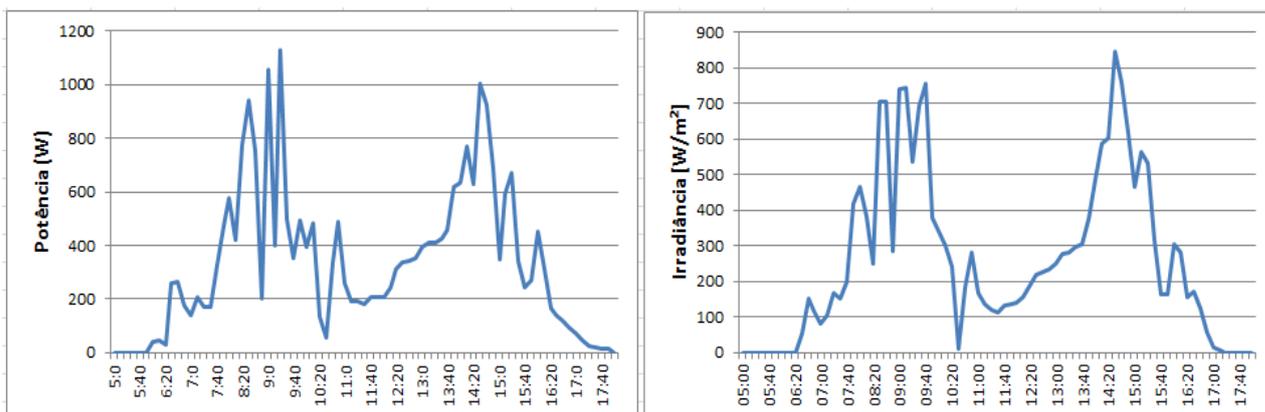
O dia 19/03/2017 foi escolhido como dia representativo de março, pois o FC_{med} do dia foi de 15,56%, mostrando-se 5,35% menor que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g_{mês}}$, tendo irradiação de 3,41 kWh/m², ou seja, apenas 8,09% maior que $I_{g_{mês}}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 5,60 kWh, apenas 5,41% menor que $G_{mês}$.

Na Figura 42 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em março de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 42.(a), tende a seguir a curva de irradiância, Figura 42.(b), mostrando que provavelmente ocorreu precipitação entre 10 h e 14 h..

Figura 42 – Curvas do dia representativo de março (19/03/2017).

(a) Potência FV

(b) irradiância



4.1.9 Abril de 2018

Em abril, houve 27 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 4,79 kWh/m², com $s_{m_{ig}}$ de 1,3009 kWh/m² e $CVP_{m_{ig}}$ de 0,2716. O $CVP_{m_{ig}}$ mostra que este mês a irradiação diária tem média dispersão, logo a média tem uma representação regular dos dados medidos.

Na Figura 43 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de abril; a maior irradiação verificada foi no dia 27/04/2018, com 6,1 kWh/m² e a menor no dia 17/04/2017, com 2,32 kWh/m².

Houve 30 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 6,99 kWh, com s_{m_G} de 1,5073 kWh e CVP_{m_G} de 0,2156. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem média dispersão. O FC_{med} FV de abril foi de 19,42%.

Na Figura 44 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de abril; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 27/04/2018, com 9,00 kWh e a menor no dia 17/04/2018, com 3,70 kWh.

Figura 43 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, abril de 2018.

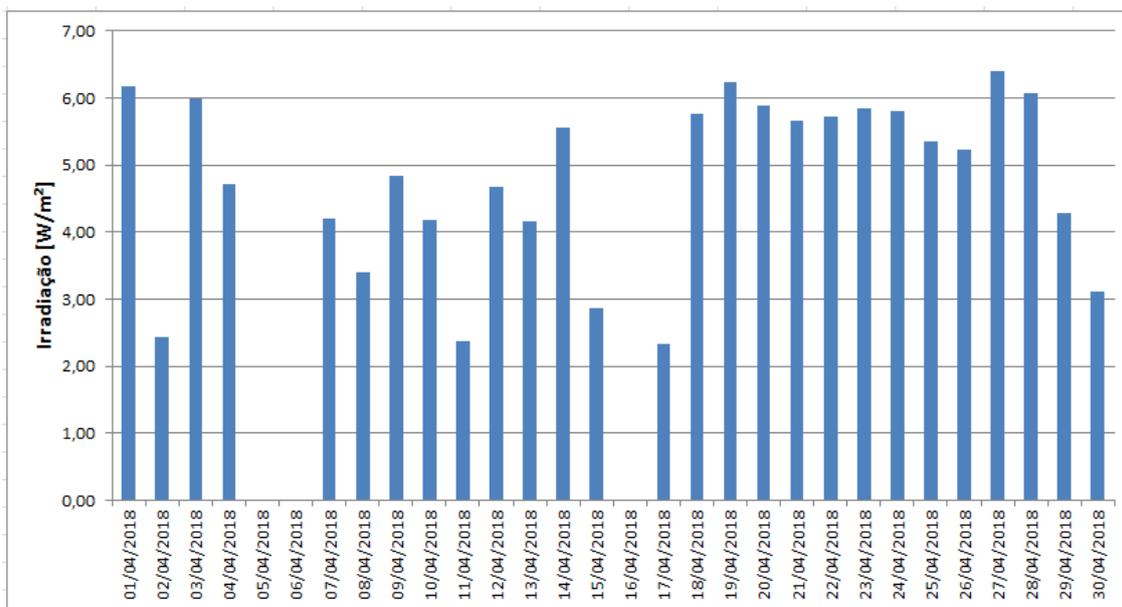
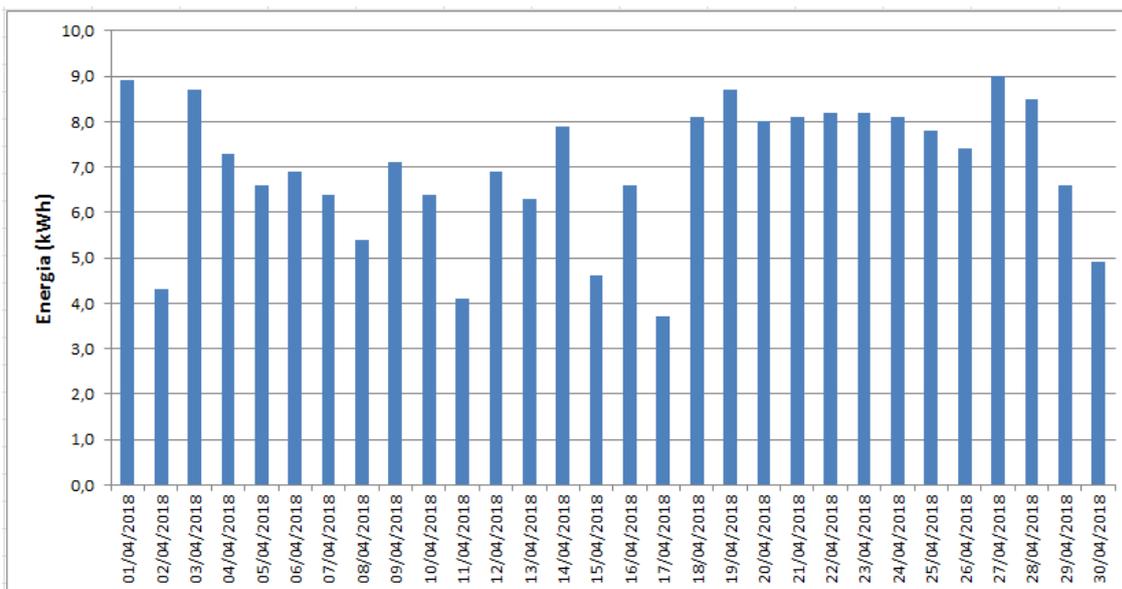


Figura 44 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em abril de 2018.



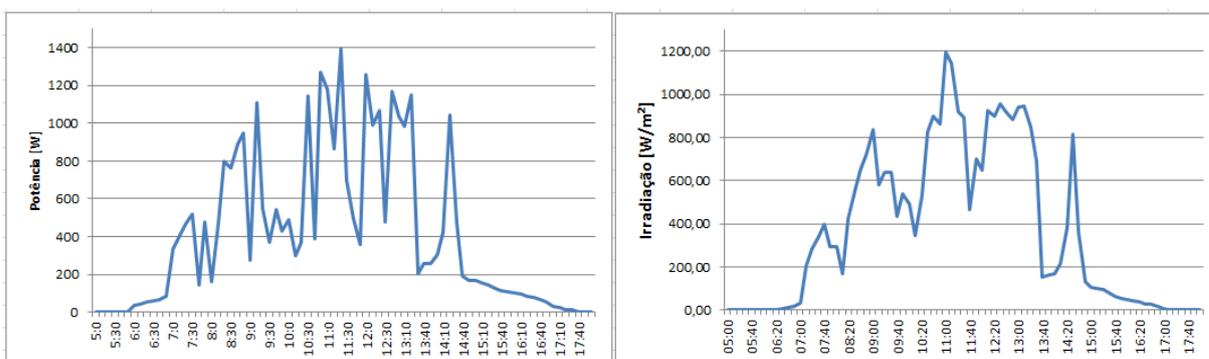
O dia 09/04/2018 foi escolhido como dia representativo de abril, pois o FC_{med} do dia foi de 19,72%, mostrando-se 1,54% maior que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g_{mês\ m}}$, tendo irradiação de 4,85 kWh/m², ou seja, apenas 1,25% maior que $I_{g_{mês\ m}}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 7,10 kWh, apenas 1,57% maior que $G_{mês\ m}$.

Na Figura 45 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em abril de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 45.(a), tende a seguir a curva de irradiância, Figura 45.(b).

Figura 45 – Curvas do dia representativo de abril (09/04/2018).

(a) Potência FV

(b) irradiância



4.1.10 Maio de 2017-2018

Em maio, houve 21 dias com medições de irradiação, sendo $I_{g_{mês\ m}}$ de 4,37 kWh/m², com $s_{m_{ig}}$ de 1,4814 kWh/m² e $CVP_{m_{ig}}$ de 0,3392. O $CVP_{m_{ig}}$ mostra que este mês a irradiação diária tem alta dispersão, logo a média não representa bem os dados medidos.

Na Figura 46 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de maio; a maior irradiação verificada foi no dia 23/05/2017, com 6,25 kWh/m² e a menor no dia 29/05/2017, com 0,44 kWh/m².

Houve 25 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 6,44 kWh, com s_{m_G} de 1,8207 kWh e CVP_{m_G} de 0,2827. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem média dispersão. O FC_{med} FV de maio foi de 17,89%.

Na Figura 47 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de maio; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 14/05/2018, com 8,9 kWh e a menor no dia 29/05/2017, com 1,30 kWh.

Figura 46 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, maio de 2017-2018

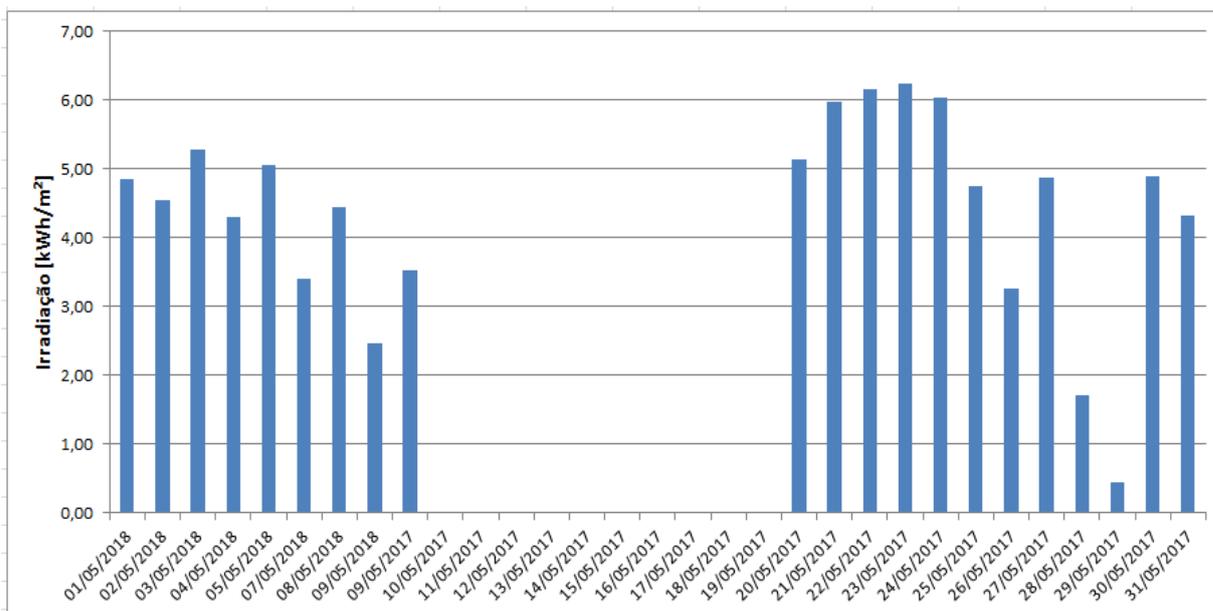
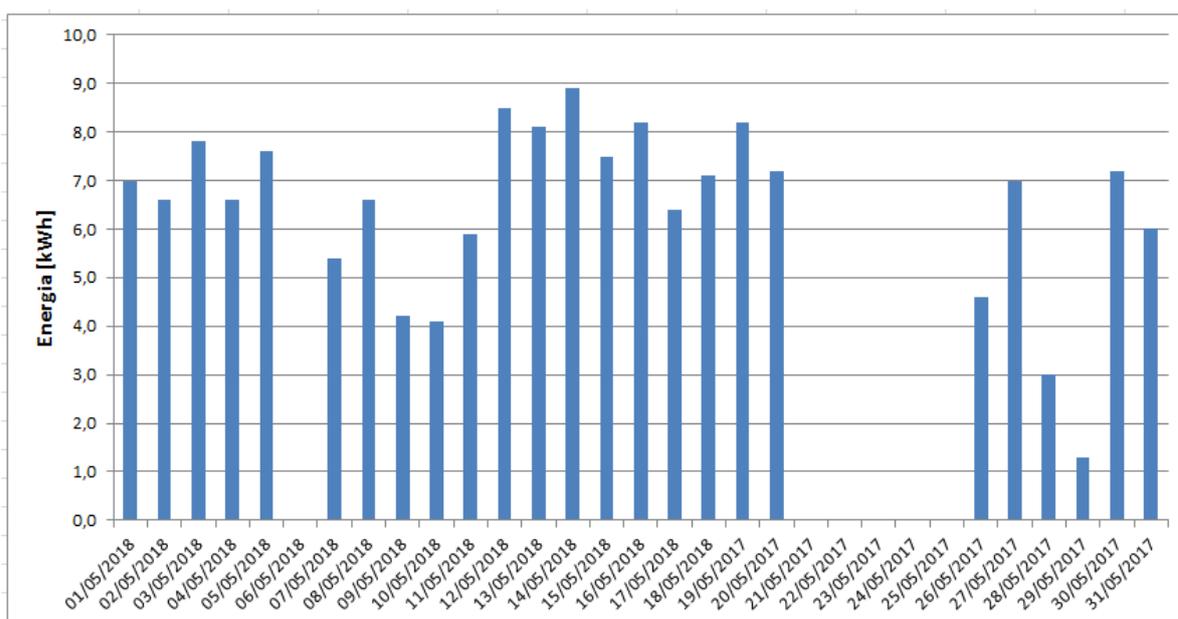


Figura 47 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em maio de 2017-2018



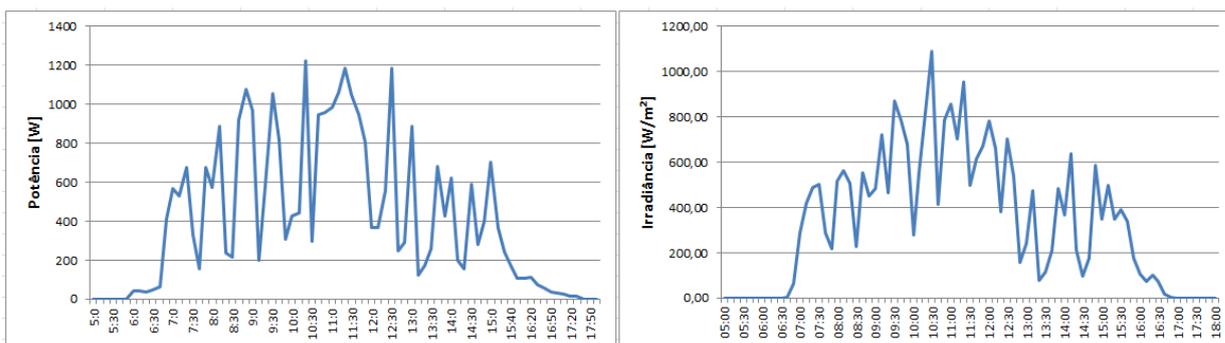
O dia 08/05/2018 foi escolhido como dia representativo de maio, pois o FC_{med} do dia foi de 18,33%, mostrando-se 2,45% maior que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g_{mês\ m}}$, tendo irradiação de 4,45 kWh/m², 1,83% maior que $I_{g_{mês\ m}}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 6,60 kWh, apenas 2,48% maior que $G_{mês\ m}$.

Na Figura 48 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em maio de 2017-18, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 48.(a), tende a seguir a curva de irradiância, Figura 48.(b), porém com a curva de irradiância tendo picos mais acentuados.

Figura 48 – Curvas do dia representativo de maio (08/05/2018).

(a) Potência FV

(b) Irradiância



4.1.11 Junho de 2017

Em junho, houve 24 dias com medições de irradiação, sendo $I_{g_{mês\ m}}$ de 5,21 kWh/m², com $s_{m_{ig}}$ de 0,6495 kWh/m² e $CVP_{m_{ig}}$ de 0,1246. O $CVP_{m_{ig}}$ mostra que este mês a irradiação diária tem baixa dispersão, logo a média representa bem os dados medidos.

Na Figura 49 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de junho; a maior irradiação verificada foi no dia 08/06/2017, com 6,00 kWh/m² e a menor no dia 11/06/2017, com 4,17 kWh/m².

Houve 24 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 7,73 kWh, com s_{m_G} de 1,0786 kWh e CVP_{m_G} de 0,1396. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem baixa dispersão. O FC_{med} FV de junho foi de 21,46%.

Na Figura 50 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de junho; a maior geração de eletricidade verificada ocorreu nos dias 18/06/2017 e 25/06/2017, ambos com 9,10 kWh e a menor no dia 30/06/2017, com 3,80 kWh.

Figura 49 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, junho de 2017.

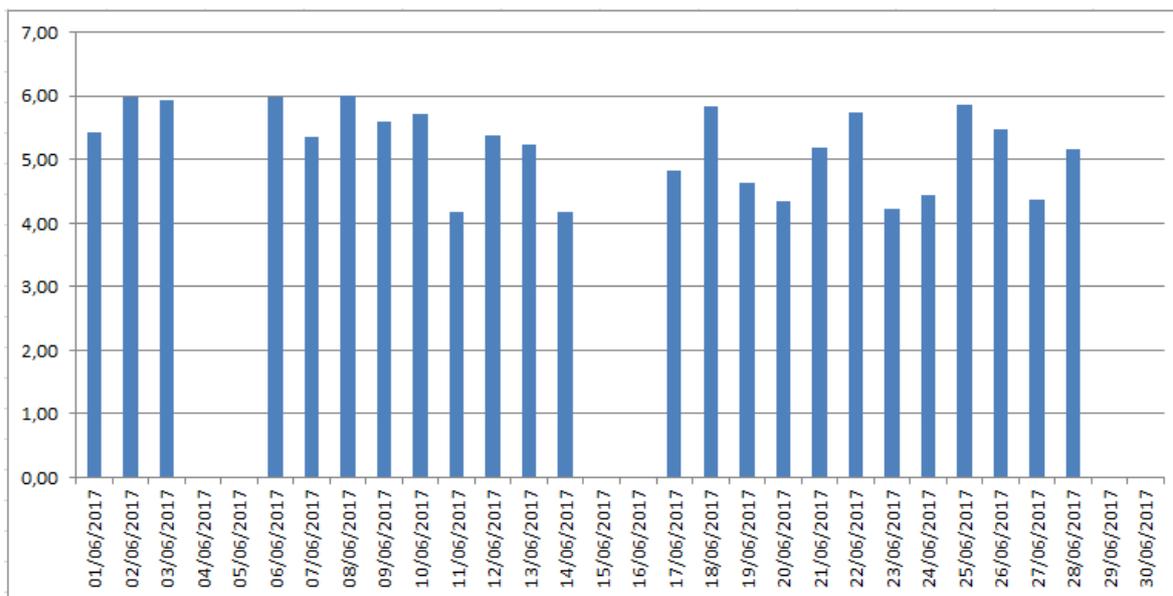
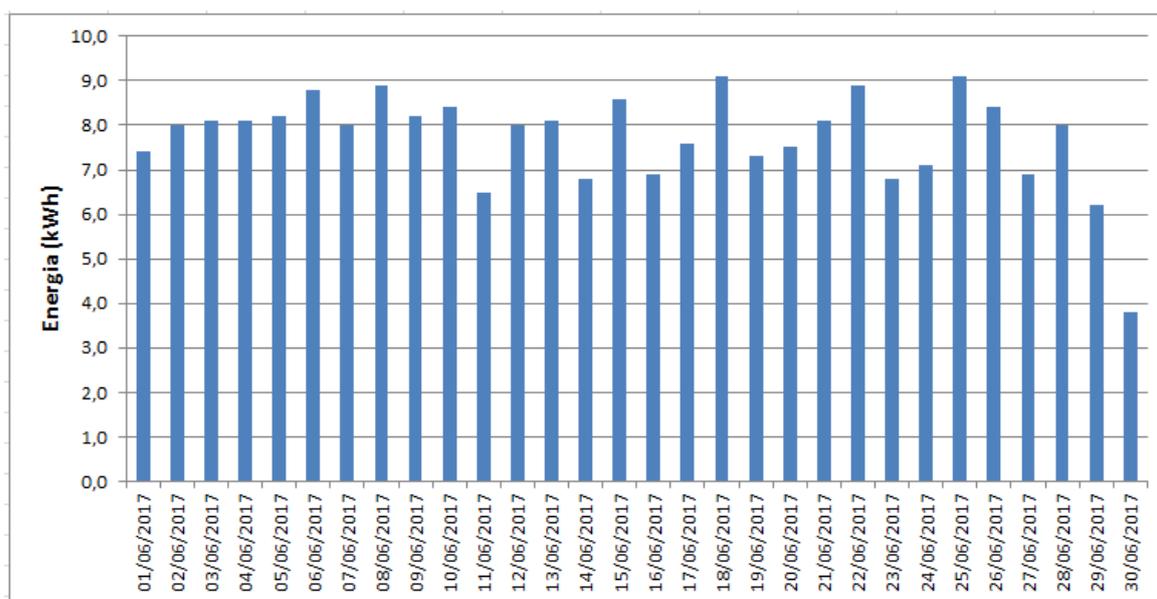


Figura 50 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em junho de 2017.

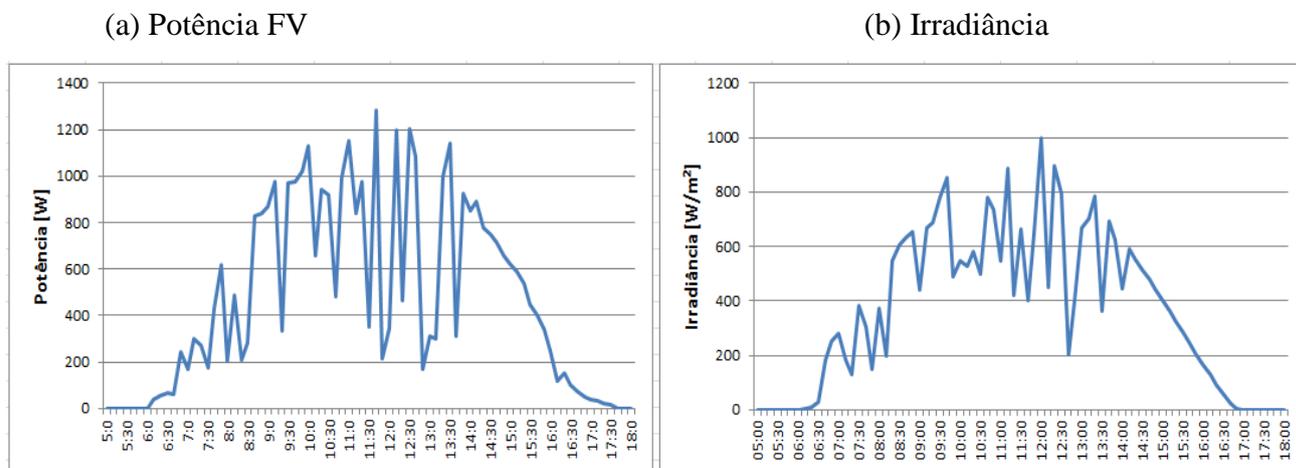


O dia 17/06/2017 foi escolhido como dia representativo de junho, pois é FC_{med} do dia foi de 21,11%, mostrando-se 1,63% menor que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $I_{g\text{mês } m}$, tendo irradiação de 4,82 kWh/m², ou seja, apenas 7,48% menor que $I_{g\text{mês } m}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 7,60 kWh, apenas 1,68% menor que $G_{\text{mês } m}$.

Na Figura 51 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiação, em junho de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 51.(a),

tende a seguir a curva de irradiância, Figura 51.(b), porém com a curva da potência fornecida FV tendo picos mais acentuados.

Figura 51 – Curvas do dia representativo de junho (17/06/2017).



4.1.12 Julho de 2017

Em julho, houve 30 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 5,05 kWh/m², com $s_{m_{ig}}$ de 1,0993 kWh/m² e $CVP_{m_{ig}}$ de 0,2175. O $CVP_{m_{ig}}$ mostra que este mês a irradiação diária tem média dispersão, logo a média representa regularmente os dados medidos.

Na Figura 52 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de julho; a maior irradiação verificada ocorreu nos dias 27/07/2017 e 30/07/2017, com 6,35 kWh/m² e a menor no dia 20/07/2017, com 2,32 kWh/m².

Houve 28 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 7,81 kWh, com s_{m_G} de 1,5489 kWh e CVP_{m_G} de 0,1984. O CVP_{m_G} mostra que este mês a geração de eletricidade diária tem média dispersão. O FC_{med} FV de julho foi de 21,69%.

Na Figura 53 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de julho; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 30/07/2017, com 9,60 kWh e a menor no dia 20/07/2017, com 4,00 kWh.

Figura 52 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, julho de 2017.

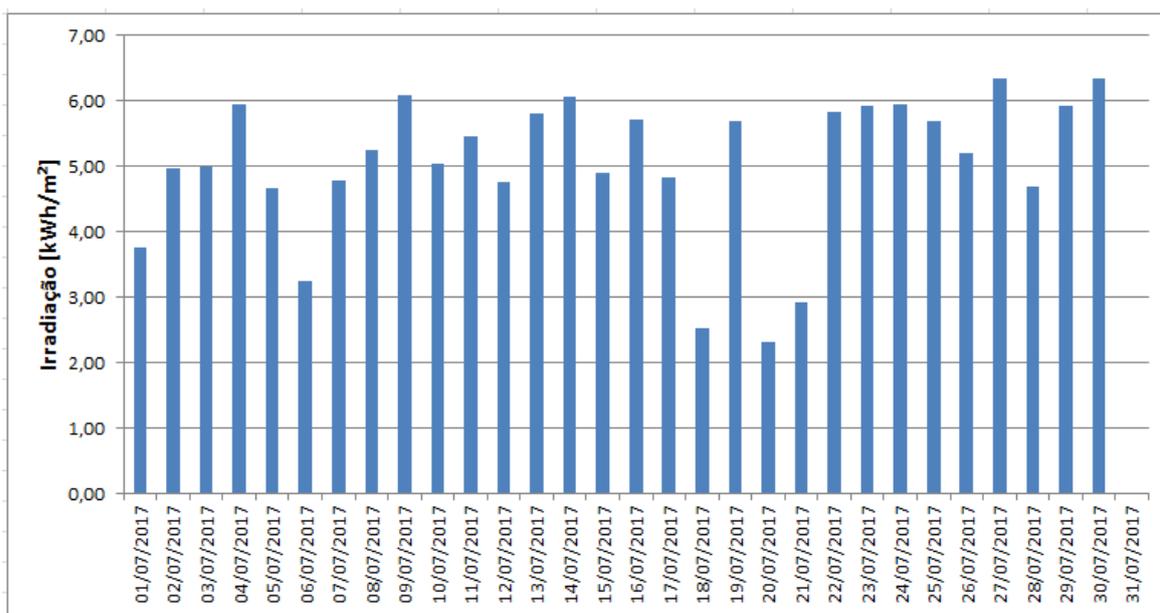
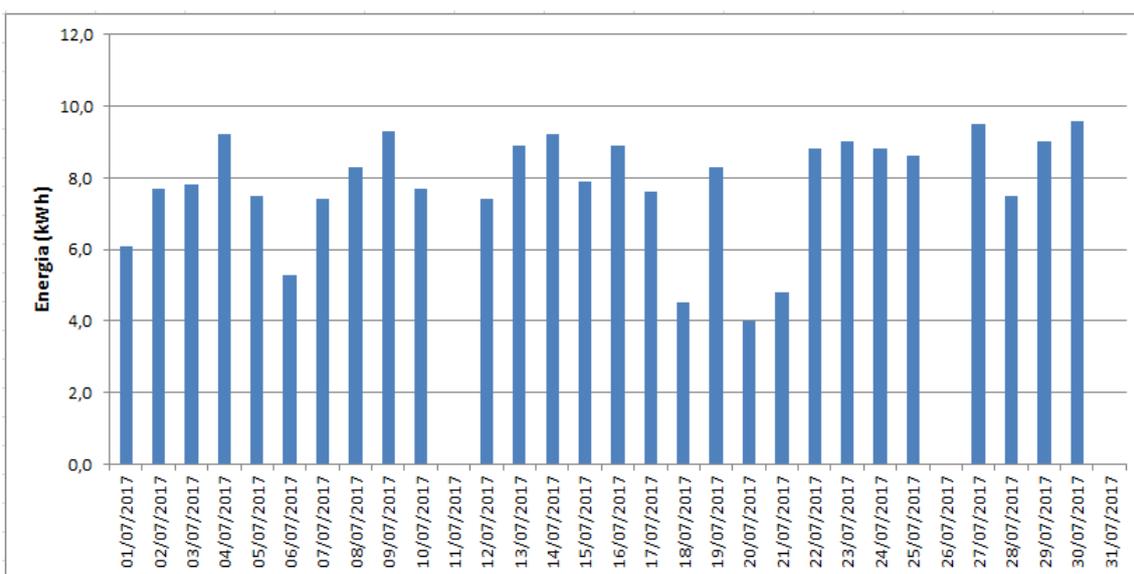


Figura 53 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em julho de 2017.



O dia 03/07/2017 foi escolhido como dia representativo de julho, pois o FC_{med} do dia foi de 21,67%, mostrando-se 0,09% menor que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $Ig_{mês\ m}$, tendo irradiação de 4,99 kWh/m², ou seja, apenas 1,19% menor que $Ig_{mês\ m}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 7,80 kWh, apenas 0,13% menor que $G_{mês\ m}$.

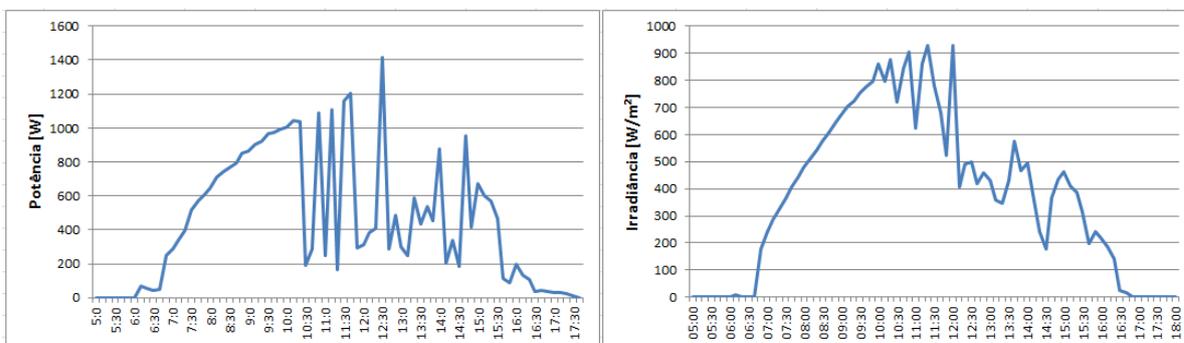
Na Figura 54 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em julho de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 54.(a),

tende a seguir a curva de irradiância, Figura 54.(b), até as 10 h, porém, após este período, a curva da potência fornecida FV tem picos mais acentuados.

Figura 54 – Curvas do dia representativo de julho (03/07/2017).

(a) Potência FV

(b) Irradiância

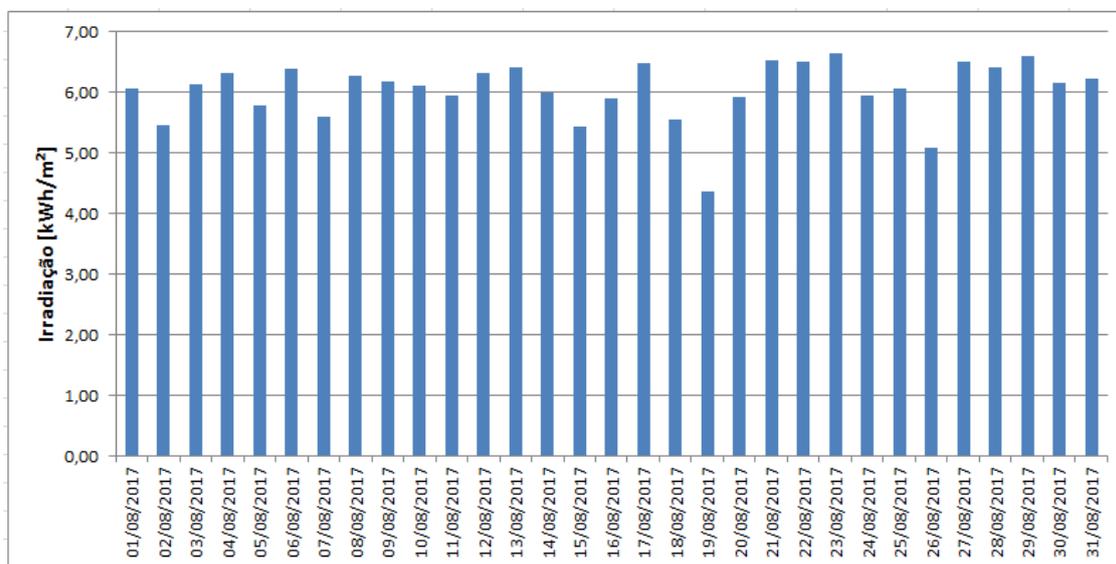


4.1.13 Agosto de 2017

Em agosto, houve 31 dias com medições de irradiação, sendo $Ig_{mês\ m}$ de 6,04 kWh/m², com s_{m_ig} de 0,4895 kWh/m² e CVP_{m_ig} de 0,0810. O CVP_{m_ig} mostra que este mês a irradiação diária tem baixa dispersão, logo a média representa bem os dados medidos.

Na Figura 55 é mostrado o comportamento da irradiação nos dias do mês de agosto; a maior irradiação verificada foi no dia 23/08/2017, com 6,65 kWh/m² e a menor no dia 19/08/2017, com 4,38 kWh/m².

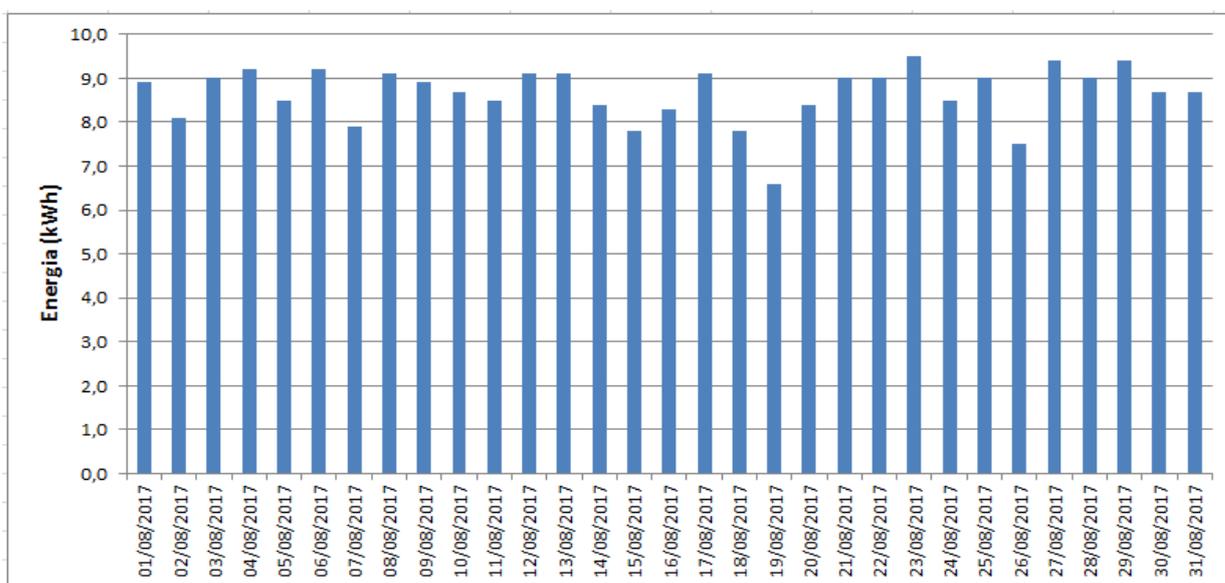
Figura 55 – Irradiação global média diária no LEA – UFC, agosto de 2017.



Houve 31 dias com medições da eletricidade gerada pela GD FV, sendo $G_{mês\ m}$ de 8,65 kWh, com s_{m_G} de 0,6366 kWh e CVP_{m_G} de 0,0736. O CVP_{m_G} mostra que este mês a eletricidade gerada diária tem baixa dispersão para a eletricidade gerada. O FC_{med} FV de agosto foi de 24,04%.

Na Figura 56 é mostrado o comportamento da GD FV nos dias do mês de agosto; a maior geração de eletricidade verificada foi no dia 23/08/2017, com 9,50 kWh e a menor no dia 19/08/2017, com 6,60 kWh.

Figura 56 – Eletricidade Gerada diária pela GD FV em agosto de 2017.

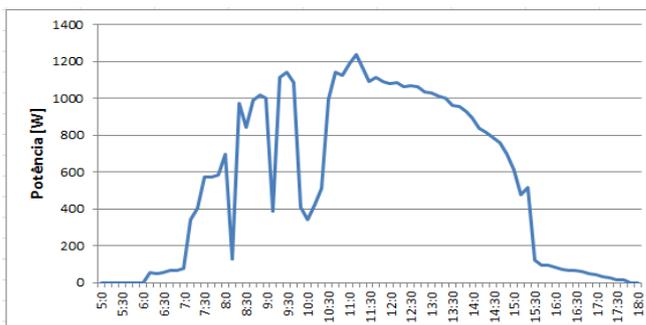


O dia 10/08/2017 foi escolhido como dia representativo de agosto, pois o FC_{med} do dia foi de 24,17%, mostrando-se 5,04% maior que o FC_{med} mensal. A irradiação do dia se aproxima de $Ig_{mês\ m}$, tendo irradiação de 6,12 kWh/m², ou seja, apenas 1,32% menor que $Ig_{mês\ m}$. A eletricidade gerada pela GD FV foi de 8,70 kWh, apenas 5,78% menor que $G_{mês\ m}$.

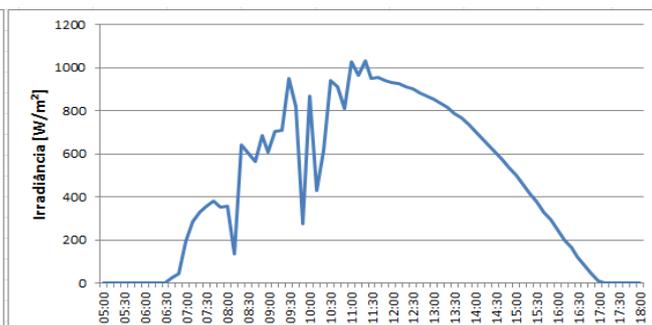
Na Figura 57 é mostrado o comportamento da GD FV e da irradiância, em julho de 2017, através do dia representativo. A potência fornecida FV, Figura 57.(a), tende a seguir a curva de irradiância, Figura 57.(b).

Figura 57 – Curvas do dia representativo de agosto (10/08/2017).

(a) Potência FV



(b) Irradiância



4.2 Característica do coeficiente de variação de Pearson da irradiação

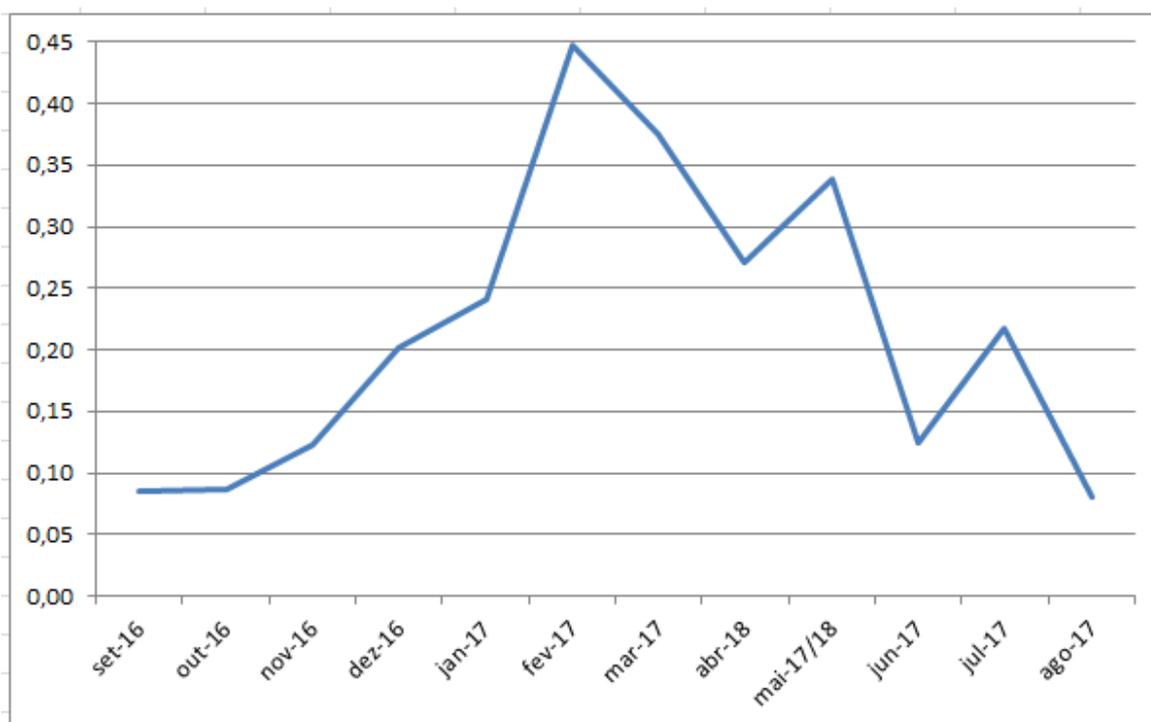
O Sol é considerado uma fonte intermitente de energia, por isto o $CVP_{m_{ig}}$ é um ótimo instrumento para mensurar a confiabilidade da irradiação obtida em um mês na região de estudo.

O $CVP_{m_{ig}}$ dos meses de setembro-16, outubro-16, novembro-16, junho-17 e agosto-17 estão abaixo de 0,15, mostrando que apesar da fonte ser intermitente a irradiação diária destes meses tem uma alta probabilidade de estar em torno da $Ig_{mês m}$.

O $CVP_{m_{ig}}$ dos meses de dezembro-16, janeiro-17, e julho-17 estão entre 0,15 e 0,30, mostrando que a $Ig_{mês m}$ tem uma representação regular em relação à irradiação diária, ou seja, pode-se esperar que a irradiação em muitos dias destes meses fique em torno da $Ig_{mês m}$, porém com uma variação maior que no caso anterior e com alguns dias não podendo ser representados.

O $CVP_{m_{ig}}$ dos meses de fevereiro-17, março-17, abril-17 e maio-17/18 estão acima de 0,30, mostrando que $Ig_{mês m}$ não pode representar a irradiação nos dias destes meses, pois a irradiação nestes dias possui valores que têm uma grande variação, decorrendo do fato de nestes meses a chuva ser mais intensa, porém ainda havendo dias ensolarados, algo típico da região de estudo.

Na Figura 58 é mostrado o comportamento do $CVP_{m_{ig}}$ no período estudado, em que o maior valor foi de 0,4480 em fevereiro de 2017 e o menor foi de 0,0810 em agosto de 2017.

Figura 58 - $CVP_{m_{ig}}$ anual da irradiação no LEA-UFC

4.3 Característica do coeficiente de variação de Pearson da GD FV

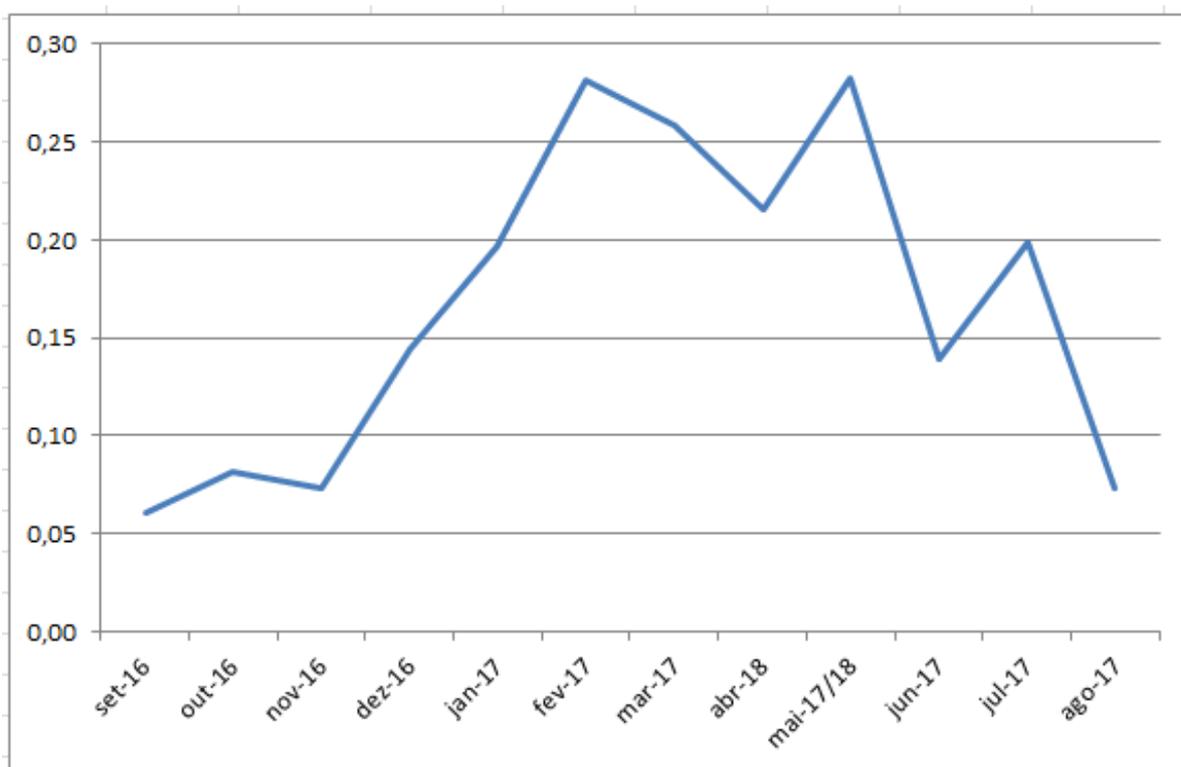
A tecnologia FV, por ter o Sol como fonte de energia, é considerada do tipo intermitente, por isto CVP_{m_G} é uma ferramenta estatística para mensurar com qual confiabilidade pode ser garantida a eletricidade gerada em um mês na região de estudo.

O CVP_{m_G} dos meses de setembro-16, outubro-16, novembro-16, dezembro-16, junho-17 e agosto-17 estão abaixo de 0,15, mostrando que apesar da fonte ser intermitente a geração nos dias destes meses tem uma alta probabilidade de estar em torno da $G_{mês m}$.

Os CVP_{m_G} dos meses de janeiro-17, março-17, abril-2018, maio-17/18 e julho-17 estão entre 0,15 e 0,30, mostrando que a $G_{mês m}$ tem uma representação regular em relação à eletricidade gerada diária, ou seja, pode-se esperar que a eletricidade gerada em muitos dias destes meses fique em torno da $G_{mês m}$, porém com uma variação maior que no caso anterior e com alguns dias não podendo ser representados.

Não houve CVP_{m_G} acima de 0,30, mostrando nos meses estudados não possuem valores que têm uma grande variação em relação à $G_{mês m}$.

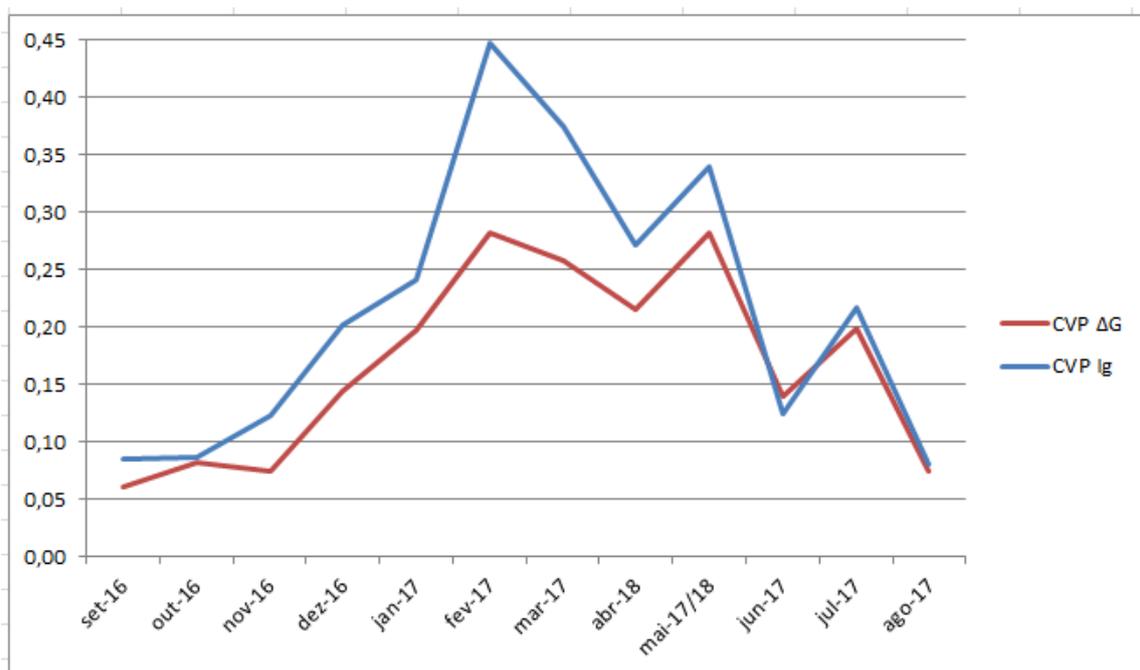
A Figura 59 mostra o comportamento do CVP_{m_G} no período estudado, em que o maior valor foi de 0,2827 em maio-17 e o menor foi de 0,0610 em setembro-17.

Figura 59 - CVP_{m_G} anual da GD FV instalada no LEA-UFC

4.4 Comparação entre coeficiente de variação de Pearson da irradiação e o coeficiente de variação de Pearson GD FV

Os $CVP_{m_{ig}}$ e CVP_{m_G} tendem a seguir o mesmo perfil de curva de variação, porém, como mostrado na Figura 60, a variação da irradiação é maior que a variação na eletricidade gerada - exceto no mês de junho-17, em que houve uma variação da irradiação neste mês um pouco menor que a variação da eletricidade gerada – no período em estudo.

Logo, conclui-se que a intermitência da fonte afeta a geração de eletricidade, mas que a previsão da eletricidade gerada é possível, pois a variação dos dados medidos da geração pode ser representada pelas médias mensais com boa ou regular representação.

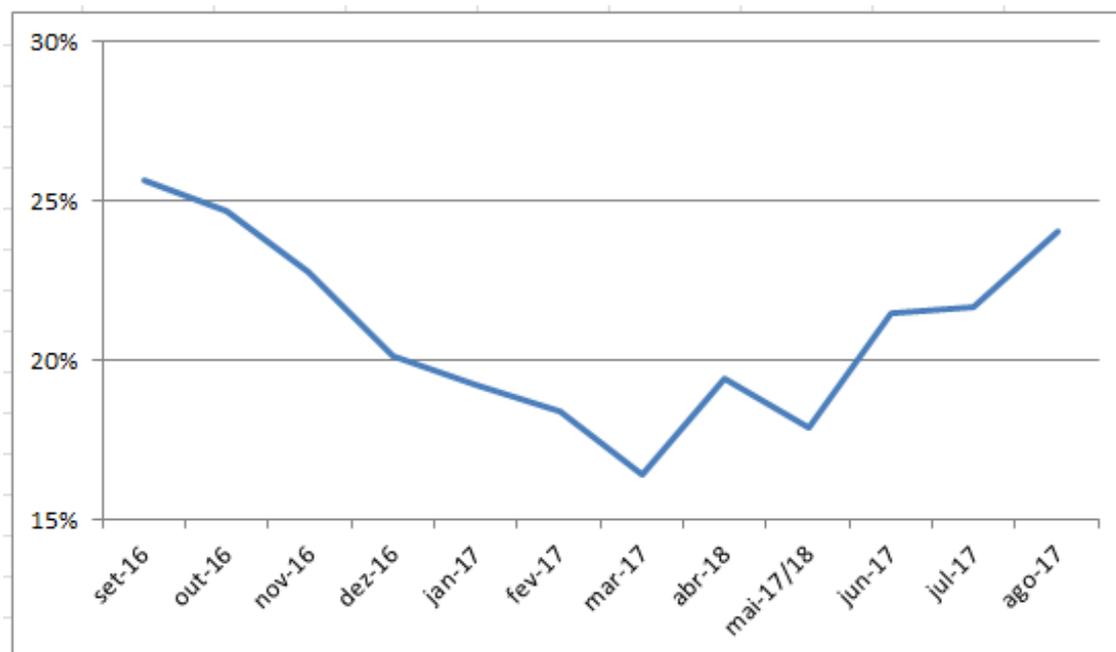
Figura 60 – Comparação entre $CVP_{m_{ig}}$ e CVP_{m_G} anual

4.5 Característica do fator de capacidade médio da GD FV

O FC_{med} no ano analisado da GD FV, mostrado na Tabela 08 e Figura 61, atinge seu valor máximo de 25,63% em setembro de 2016, tendo uma queda do valor até o mês de março de 2017, quando atinge o valor mínimo de 16,44%, tendo uma oscilação em abril e maio de 2017, então voltando a aumentar até o mês de agosto de 2017 quando atinge valor de 24,04%. O FC_{med} anual da GD FV foi de 20,98%, valor próximo de 19,20% que foi obtido por Lima, Ferreira, e Moraes (2017) em Fortaleza.

Tabela 08 - FC_{med} anual da GD FV instalada no LEA-UFC

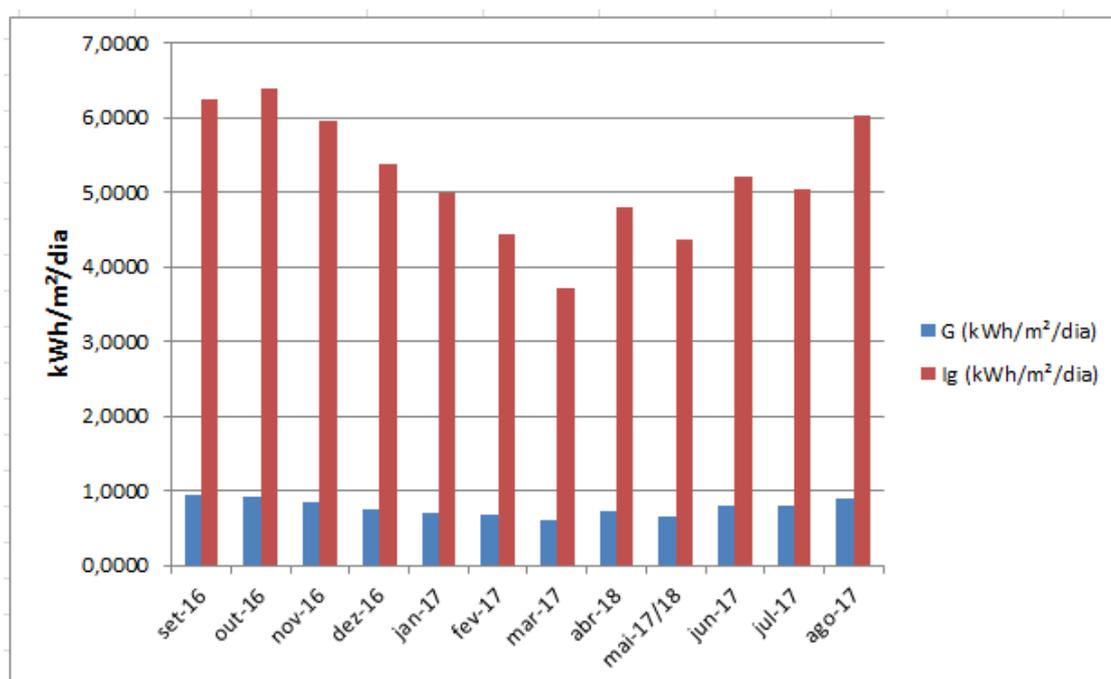
Mês/ano	set-16	out-16	nov-16	dez-16	jan-17	fev-17
FC_{med}	25,63%	24,67%	22,77%	20,13%	19,23%	18,40%
Mês/ano	mar-17	abr-18	mai-17/18	jun-17	jul-17	ago-17
FC_{med}	16,44%	19,42%	17,89%	21,46%	21,69%	24,04%
FC_{med} anual	20,98%					

Figura 61 – FC_{med} anual da GD FV instalada no LEA-UFC

4.6 Eficiência da GD FV instalada no LEA

Na Figura 62 é mostrada a eletricidade gerada e a irradiação incidente na GD FV; visando comparação, a unidade utilizada para ambas foi kWh/m²/dia. Apenas uma pequena parcela da energia solar incidente é convertida em eletricidade pelo sistema FV.

Figura 62 – Eletricidade gerada e Irradiação mensal da GD FV



Na Figura 63 e na Tabela 09 são mostradas a e_{FV} , calculada de acordo com a Equação 5. A maior e_{FV} é de 16,38% e ocorre no mês de março-17. A menor e_{FV} é de 13,86% e ocorre em dezembro-17. A e_{FV} nominal dos módulos FV é de 15,40%, logo, nos meses de março-17 e julho-17 a e_{FV} ficou acima da nominal.

A e_{FV} média anual foi de 14,94%, sendo esta uma ótima e_{FV} , apesar de estar abaixo da e_{FV} nominal. Esta ótima e_{FV} pode ser devido as constantes limpezas dos módulos FV durante o período em que o estudo foi realizado.

Figura 63 – e_{FV} da GD FV

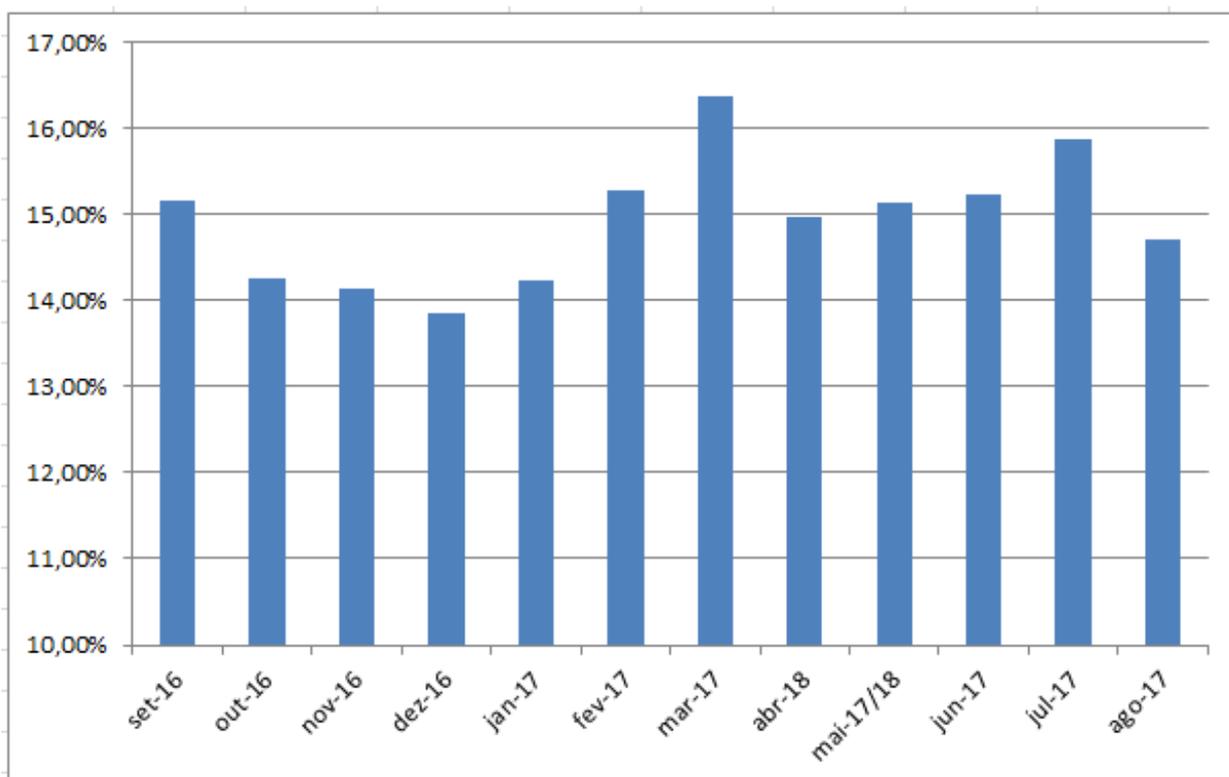


Tabela 09 - e_{FV} anual da GD FV instalada no LEA-UFC

Mês/ano	set-16	out-16	nov-16	dez-16	jan-17	fev-17
e_{FV}	15,16%	14,27%	14,15%	13,86%	14,24%	15,27%
Mês/ano	mar-17	abr-18	mai-17/18	jun-17	jul-17	ago-17
e_{FV}	16,38%	14,98%	15,13%	15,23%	15,88%	14,70%
e_{FV} anual	14,94%					

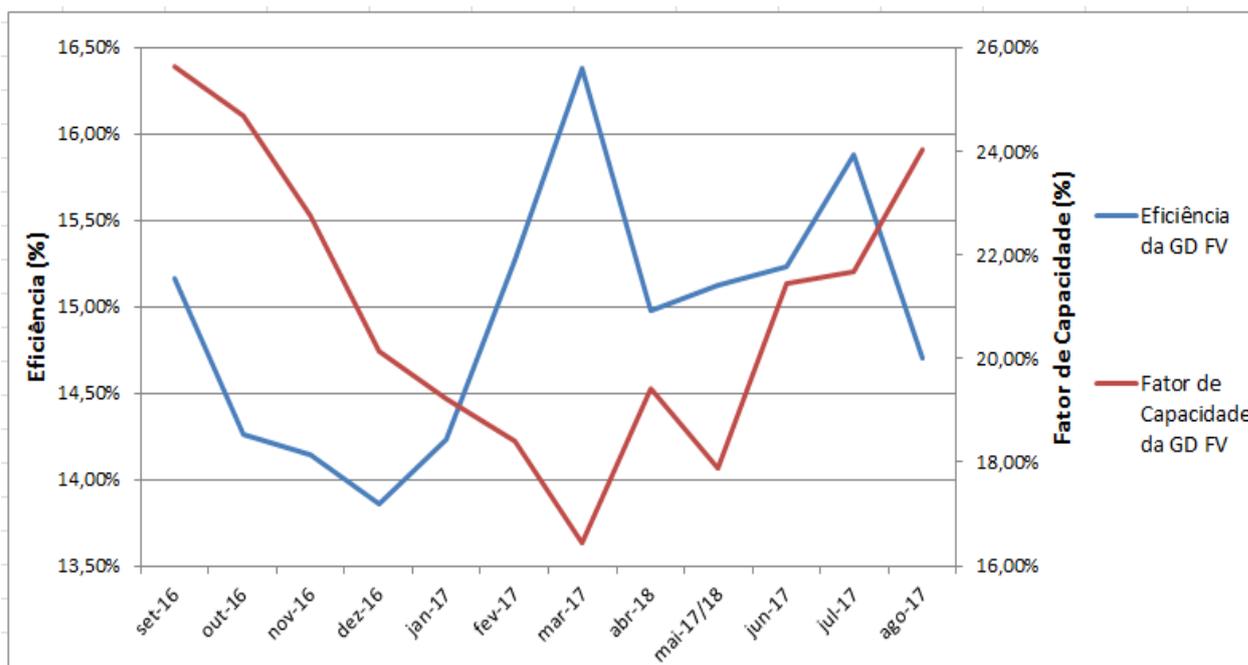
4.7 Relação entre FC_{med} FV e e_{FV} .

Na Figura 64 é mostrado o comportamento da e_{FV} e FC_{med} da GD FV no período em análise, tornando mais perceptível que uma maior e_{FV} não está necessariamente ligada com uma maior geração de eletricidade pelo sistema FV.

O FC_{med} e e_{FV} tendem a diminuir de setembro de 2016 até dezembro de 2016, quando começa o período chuvoso, ou seja, período com baixa irradiação. O FC_{med} tende a continuar diminuindo de dezembro de 2016 até março de 2017, enquanto a e_{FV} tende a aumentar, pois com a menor irradiação incidente nos painéis FV devido às chuvas a temperatura dos painéis tendem a diminuir, melhorando a e_{FV} , apesar de uma menor geração de energia elétrica.

Conforme os dados, o mês de março-17 teve o pior FC_{med} , logo, teve a pior $G_{mês m}$, porém apresenta a melhor e_{FV} . Além de depender da irradiação, existe uma dependência da eletricidade gerada com a temperatura do painel.

A Figura 64 - Comportamento da e_{FV} e FC_{med} da GD FV no período em análise.



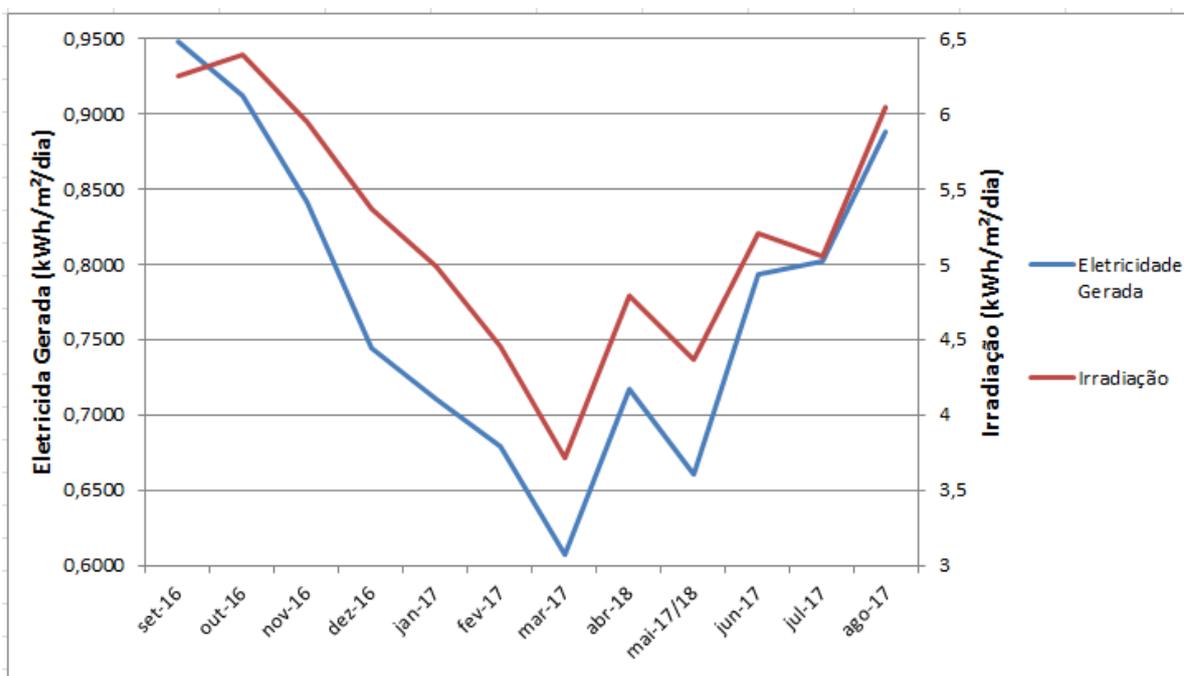
4.8. Comportamento da eletricidade gerada por m^2 pela GD FV e da irradiação por m^2 no período em análise

A Figura 65 mostra que a curva da eletricidade gerada por kWh/ m^2 /dia da GD FV, no período em estudo, tende a seguir a irradiação incidente local por

kWh/m²/dia, logo quanto maior a irradiação no dia, melhor tende a ser a geração de eletricidade.

A e_{FV} , assim, precisa ser otimizada com base em parâmetros que evitem afetar a incidência de irradiação local máxima de uma região, pois este ainda é o principal parâmetro para uma melhor geração de eletricidade, sendo recomendável o enfoque em fatores que diminuam a temperatura dos módulos FV, já que uma alta temperatura dos módulos FV tende a prejudicar A e_{FV} , refletindo na eletricidade gerada do sistema FV.

Figura 65 - Eletricidade gerada por kWh/m²/dia pela GD FV e da irradiação por kWh/m²/dia no período em análise.



4.9 Geração monitorada e prevista

A G_m é praticamente igual à G_{GD} nos meses de setembro-16, dezembro-16, janeiro-17, abril-18, junho-17 e agosto-17, pois a medição da eletricidade gerada pela GD FV foi feita em todos os dias destes meses. Nos outros meses analisados a G_{GD} é diferente da G_m , pois a G_{GD} é uma estimativa com base no FC_{med} caso a GD FV tivesse gerado eletricidade em todos os dias de cada mês.

A Tabela 10 mostra os dados medidos e calculados para G_m e G_{GD} , nas unidades kWh e kWh/m²/mês. A G_m média mensal no período analisado foi de 206,07 kWh/mês, equivalendo a 21,15 kWh/m²/mês, lembrando que a G_m considera apenas os

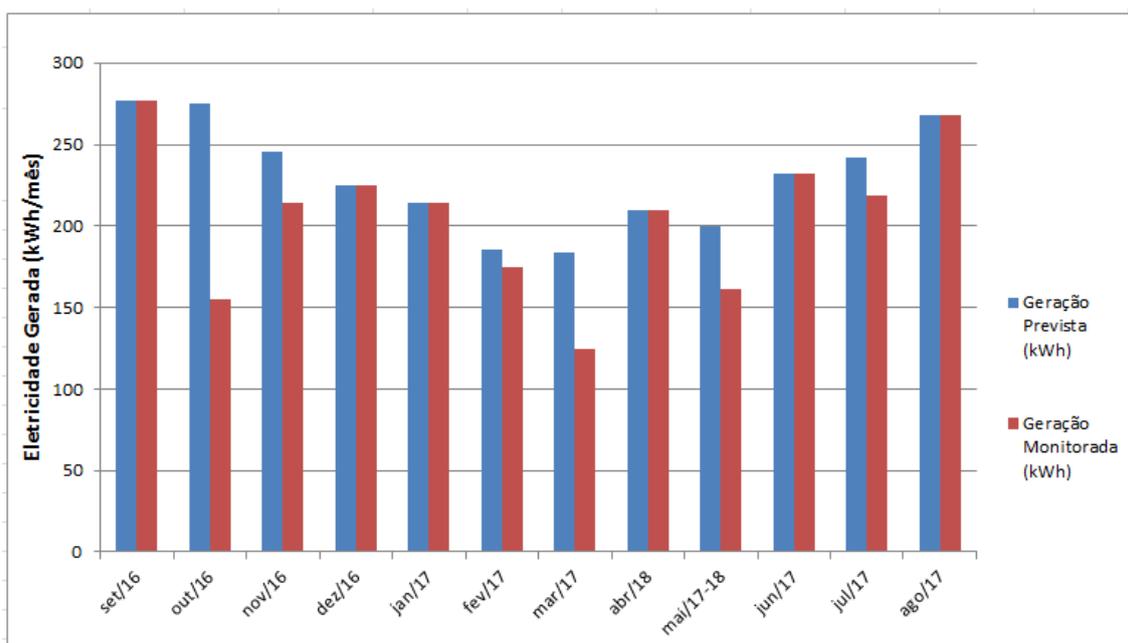
dias em que houve medição da eletricidade gerada. A G_{GD} média mensal no período analisado foi de 229,81 kWh/mês, equivalendo a 23,59 kWh/m²/mês, sendo este valor uma estimativa caso a GD FV operasse em todos os dias do ano.

Tabela 10 - Geração Prevista e Monitorada da GD FV no LEA de setembro de 2016 a agosto de 2017

	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17	Média	Total
Geração Prevista (kWh/mês)	276,80	275,32	245,92	224,65	214,61	185,47	183,47	209,74	199,65	231,77	242,06	268,29	229,81	2.757,74
Geração Prevista (kWh/m ² /mês)	28,41	28,26	25,24	23,06	22,03	19,04	18,83	21,53	20,49	23,79	24,85	27,54	23,59	283,09
Geração Monitorada (kWh/mês)	276,80	154,90	213,90	224,60	214,60	174,30	124,30	209,70	161,00	231,80	218,60	268,30	206,07	2.472,80
Geração Monitorada (kWh/m ² /mês)	28,41	15,90	21,96	23,06	22,03	17,89	12,76	21,53	16,53	23,79	22,44	27,54	21,15	253,84

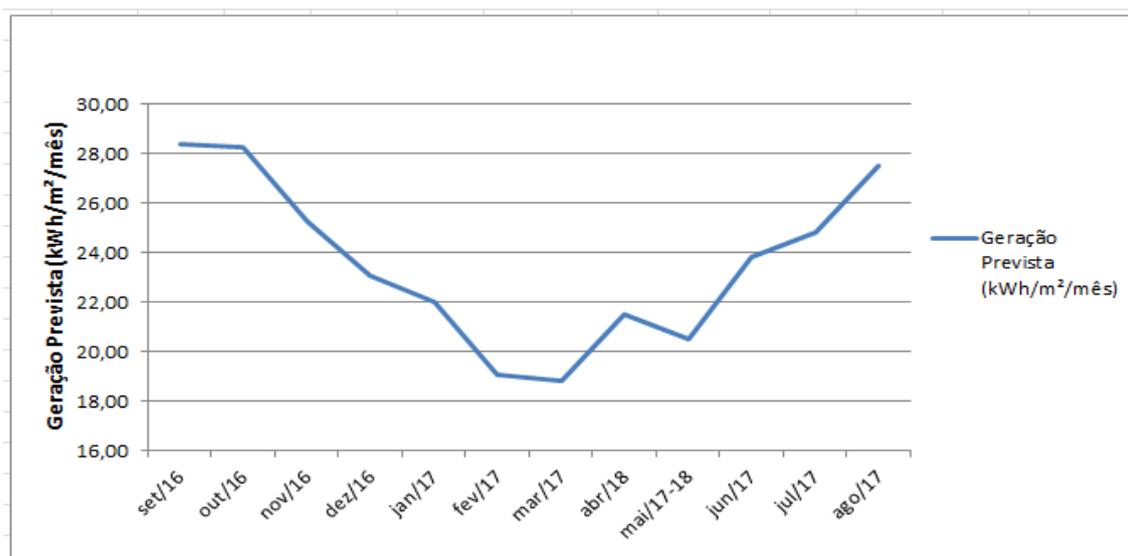
A Figura 66 mostra um gráfico em barras da G_m e G_{GD} para o período em análise.

Figura 66 – G_m e G_{GD} da GD FV no LEA de setembro de 2016 a agosto de 2017



A Figura 67 mostra o comportamento da G_{GD} por kWh/m²/mês, sendo a menor geração de eletricidade de 18,83 kWh/m²/mês ocorrendo no mês de março-17 e a maior geração de eletricidade de 28,41 kWh/m²/mês ocorrendo no mês de setembro-16.

Figura 67 - G_{GD} em kWh/m²/mês da GD FV no LEA de setembro de 2016 a agosto de 2017



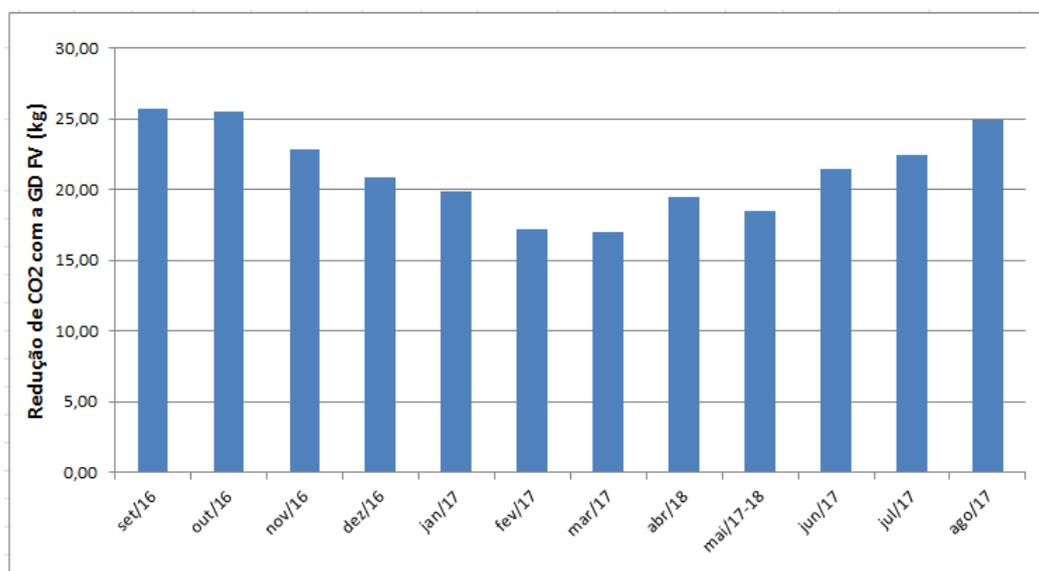
4.10 Equivalência na Redução de CO_2 proporcionado pela GD FV instalada no LEA

A E_{CO_2} , calculada pela Equação 14, no período estudado foi de 255,64 kg CO_2 /ano, com uma média mensal de 21,30 kg CO_2 /mês. A Tabela 11 mostra os valores da redução de CO_2 mensal proporcionado pela GD FV.

Tabela 11 - Redução de CO_2 proporcionado pela GD FV no período estudado

	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17	Média	Total
Redução de CO_2 (kg CO_2 /mês)	25,66	25,52	22,80	20,83	19,89	17,19	17,01	19,44	18,51	21,48	22,44	24,87	21,30	255,64

A Figura 68 mostra o comportamento da E_{CO_2} graficamente no período em análise, sendo o menor E_{CO_2} de 17,01 kg CO_2 em março de 2017 e com o mês de fevereiro de 2017 com um valor próximo de 17,19 kg CO_2 . O maior E_{CO_2} foi de 25,66 kg CO_2 em setembro de 2016, mas com outubro de 2016 com um valor próximo de 25,52 kg CO_2 .

Figura 68 – Comportamento da E_{CO_2} de setembro de 2016 a agosto de 2017

4.11 Equivalência na redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV instalada no LEA considerando uma equivalência com uma termelétrica com ciclo de Rankine

A $E_{\text{carvão}}$, calculada pela Equação 15, no período estudado foi de 859,04 kgCarvão/ano, com uma média mensal de 71,59 kgCarvão/mês. A Tabela 11 mostra os valores da redução de carvão mensal em kg proporcionado pela GD FV considerando uma equivalência com uma termelétrica com ciclo de Rankine.

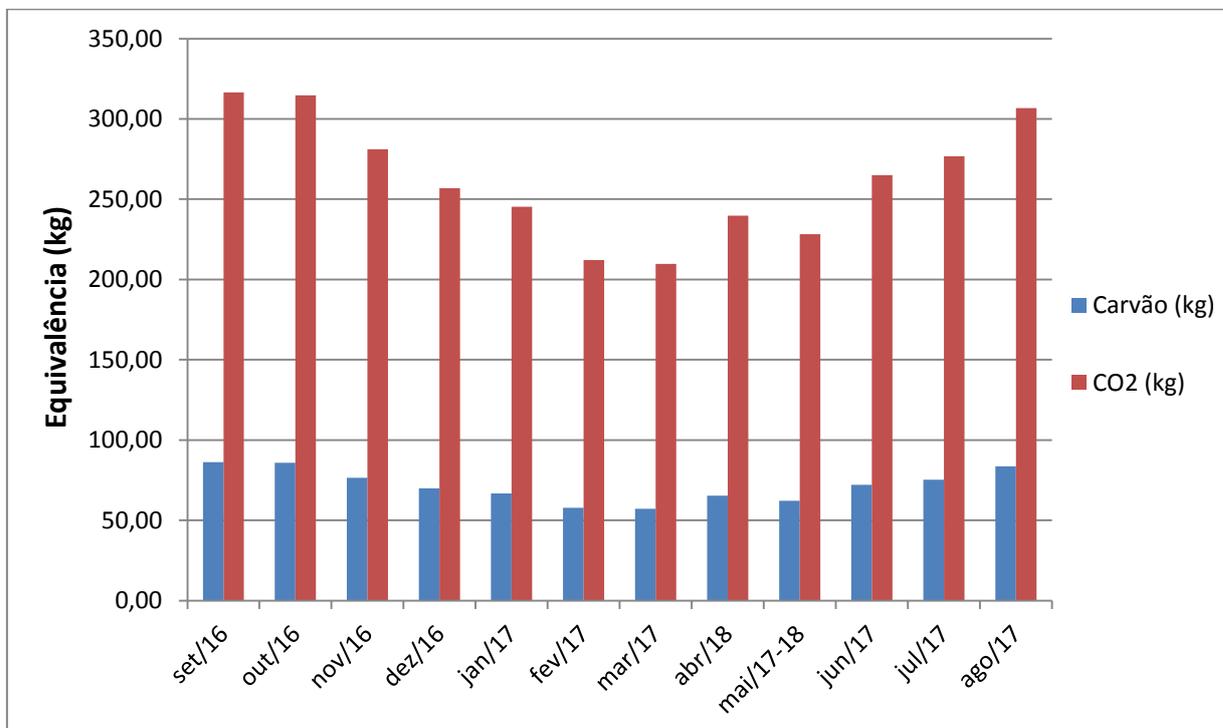
A $E_{\text{carvão}-CO_2}$, calculada pela Equação 16, no período estudado foi de 3152,66 kg CO_2 /ano, com uma média mensal de 262,72 kg CO_2 /mês. A Tabela 11 mostra os valores da redução de CO_2 mensal em kg proporcionado pela GD FV considerando uma equivalência com uma termelétrica com ciclo de Rankine.

Tabela 12 - Redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV considerando uma termelétrica com ciclo de Rankine.

	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17	Média	Total
Equivalência de Carvão (kg/mês)	86,22	85,76	76,60	69,98	66,85	57,77	57,15	65,33	62,19	72,20	75,40	83,57	71,59	859,04
Equivalência de CO_2 (kg/mês)	316,44	314,74	281,13	256,82	245,34	212,03	209,74	239,77	228,24	264,96	276,72	306,71	262,72	3.152,66

A Figura 69 mostra o comportamento de $E_{\text{carvão}}$ e $E_{\text{carvão-CO}_2}$ graficamente no período em análise.

Figura 69 – Comportamento de $E_{\text{carvão}}$ e $E_{\text{carvão-CO}_2}$ em setembro de 2016 a agosto de 2017



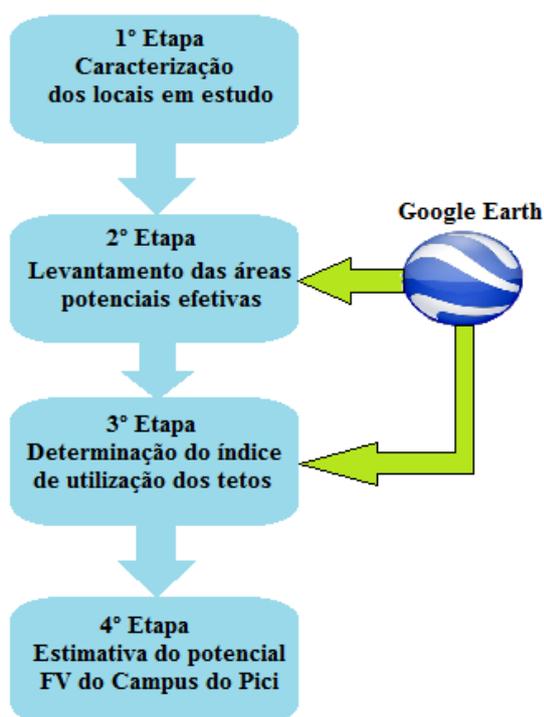
5 POTENCIAL PARA INSTALAÇÃO DA GD FV NO CAMPUS DO PICI DA UFC

No presente capítulo da dissertação é mostrada uma visão global do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC) e o seu potencial para a GD FV. O mapeamento das coberturas (telhados de vários tipos) em m² das edificações do Campus é realizado através da utilização do programa *Google Earth* (GE) e do sombreamento nestas áreas, a fim de verificar qual o percentual do consumo de energia elétrica do Campus do Pici pode ser compensado pela geração de energia elétrica a partir de módulos FV instalados nos prédios.

5.1 Procedimentos

Este procedimento é feito em quatro etapas, conforme o fluxograma da Figura 70. Na primeira etapa busca-se caracterizar o local em que o estudo está sendo feito, na segunda etapa se faz o levantamento das áreas potenciais efetivas com o uso do *Google Earth*, a terceira etapa determina-se o índice de utilização das coberturas através do sombreamento e, achada as áreas úteis, a quarta etapa se estima o potencial FV do Campus.

Figura 70 – Etapas para estimação do potencial FV do Campus do Pici



5.2 Caracterização do Campus do Pici

O Campus do Pici é o maior campus da UFC, com 212 hectares, localizado no bairro do Pici em Fortaleza. O Campus abriga a maior parte da estrutura da UFC, sendo dividido em setores como:

- Centro de Ciências;
- Centro de Ciências Agrárias;
- Centro de Tecnologia;
- Pró-Reitoria de Graduação;
- Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação;
- Instituto de Cultura e Arte;
- Instituto de Educação Física e Esportes;
- Instituto UFC Virtual;
- Biblioteca Universitária;

Na presente dissertação o enfoque é dado ao Centro de Tecnologia (CT-UFC), Centro de Ciências (CC-UFC), Centro de Ciências Agrárias (CCA-UFC), Instituto de Cultura e Arte (ICA-UFC), Restaurante Universitário (RU-UFC) e à Biblioteca Universitária (BU-UFC), sendo estes separados em cinco “conjuntos” de áreas que têm o potencial FV analisados, sendo o ICA-UFC e o RU-UFC fazendo parte do mesmo conjunto devido à proximidade.

5.3 CT-UFC

A trajetória de desenvolvimento socioeconômico do Ceará passa pela história do CT-UFC. Desde a implantação do processo de industrialização cearense, ainda nos tempos da Escola de Engenharia, a UFC qualifica profissionais para dar suporte aos avanços dos setores produtivos locais (CTUFC, 2018).

A escolha do CT foi devido ao seu alto número de edificações amostrais. Figura 71 apresenta vista aérea do CT localizado no Campus do Pici tirada através do programa GE, sendo colocada a numeração de cada bloco para facilitar futuras referências às edificações.

No total é avaliado o potencial de 27 edificações do CT-UFC, ressaltando que o LCE (Laboratório de Condicionamento de Energia), apesar de fazer parte do bloco 705, é considerado um bloco separado e o bloco chamado de Dep. é um depósito.

É preciso alocar a GD FV em local com boa condição de recepção da irradiação solar, sendo comumente escolhidas as coberturas das edificações como locais apropriados. Usando o programa GE é feito um levantamento das áreas potenciais efetivas das coberturas das 27 edificações do CT-UFC, visando, no fim desta etapa, uma base de dados sólida para determinação do índice de utilização das coberturas e estimativa do potencial FV.

Figura 71- Vista aérea do CT-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Utilizando a ferramenta “polígonos” do GE, com o formato da imagem em 2D, é possível se ter uma estimativa da área em m² da cobertura da edificação, estimativa das edificações que são passíveis de receber boa incidência de raios solares em suas coberturas e a estimativa das áreas passíveis de receber os módulos FV, sendo estas áreas chamadas de áreas potenciais efetivas. Estas verificações das áreas potenciais efetivas também são feitas através da ferramenta 3D do GE. Foi realizada também verificação por fotos e presencial de acordo com as necessidades encontradas.

Figura 72 mostra a vista em 2D do bloco 717 e as poligonais desenhadas através do GE para a estimativa da área potencial efetiva desta edificação. Neste bloco foram traçadas cinco poligonais de coloração vermelha, que são as áreas consideradas efetivas (aptas a receber módulos FV), e foi traçada uma poligonal azul, que é uma área computada como não efetiva (não prioritária a receber módulos FV). É importante destacar que apesar do diodo de *bypass* ter a capacidade de evitar a corrente reversa nas células solares devido ao sombreamento, neste trabalho buscou-se alocar os módulos FV sem a dependência desta tecnologia, devido ao seu preço elevado por células FV.

Figura 72 - Área da cobertura do bloco 717 em 2D



Fonte: Adaptada do Google Earth.

A Figura 73, que tem uma visão em 3D do bloco 717, mostra o motivo de não utilização da área azul da Figura 69. A área azul é um local com profundidade com cerca de dois metros de diferença de altura para as áreas vizinhas, que causam alto sombreamento nesta região, não podendo ser classificada como uma boa área para instalação de módulos FV.

Figura 73 - Vista em 3D do bloco 717



Fonte: Adaptada do Google Earth.

A Figura 74 mostra a visão 2D do bloco 707. Seguindo o mesmo padrão do bloco 717, se tem que a poligonal de coloração vermelha representa uma área efetiva e a poligonal com área azul representa uma área que não foi computada por ser considerada não efetiva.

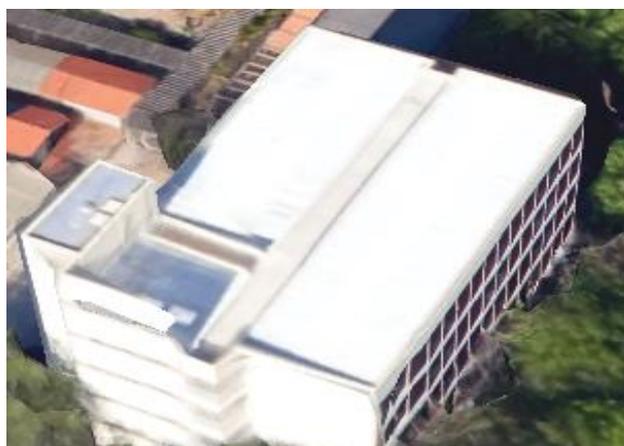
Figura 74 - Área da cobertura do bloco 707 em 2D



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Figura 75 mostra a vista 3D do bloco 707, podendo-se perceber que no local da área azul da Figura 74 existe uma caixa d'água e uma região mais elevada que o resto da cobertura desta edificação, portanto tornando esta área não compatível com o recebimento de módulos FV, assim não sendo computada como área efetiva.

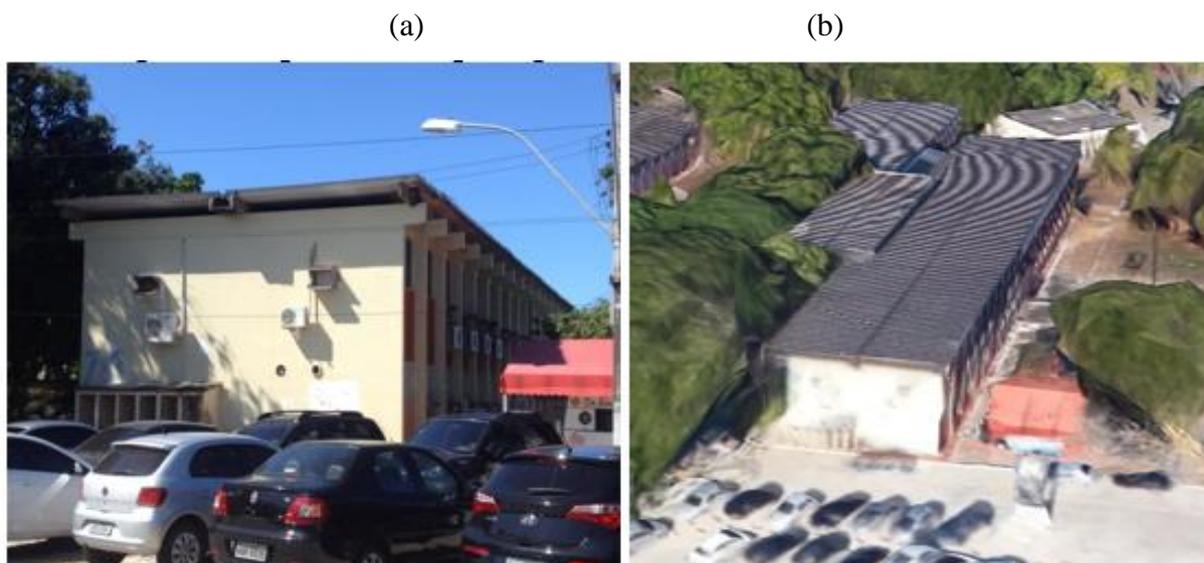
Figura 75 - Vista em 3D do bloco 707



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Através da comparação de imagens registradas de satélites disponibilizadas pelo software e fotografias em campo, foram realizadas atualizações nos possíveis obstáculos causadores de sombras nas áreas efetivas. Na Figura 76 é representada a comparação da foto em campo e da imagem de satélite do bloco 713.

Figura 76 - Fotografia em campo (a) e imagem registrada de satélite do bloco 713 (b)



Fonte: Adaptado do Google Earth (figura (b)).

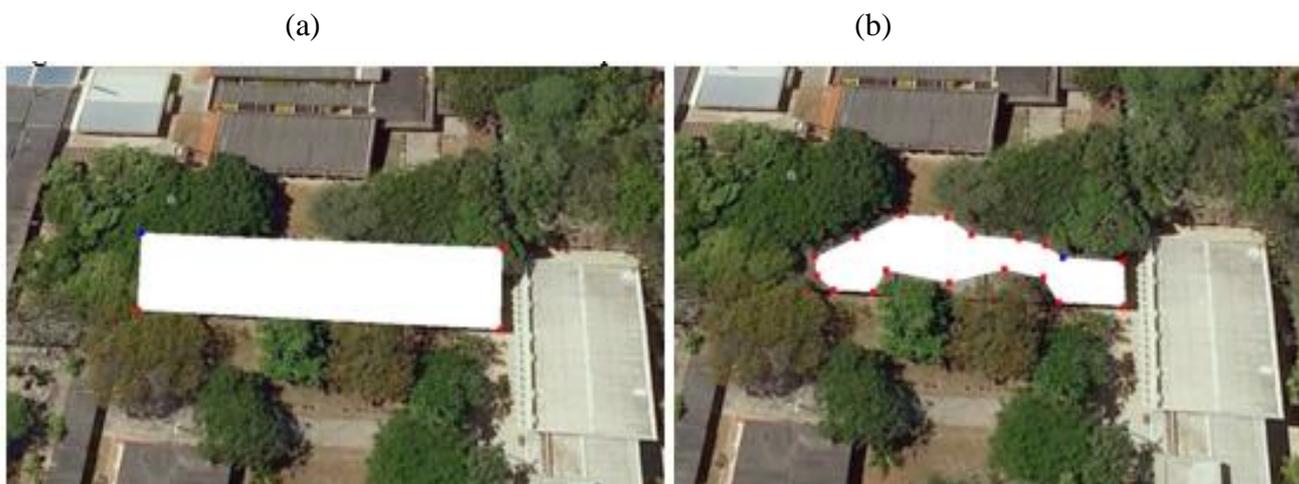
Após realizar a comparação e verificar a fidelidade do espaço geográfico real nas fotografias obtidas por satélite, foi calculado um índice (i_{ut}) para avaliar o grau de sombreamento no telhado dos prédios. Na Figura 77 é mostrada a área efetiva do bloco 706 à esquerda e uma estimativa de sua área útil à direita.

O i_{ut} é uma relação entre a área útil estimada sobre o telhado com a área efetiva do telhado, podendo ser calculado de acordo com a Equação 9:

$$i_{ut} = \frac{A_{\text{útil estimada}}}{A_{\text{efetiva}}} = \frac{315}{566} = 0,55$$

O cálculo do i_{ut} do bloco 706 foi de 0,55, classificado como uma edificação com alto nível de sombreamento, sendo-lhe atribuído um valor 0 como i_{ut} , já que é o menor valor do intervalo especificado; logo, sua utilização não é recomendada para a utilização da GD através de módulos FV.

Figura 77 - Área efetiva (a) e área útil do telhado do bloco 706 (b)



Fonte: Adaptado do Google Earth.

O procedimento efetuado para o bloco 706, Figura 77, é executado para todos os prédios que compõe o estudo. Os resultados da classificação dos blocos do CT-UFC podem ser observados na Tabela 13, juntamente com o respectivo índice de utilização das coberturas das edificações. Assim, pôde-se estudar a viabilidade de implantação do projeto apenas nos edifícios classificados como baixo e médio sombreamento, uma vez que os prédios avaliados como de alto grau de sombreamento passam a maior parte do dia sofrendo a interferência das barreiras formadas por árvores circunvizinhas.

Considerando-se o mesmo modelo dos painéis FV instalado no LEA, ao qual o estudo foi feito no capítulo 4, teve-se que para o CT-UFC, de acordo com a Equação 10, teria N_{FV}^o igual a 5.816 painéis FV de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m, totalizando uma P_{FV} de 1,454 MW, calculada de acordo com a Equação 11.

A eletricidade que poderia ser gerada com estes painéis FV instalados no CT-UFC, calculada pela Equação 12, é dado por um $G_{FV\ mensal}$ igual a 219.635,4 kWh/mês (219,63 MWh/mês), ou seja, caso considere-se a estimativa de uma geração de eletricidade anual se tem que $G_{FV\ anual}$ é de 2.672.231,1 kWh/ano (2,63 GWh/ano).

Tabela 13 - Dados referentes ao estudo das edificações do CT-UFC.

CT-UFC.								
Bloco	Área efetiva (m ²)	Classificação do sombreamento	Índice de utilização	Área útil (m ²)	Nº de módulos FV	Potência FV (kWp)	Geração FV média mensal (kWh/mês)	Geração FV média anual (kWh/ano)
702	171	Baixo	0,8	136,8	84	21,00	3.172,18	38.594,81
703	750	Médio	0,6	450,0	277	69,25	10.460,63	127.270,97
705	742	Alto	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00
706	566	Alto	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00
707	446	Baixo	0,8	356,8	219	54,75	8.270,32	100.622,18
708	732	Baixo	0,8	585,6	360	90,00	13.595,04	165.406,32
709	941	Baixo	0,8	752,8	463	115,75	17.484,73	212.730,91
710	691	Baixo	0,8	552,8	340	85,00	12.839,76	156.217,08
711	264	Baixo	0,8	211,2	130	32,50	4.909,32	59.730,06
712	569	Baixo	0,8	455,2	280	70,00	10.573,92	128.649,36
713	790	Baixo	0,8	632,0	389	97,25	14.690,20	178.730,72
714	773	Médio	0,6	463,8	285	71,25	10.762,74	130.946,67
715	765	Baixo	0,8	612,0	376	94,00	14.199,26	172.757,71
716	417	Baixo	0,8	333,6	205	51,25	7.741,62	94.189,71
717	598	Baixo	0,8	478,4	294	73,50	11.102,62	135.081,83
719	144	Baixo	0,8	115,2	70	17,50	2.643,48	32.162,34
720	1.041	Baixo	0,8	832,8	512	128,00	19.335,17	235.244,54
722	412	Baixo	0,8	329,6	203	50,75	7.666,09	93.270,79
727	416	Baixo	0,8	332,8	204	51,00	7.703,86	93.730,25
729	1.038	Baixo	0,8	830,4	511	127,75	19.297,40	234.785,08
730	626	Baixo	0,8	500,8	308	77,00	11.631,31	141.514,30
BPG	358	Médio	0,6	214,8	132	33,00	4.984,85	60.648,98
Dep.	176	Baixo	0,8	140,8	86	21,50	3.247,70	39.513,73
LCE	180	Baixo	0,8	144,0	88	22,00	3.323,23	40.432,66
Valores Totais para o CT-UFC					5.816	1.454,0	219.635,4	2.672.231,0

* Considerando módulos de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m do mesmo modelo instalado no LEA

5.4 CC-UFC

O CC-UFC foi instaurado pelo Decreto N° 71.882, de 02 de março de 1973, unindo os Institutos de Matemática, Física, Química, Geociências e Biologia. (CCUFC, 2018).

A escolha do CC foi devido ao bom número de edificações que podem se candidatar a receber os painéis FV. Figura 78 apresenta vista aérea do CC localizado no Campus do Pici tirada através do programa GE, sendo colocada a numeração de cada

bloco para facilitar futuras referências às edificações. No total é avaliado o potencial de 33 edificações do CC-UFC, usando-se a mesma metodologia usada no CT-UFC.

Figura 78 - Vista aérea do CC-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Figura 79 mostra a vista em 2D do bloco 906 e as poligonais desenhadas através do GE para a estimativa da área potencial efetiva desta edificação. Neste bloco foram traçadas três poligonais de coloração vermelha, que são as áreas consideradas efetivas, e foram traçadas quatro poligonais azuis, que é uma área computada como não efetiva.

A Figura 80, que apresenta uma visão em 3D do bloco 906, mostra o motivo de não utilização das áreas azuis da Figura 79. As áreas azuis neste bloco são de dois tipos, sendo o primeiro tipo um local com profundidade que causa alto sombreamento nesta região, não podendo ser classificada como uma boa área para instalação de módulos FV e o segundo tipo um espaço reduzido incapaz de receber os módulos FV.

A fotografia em campo do bloco 906, Figura 81, mostra que a vegetação e obstáculos causadores de sombras não afetam as áreas efetivas deste bloco.

Figura 79 - Área da cobertura do bloco 906 em 2D



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Figura 80 - Vista em 3D do bloco 906



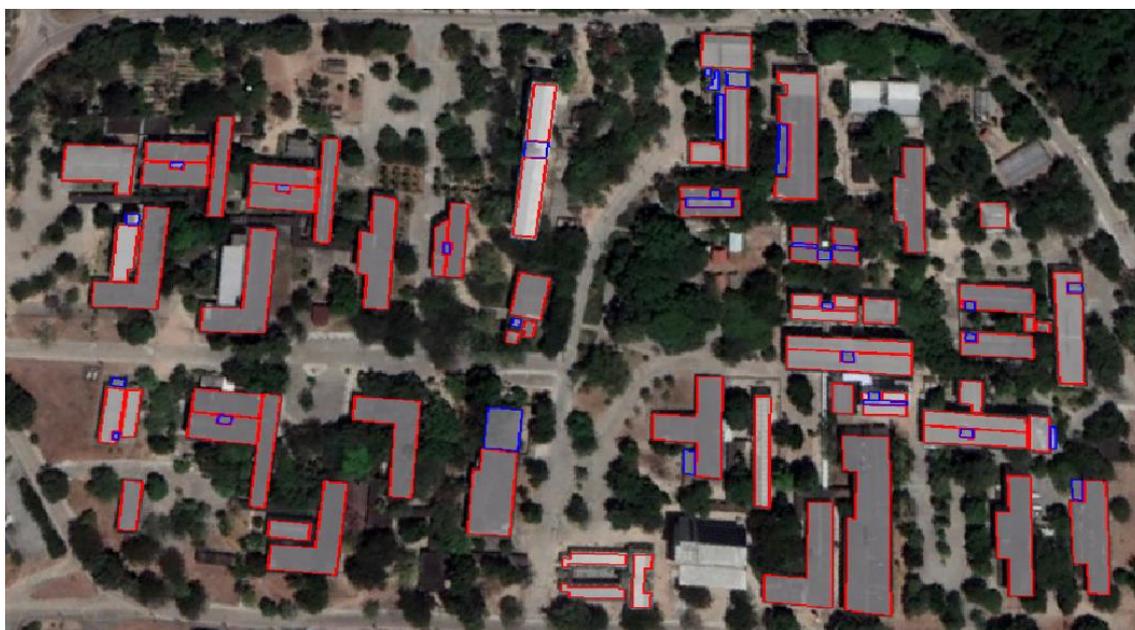
Fonte: Adaptada do Google Earth.

Figura 81 –Bloco 906



A Figura 82 mostra a visão 2D das 33 edificações do CC-UFC, sendo as áreas úteis das coberturas das edificações capazes de receber painéis FV mostradas em vermelho.

Figura 82 – Vista aérea das áreas úteis do CC-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Os resultados da classificação dos blocos do CC-UFC podem ser observados na Tabela 14, juntamente com o respectivo índice de utilização das

coberturas das edificações. O N°_{FV} igual a 10.454 painéis FV de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m, totalizando uma P_{FV} de 2,616 MW. O potencial FV do CC-UFC foi estimado em 395.162,5 kWh/mês (395,16 MWh/mês), ou seja, caso considere-se a estimativa de uma geração de eletricidade anual se tem que $G_{FV\ anual}$ é de 4.807.810,37 kWh/ano (4,80 GWh/ano).

Tabela 14 - Dados referentes ao estudo das edificações do CC-UFC.

CC-UFC.								
Bloco	Área efetiva (m ²)	Classificação do sombreamento	Índice de utilização	Área útil (m ²)	Nº de módulos FV	Potência FV (kWp)	Geração FV média mensal (kWh/mês)	Geração FV média anual (kWh/ano)
652	469	Baixo	0,8	375,2	231	57,8	8.723,48	106.135,72
705	1.465	Baixo	0,8	1.172,0	721	180,3	27.227,84	331.272,10
905	252	Baixo	0,8	201,6	124	31,0	4.682,74	56.973,29
906	1.007	Baixo	0,8	805,6	496	124,0	18.730,94	227.893,15
907	1.066	Baixo	0,8	852,8	525	131,3	19.826,10	241.217,55
908	354	Médio	0,6	212,4	130	32,5	4.909,32	59.730,06
909	600	Baixo	0,8	480,0	295	73,8	11.140,38	135.541,29
910	720	Baixo	0,8	576,0	354	88,5	13.368,46	162.649,55
910A	1.174	Baixo	0,8	939,2	578	144,5	21.827,59	265.569,04
911	912	Baixo	0,8	729,6	449	112,3	16.956,04	206.298,44
912	717	Baixo	0,8	573,6	353	88,3	13.330,69	162.190,09
913	712	Baixo	0,8	569,6	350	87,5	13.217,40	160.811,70
914	1.568	Baixo	0,8	1.254,4	772	193,0	29.153,81	354.704,66
915	784	Médio	0,6	470,4	289	72,3	10.913,80	132.784,52
919/919A	1.165	Baixo	0,8	932,0	574	143,5	21.676,54	263.731,19
922	728	Baixo	0,8	582,4	358	89,5	13.519,51	164.487,40
924/925	707	Médio	0,6	424,2	261	65,3	9.856,40	119.919,58
926	846	Baixo	0,8	676,8	416	104,0	15.709,82	191.136,19
932	259	Baixo	0,8	207,2	127	31,8	4.796,03	58.351,67
933	653	Baixo	0,8	522,4	321	80,3	12.122,24	147.487,30
934	805	Médio	0,6	483,0	297	74,3	11.215,91	136.460,21
935	975	Baixo	0,8	780,0	480	120,0	18.126,72	220.541,76
936/37	838	Baixo	0,8	670,4	412	103,0	15.558,77	189.298,34
938/939	1.049	Baixo	0,8	839,2	516	129,0	19.486,22	237.082,39
950	430	Baixo	0,8	344,0	211	52,8	7.968,20	96.946,48
951	381	Baixo	0,8	304,8	187	46,8	7.061,87	85.919,39
953	410	Baixo	0,8	328,0	202	50,5	7.628,33	92.811,32
DCE	168	Médio	0,6	100,8	62	15,5	2.341,37	28.486,64
NPD	759	Baixo	0,8	607,2	373	93,3	14.085,97	171.379,33
Valores Totais para o CC-UFC					10.464	2.616,0	395.162,5	4.807.810,37

* Considerando módulos de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m do mesmo modelo instalado no LEA

5.5 CCA-UFC

O CCA-UFC foi fundado em 30 de março de 1918, com o nome de Escola de Agronomia do Ceará, sendo uma entidade particular de ensino superior e foi encampada pelo Estado no dia 7 de maio de 1935, conforme Decreto nº 1550. Através da Lei nº 1.055, de 16 de janeiro de 1950, passou para o Ministério da Agricultura (CCAUFUC, 2018).

Atualmente o Centro de Ciências Agrárias conta com oito Departamentos, que oferecem seis Cursos de Graduação e nove Programas de Pós-Graduação, com nove Cursos de Mestrado (com um mestrado profissional) e sete Cursos de Doutorado (CCAUFUC, 2018).

A escolha do CCA foi devido ao bom número de edificações que podem se candidatar a receber os painéis FV. Figura 83 apresenta vista aérea do CCA localizado no Campus do Pici tirada através do programa GE, sendo colocada a numeração de cada bloco para facilitar futuras referências às edificações. No total é avaliado o potencial de 20 edificações do CCA-UFC, usando-se a mesma metodologia usada no CT-UFC e CC-UFC.

Figura 83 - Vista aérea do CCA-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

A Figura 84 mostra a visão 2D das 20 edificações do CCA-UFC, sendo as áreas úteis das coberturas das edificações capazes de receber painéis FV mostradas em vermelho.

Figura 84 – Vista aérea das áreas úteis do CCA-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Os resultados da classificação dos blocos do CCA-UFC podem ser observados na Tabela 15, juntamente com o respectivo índice de utilização das coberturas das edificações. O N°_{FV} igual a 4.298 painéis FV de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m, totalizando uma P_{FV} de 1,074 MW. O potencial FV do CCA-UFC foi estimado em 162.309,7 kWh/mês (162,30 MWh/mês), ou seja, caso considere-se a

estimativa de uma geração de eletricidade anual se tem que $G_{FV\text{ anual}}$ é de 1.974.767,68 kWh/ano (1,97 GWh/ano).

Tabela 15 - Dados referentes ao estudo das edificações do CCA-UFC.

CCA-UFC.								
Bloco	Área efetiva (m ²)	Classificação do sombreamento	Índice de utilização	Área útil (m ²)	Nº de módulos FV	Potência FV (kWp)	Geração FV média mensal (kWh/mês)	Geração FV média anual (kWh/ano)
804	605	Baixo	0,8	484,0	298	74,50	11.253,67	136.919,68
805	590	Baixo	0,8	472,0	290	72,50	10.951,56	133.243,98
806	632	Baixo	0,8	505,6	311	77,75	11.744,60	142.892,68
807	861	Médio	0,6	516,8	318	79,50	12.008,95	146.108,92
808A	525	Baixo	0,8	420,0	258	64,50	9.743,11	118.541,20
808B	630	Médio	0,6	378,0	232	58,00	8.761,25	106.595,18
808C	502	Baixo	0,8	401,6	247	61,75	9.327,71	113.487,11
825	904	Baixo	0,8	723,2	445	111,25	16.804,98	204.460,59
826	971	Baixo	0,8	776,8	478	119,50	18.051,19	219.622,84
827	745	Baixo	0,8	596,0	367	91,75	13.859,39	168.622,55
828	354	Médio	0,6	118,8	73	18,25	2.756,77	33.540,73
829	152	Alto	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00
830	236	Baixo	0,8	188,8	116	29,00	4.380,62	53.297,59
870	139	Médio	0,6	83,4	51	12,75	1.925,96	23.432,56
871	198	Médio	0,6	118,8	73	18,25	2.756,77	33.540,73
873	509	Baixo	0,8	407,2	250	62,50	9.441,00	114.865,50
Dep. 1	303	Baixo	0,8	242,4	149	37,25	5.626,84	68.459,84
Dep. 2	343	Médio	0,6	205,8	126	31,50	4.758,26	57.892,21
Galp.	197	Baixo	0,8	157,9	97	24,25	3.663,11	44.567,81
Lab.	324	Médio	0,6	194,4	119	29,75	4.493,92	54.675,98
Valores Totais para o CT-UFC					4.298	1.074,5	162.309,7	1.974.767,68

* Considerando módulos de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m do mesmo modelo instalado no LEA

5.6 ICA-UFC e RU-UFC

O ICA-UFC foi criado em 2003, como órgão administrativo para congregar e gerenciar os equipamentos culturais da UFC, sendo transformado, em 2008, em unidade acadêmica, congregando os cursos de graduação em Comunicação Social, Estilismo e Moda, Filosofia e Música, além de programas de pós-graduação em Comunicação e Filosofia. A estes se somaram, em seguida, os cursos de Artes Cênicas, Cinema e Audiovisual, Dança e Gastronomia. (ICAUFC, 2018).

Figura 85 - Vista aérea do ICA-UFC e RU-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

A escolha do ICA-UFC e RU-UFC foi devido à área de cobertura destas edificações, com capacidade para receber um grande número de painéis FV. Figura 85 apresenta a vista aérea do ICA-UFC e RU-UFC localizado no Campus do Pici, tirada através do programa GE.

Figura 86 mostra a vista em 2D do ICA-UFC e as poligonais desenhadas através do GE para a estimativa da área potencial efetiva desta edificação capaz de receber os painéis FV. Neste bloco foram traçadas quatro poligonais de coloração vermelha, que são as áreas consideradas efetivas para recepção da GD FV, e foram traçadas três poligonais azuis, que é uma área computada como não efetiva.

A área efetiva e área útil computadas na edificação do ICA-UFC são 6.792 m² e 5433,6 m², respectivamente, tendo-se uma P_{FV} de 836,5 kWp, logo, sendo o potencial FV de 1.537.359,85 kWh/ano (1,53 GWh/ano), podendo, esta edificação, receber uma usina FV descentralizada, com impacto ambiental, visual próximo de zero. E no caso da instalação desta usina FV e das outras já mencionadas, além da possibilidade de se ter uma redução nos custos de energia elétrica da UFC, ter-se-ia na universidade um local em que poderia ser analisado, através de estudos e pesquisas, o impacto de uma usina FV descentralizada à rede de distribuição de energia elétrica.

Figura 86 - Área da cobertura do ICA-UFC em 2D



Fonte: Adaptada do Google Earth.

A fotografia em campo do ICA-UFC, Figura 87, mostra que a vegetação e obstáculos causadores de sombras não afetam as áreas efetivas desta edificação, pois os obstáculos são quase inexistentes e com altura menor que a cobertura da edificação, portanto seu potencial FV pode ser aproveitado ao máximo.

Figura 87 –ICA-UFC



Os resultados da classificação do ICA-UFC e RU-UFC podem ser observados na Tabela 16, juntamente com o respectivo índice de utilização das

coberturas das edificações. O N°_{FV} igual a 4.903 painéis FV de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m, totalizando uma P_{FV} de 1,225 MW. O potencial FV do ICA-UFC e R.U-UFC foi estimado em 185.156,89 kWh/mês (185,15 MWh/mês), ou seja, caso considere-se a estimativa de uma geração de eletricidade anual se tem que $G_{FV\ anual}$ é de 2.252.742,19 kWh/ano (2,25 GWh/ano).

Tabela 16 - Dados referentes ao estudo do ICA-UFC e R.U-UFC

ICA-UFC e R.U-UFC.								
Bloco	Área efetiva (m ²)	Classificação do sombreamento	Índice de utilização	Área útil (m ²)	N ^o de módulos FV	Potência FV (kWp)	Geração FV média mensal (kWh/mês)	Geração FV média anual (kWh/ano)
ICA-UFC	6.792	Baixo	0,8	5.433,6	3.346	836,5	126.358,34	1.537.359,85
R.U-UFC	3.160	Baixo	0,8	2.528,0	1.557	389,3	58.798,55	715.382,33
Valores Totais para o ICA-UFC e R.U-UFC					4903	1225,75	185.156,89	2.252.742,19

* Considerando módulos de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m do mesmo modelo instalado no LEA

5.7 B.U-UFC

A escolha da B.U-UFC foi devido à área da cobertura desta edificação, com capacidade para receber um grande número de painéis FV. Figura 88 apresenta a vista aérea do B.U-UFC localizado no Campus do Pici.

Figura 88 - Vista aérea do B.U-UFC



Fonte: Adaptada do Google Earth.

Figura 89 mostra a vista em 2D da B.U-UFC e as poligonais desenhadas através do GE para a estimativa da área potencial efetiva desta edificação. Neste bloco foi traçada uma poligonal de coloração vermelha, que é a área considerada efetiva, e foi traçada uma poligonal azul, que é uma área computada como não efetiva. A área efetiva e área útil computadas na edificação do B.U-UFC são 2.438 m² e 1.950,4 m².

Figura 89 - Área da cobertura da B.U-UFC em 2D



Fonte: Adaptada do Google Earth.

O resultado da classificação do B.U-UFC pode ser observado na Tabela 17, juntamente com o respectivo índice de utilização da cobertura da edificação. O N°_{FV} igual a 1.201 painéis FV de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m, totalizando uma P_{FV} de 300,3 kW. O potencial FV do CCA-UFC foi estimado em 45.354,56 kWh/mês (45,35 MWh/mês), ou seja, caso considere-se a estimativa de uma geração de eletricidade anual se tem que $G_{FV\ annual}$ é de 551.813,86 kWh/ano (0,55 GWh/ano).

Tabela 17 - Dados referentes ao estudo do B.U-UFC

B.U-UFC.								
Bloco	Área efetiva (m ²)	Classificação do sombreamento	Índice de utilização	Área útil (m ²)	Nº de módulos FV	Potência FV (kWp)	Geração FV média mensal (kWh/mês)	Geração FV média anual (kWh/ano)
B.U-UFC	2.438	Baixo	0,8	1.950,4	1.201	300,3	45.354,56	551.813,86
Valores Totais para o B.U-UFC								

* Considerando módulos de 250 Wp e dimensões de 1,66 m x 0,99 m do mesmo modelo instalado no LEA

5.8 Investimento do sistema de GD FV no Campus do Pici

As P_{FV} do CT-UFC, CC-UFC, CCA-UFC, ICA-UFC, R.U-UFC e B.U-UFC, são de 1.454,00 kWp, 2.616,00 kWp, 1.074,50 kWp, 1.225,75 kWp e 300,300 kWp, respectivamente, totalizando uma P_{FV} de 6.670,55 kWp, com 26.682 módulos FV de 250 Wp de dimensões de 1,66 m x 0,99 m.

5.8.1 Caso 1: Custo de Investimento da GD FV no Campus do Pici com base no Investimento do Instituto Federal do Ceará

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) vai receber, no Campus do Pecém, um centro de pesquisa e qualificação em energias renováveis que terá uma planta de geração FV (IFCE, 2018).

O sistema de geração FV, que terá investimento de R\$ 1,4 milhão, totaliza uma potência instalada de 300 kWp (IFCE, 2018), ou seja, um investimento de R\$ 4.666,67/kWp. Com base nestes valores é possível estimar o investimento necessário para a implantação deste sistema de GD FV no Campus do Pici.

É mostrado na Tabela 18, com base nos valores do investimento do IFCE (caso 1), que o C_{FV} para implantação do sistema de GD FV é de R\$ 6.785.338,18 (23,19%) no CT-UFC, R\$ 10.341.340,72 (35,34%) no CC-UFC, 5.014.336,92 (17,14%) no CCA-UFC, R\$ 5.720.170,75 (19,55%) no ICA-UFC/R.U-UFC e R\$ 1.401.401,00 (4,79%) na B.U-UFC, totalizando um investimento de R\$ 29.262.587,57.

Tabela 18 – C_{FV} para implantação do sistema de GD FV no Campus do Pici com base no Investimento do Instituto Federal do Ceará.

	GD FV		Valor do Investimento (R\$)	Percentual do Investimento (%)
	Investimento (R\$/kWp)	Potência instalada (kWp)		
CT-UFC	R\$ 4.666,67	1.454,00	R\$ 6.785.338,18	23,19%
CC-UFC		2.216,00	R\$ 10.341.340,72	35,34%
CCA-UFC		1.074,50	R\$ 5.014.336,92	17,14%
ICA-UFC e R.U-UFC		1.225,75	R\$ 5.720.170,75	19,55%
B.U-UFC		300,30	R\$ 1.401.401,00	4,79%
Total		6.270,55	R\$ 29.262.587,57	100,00%

5.8.2 Caso 2: Custo de Investimento da GD FV no Campus do Pici com base no Investimento no Parque Solar de Nova Olinda, Piauí

O Parque solar Nova Olinda no Piauí tem capacidade de 292 MWp e recebeu investimentos na ordem de 300 milhões de dólares, aproximadamente R\$ 950 milhões de acordo com o câmbio da época, ou seja, um investimento de R\$ 3.253,42/kWp. O empreendimento é composto por quase 930 mil painéis solares em uma área de 690 hectares na região do semiárido, e será capaz de produzir mais de 600 GWh por ano quando estiver em plena operação, o suficiente para atender às necessidades de consumo de cerca de 300 mil lares brasileiros. (ABSOLAR, 2017).

É mostrado na Tabela 19, com base nos valores do investimento no parque solar de Nova Olinda (caso 2), que o C_{FV} para implantação do sistema de GD FV é de R\$ 4.730.472,68 (23,19%) no CT-UFC, R\$ 7.209.578,72 (35,34%) no CC-UFC, 3.495.799,79 (17,14%) no CCA-UFC, R\$ 3.987.879,57 (19,55%) no ICA-UFC/R.U-UFC e R\$ 977.002,03 (4,79%) na B.U-UFC, totalizando um investimento de R\$ 20.400.732,78.

Tabela 19 – C_{FV} para implantação do sistema de GD FV no Campus do Pici com base no Investimento no Parque Solar de Nova Olinda.

	GD FV		Valor do Investimento (R\$)	Percentual do Investimento (%)
	Investimento (R\$/kWp)	Potência instalada (kWp)		
CT-UFC	R\$ 3.253,42	1.454,00	R\$ 4.730.472,68	23,19%
CC-UFC		2.216,00	R\$ 7.209.578,72	35,34%
CCA-UFC		1.074,50	R\$ 3.495.799,79	17,14%
ICA-UFC e R.U-UFC		1.225,75	R\$ 3.987.879,57	19,55%
B.U-UFC		300,30	R\$ 977.002,03	4,79%
Total			6.270,55	R\$ 20.400.732,78

5.9 Redução na conta de energia elétrica do Campus do Pici

Uma vez analisado o potencial FV do CT-UFC, CC-UFC, CCA-UFC, ICA-UFC, R.U-UFC e B.U-UFC, sendo seus valores de 2,67 GWh/ano, 4,80 GWh/ano, 1,97 GWh/ano, 2,25 GWh/ano e 0.55 GWh/ano, respectivamente, totalizando um potencial FV de 12,25 GWh/ano. Portanto é importante verificar o quanto pode ser abatido na conta de energia elétrica, caso o potencial FV seja aproveitado.

A modalidade da tarifa de energia elétrica do Campus do Pici é horosazonal verde (UFC, 2017), caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia

elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia, e uma única tarifa de demanda de potência. Nesta modalidade os dias úteis são divididos em dois períodos: horário de ponta (HP) e horário fora de ponta (HFP). No Ceará o HP está compreendido entre 17:30 h às 20:30 h, totalizando três horas, sendo que neste horário o valor da tarifa de consumo é significativamente maior (cerca de 4 vezes) que o valor da tarifa no HFP.

5.9.1 Detalhamento da conta de energia do Campus do Pici no período em análise

O consumo de energia elétrica do Campus do Pici/UFC, referente ao mês de setembro de 2016 a agosto de 2017 foi de 14,33 GWh/ano, sendo 1,19 GWh/ano consumidos no HP e 13,14 GWh/ano consumidos no HFP, com demanda única contratada de 4.260 kW.

O valor da fatura neste período foi de R\$ 8.330.313,61/ano incluindo valor de consumo HP de R\$ 2.046.980,30, valor de consumo HFP de R\$ 5.410.584,27, valor da demanda contratada R\$ 796.875,00, valor de consumo de reativo excedente de R\$ 28.379,72 e valor de demanda ultrapassada de R\$ 47.493,70.

A Tabela 20 mostra os valores de consumo de energia elétrica no HP e no HFP, demanda contratada e faturada, consumo de reativo excedente, ultrapassagem da demanda e os valores da fatura do Campus do Pici/UFC detalhados mês a mês para o período em que o estudo foi realizado.

Tabela 20 – Detalhamento da conta de energia elétrica do Campus do Pici/UFC – setembro de 2016 a agosto de 2017.

Modalidade Tarifária: Horosazonal Verde	Consumo de energia elétrica (kWh)		Tarifa de consumo		Demanda		Tarifa da Demanda (R\$/kW)	Consumo excedente reativo (kWh)		Tarifa de consumo reativo excedente		Demanda Ultrapassada (kW)	Tarifa da Demanda (R\$/kW)	Total (R\$)
	HP 17:30 h as 20:30 h	HFP 00:00 h as 17:30 h 20:30 h as 00:00 h	em HP (R\$/kWh)	em HFP (R\$/kWh)	Contratada (kW)	Faturada (kW)		em HP (R\$/kVArh)	em HFP (R\$/kVArh)	em HP (R\$/kVArh)	em HFP (R\$/kVArh)			
set/16	112.071	1.190.203	R\$ 1,67338	R\$ 0,40403	4.260	4.330	R\$ 14,48	1.000	0	R\$ 0,37081	R\$ 0,37081	70	R\$ 28,95	R\$ 732.497,20
out/16	112.071	1.200.203	R\$ 1,71156	R\$ 0,41325	4.260	4.480	R\$ 14,81	1.000	7.591	R\$ 0,37927	R\$ 0,37927	220	R\$ 29,61	R\$ 760.663,12
nov/16	116.071	1.238.203	R\$ 1,69901	R\$ 0,41659	4.260	4.640	R\$ 14,62	0	1.000	R\$ 0,37463	R\$ 0,37463	380	R\$ 29,25	R\$ 786.799,61
dez/16	106.071	1.263.203	R\$ 1,71279	R\$ 0,42286	4.260	4.640	R\$ 14,71	0	1.000	R\$ 0,37682	R\$ 0,37682	380	R\$ 29,42	R\$ 790.056,39
jan/17	68.071	814.203	R\$ 1,70153	R\$ 0,41083	4.260	4.260	R\$ 14,72	0	0	R\$ 0,37705	R\$ 0,37705	0	R\$ 29,44	R\$ 513.031,07
fev/17	96.071	1.036.203	R\$ 1,70051	R\$ 0,41058	4.260	4.260	R\$ 14,71	0	1.000	R\$ 0,37682	R\$ 0,37682	0	R\$ 29,44	R\$ 651.855,34
mar/17	74.071	878.203	R\$ 1,72301	R\$ 0,42393	4.260	4.260	R\$ 14,81	0	2.000	R\$ 0,37950	R\$ 0,37950	0	R\$ 29,44	R\$ 563.771,27
abr/18	100.071	1.042.203	R\$ 1,71174	R\$ 0,42004	4.260	4.390	R\$ 14,73	0	1.000	R\$ 0,37733	R\$ 0,37733	130	R\$ 29,44	R\$ 676.016,81
mai/17-18	92.071	1.114.203	R\$ 1,71371	R\$ 0,37679	4.260	4.400	R\$ 16,58	0	2.000	R\$ 0,30395	R\$ 0,30395	140	R\$ 29,44	R\$ 652.963,84
jun/17	117.071	1.199.203	R\$ 1,81487	R\$ 0,43336	4.260	4.500	R\$ 18,14	1.000	13.000	R\$ 0,37690	R\$ 0,37690	240	R\$ 36,29	R\$ 823.417,86
jul/17	109.071	1.192.203	R\$ 1,72208	R\$ 0,39373	4.260	4.420	R\$ 17,45	1.000	22.000	R\$ 0,36240	R\$ 0,36240	0	R\$ 34,89	R\$ 739.907,27
ago/17	88.071	976.203	R\$ 1,73210	R\$ 0,41469	4.260	4.040	R\$ 17,30	3.000	20.000	R\$ 0,35941	R\$ 0,35941	0	R\$ 34,89	R\$ 639.333,83
Valores totais	1.190.852	13.144.436						7.000,00	70.590,68			1.560		R\$ 8.330.313,61
		14.335.288							77.590,68					

5.9.2 Redução da conta de energia elétrica no Campus do Pici com GD FV

Considerando que a instalação da GD FV pode abater na conta de energia elétrica apenas os valores que correspondem ao consumo de energia elétrica, logo, a compensação de energia elétrica com o uso da GD FV para o Campus do Pici/UFC é considerada apenas para esta parte da conta de energia elétrica, a Tabela 21 mostra detalhadamente os valores em reais do consumo de energia elétrica para o HP e HFP.

O consumo de energia elétrica do Campus do Pici/UFC, referente ao mês de setembro de 2016 a agosto de 2017, mostrado na Tabela 19, foi de 14,33 GWh, sendo 1,19 GWh consumidos no HP e 13,14 GWh consumidos no HFP. O valor total dos consumos neste período foi de R\$ 7.457.564,58, com R\$ 2.046.980,31 (27,45%) do valor referente ao HP e R\$ 5.410.584,28 (72,55%) do valor referente ao HFP.

Tabela 21 - Dados do consumo de energia elétrica do Campus do Pici no período em análise.

Modalidade Tarifária: Horosazonal Verde	Consumo de energia elétrica (kWh)		Tarifa de consumo (R\$/kWh)		Valores do consumo (R\$)		Total (R\$)
	HP 17:30 h as 20:30 h	HFP 00:00 h as 17:30 h 20:30 h as 00:00 h	HP	HFP	em HP (R\$/kWh)	em HFP (R\$/kWh)	
set/16	112.071	1.190.203	R\$ 1,67338	R\$ 0,40403	R\$ 187.537,37	R\$ 480.877,72	R\$ 668.415,09
out/16	112.071	1.200.203	R\$ 1,71156	R\$ 0,41325	R\$ 191.816,24	R\$ 495.983,89	R\$ 687.800,13
nov/16	116.071	1.238.203	R\$ 1,69901	R\$ 0,41659	R\$ 197.205,79	R\$ 515.822,99	R\$ 713.028,78
dez/16	106.071	1.263.203	R\$ 1,71279	R\$ 0,42286	R\$ 181.677,35	R\$ 534.158,02	R\$ 715.835,37
jan/17	68.071	814.203	R\$ 1,70153	R\$ 0,41083	R\$ 115.824,85	R\$ 334.499,02	R\$ 450.323,87
fev/17	96.071	1.036.203	R\$ 1,70051	R\$ 0,41058	R\$ 163.369,70	R\$ 425.444,23	R\$ 588.813,92
mar/17	74.071	878.203	R\$ 1,72301	R\$ 0,42393	R\$ 127.625,07	R\$ 372.296,60	R\$ 499.921,67
abr/18	100.071	1.042.203	R\$ 1,71174	R\$ 0,42004	R\$ 171.295,53	R\$ 437.766,95	R\$ 609.062,48
mai/17-18	92.071	1.114.203	R\$ 1,71371	R\$ 0,37679	R\$ 157.782,99	R\$ 419.820,55	R\$ 577.603,54
jun/17	117.071	1.199.203	R\$ 1,81487	R\$ 0,43336	R\$ 212.468,65	R\$ 519.686,61	R\$ 732.155,26
jul/17	109.071	1.192.203	R\$ 1,72208	R\$ 0,39373	R\$ 187.828,99	R\$ 469.406,09	R\$ 657.235,07
ago/17	88.071	976.203	R\$ 1,73210	R\$ 0,41469	R\$ 152.547,78	R\$ 404.821,62	R\$ 557.369,40
Valores Totais	1.190.852	13.144.436			R\$ 2.046.980,31	R\$ 5.410.584,28	R\$ 7.457.564,58

Considerando que a GD FV pode injetar energia elétrica na rede apenas no HFP, a compensação de energia elétrica é considerada apenas neste horário e com sua respectiva tarifa e valor total.

A Tabela 22 mostra, em cada setor estudado, a compensação de energia elétrica que o potencial FV do Campus do Pici é capaz de suprir. A geração FV média anual FV dos setores do Campus do Pici sobre análise é capaz de suprir R\$ 5.047.425,79 (93,29%) do valor do consumo de energia no HFP, com CT-UFC, CC-UFC, CCA-UFC, ICA-UFC/R.U-UFC e B.U-UFC, compensando R\$ 1.100.210,94 (20,33%), R\$ 1.979.471,68 (36,59%), R\$ 813.051,35 (15,03%), R\$ 927.499,01 (17,14%) e R\$ 227.192,80 (4,20%), respectivamente.

Tabela 22 – Dados com a compensação anual do consumo de energia elétrica do Campus do Pici.

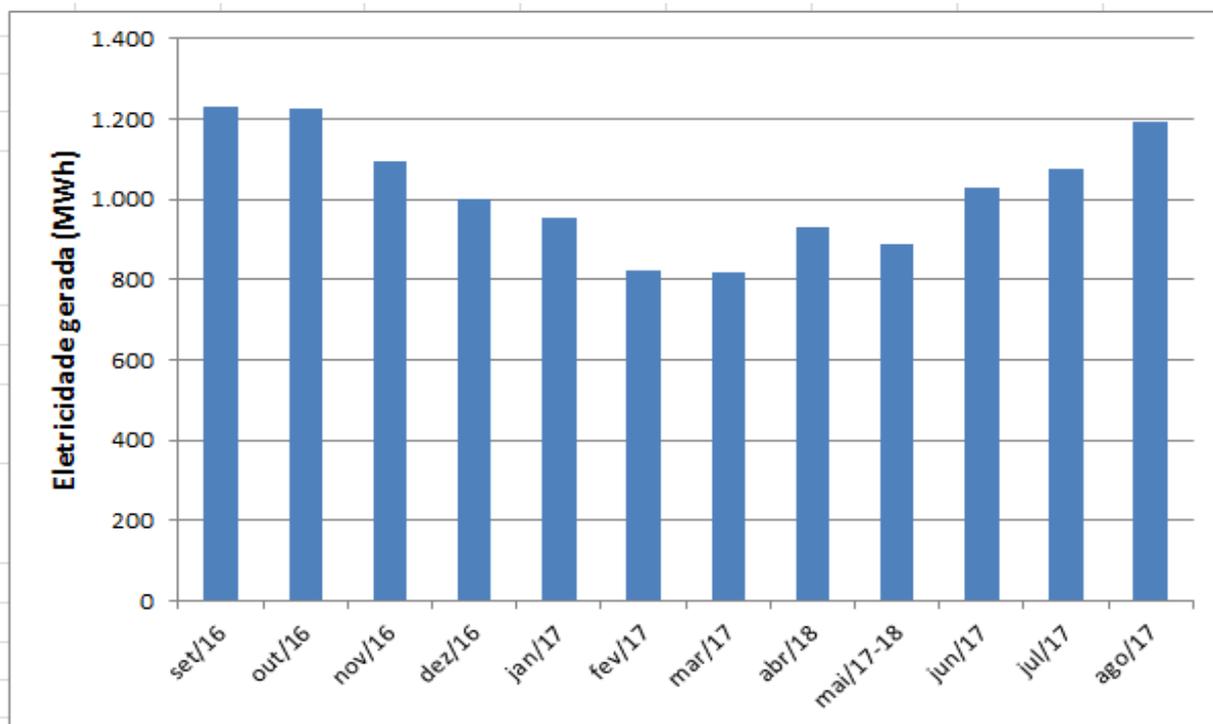
Modalidade Tarifária: Horosazonal Verde	GD FV		Valor compensado do HFP (R\$)	Percentual compensado do HFP (%)	Valor compensado da conta de energia do Campus do Pici (%)
	Geração FV média anual (kWh/ano)	Tarifa média do HFP (R\$/kWh)			
CT-UFC	2.672.230,99	R\$ 0,41172	R\$ 1.100.210,94	20,33%	13,21%
CC-UFC	4.807.810,37	R\$ 0,41172	R\$ 1.979.471,68	36,59%	23,76%
CCA-UFC	1.974.767,68	R\$ 0,41172	R\$ 813.051,35	15,03%	9,76%
ICA-UFC e R.U-UFC	2.252.742,19	R\$ 0,41172	R\$ 927.499,01	17,14%	11,13%
B.U-UFC	551.813,86	R\$ 0,41172	R\$ 227.192,80	4,20%	2,73%
Total	12.259.365,08		R\$ 5.047.425,79	93,29%	60,59%

A Tabela 23 e a Figura 90 mostram a geração de eletricidade total em cada mês em kWh no Campus do Pici, calculada de acordo com a Equação 12, sendo considerados todos os setores que foram estudados.

Tabela 23 – Geração de eletricidade total mensal do Campus do Pici.

	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17
Geração Campus Total (kWh/mês)	1.230.947,39	1.224.335,59	1.093.588,45	999.022,11	954.356,44	824.793,98
	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17
	815.892,87	932.695,99	887.854,22	1.030.672,30	1.076.442,60	1.193.069,62

Figura 90 – Geração de eletricidade total mensal do Campus do Pici no período em análise em MWh.



5.10 Equivalência da redução de CO_2 proporcionado pela GD FV no Campus do Pici

A E_{CO_2} total, calculada pela Equação 14, no período estudado para o Campus do Pici foi de 1.136.842,35 kg CO_2 /ano, com uma média mensal de 94.736,86 kg CO_2 /mês. A Tabela 24 mostra os valores da redução de CO_2 proporcionada pela GD FV no Campus do Pici em cada mês do período em análise.

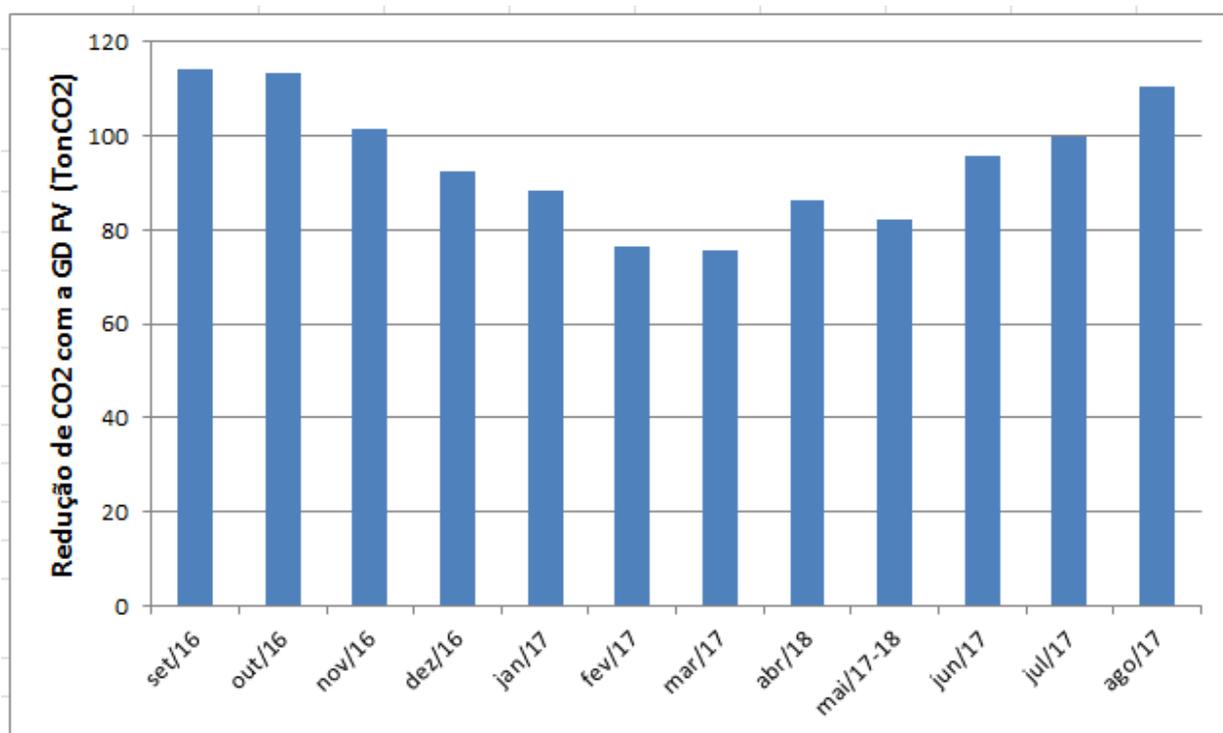
Tabela 24 - Redução de CO_2 no Campus do Pici com a GD FV.

Redução de CO_2 no Campus (kg/mês)	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	Média kg CO_2 /mês	Total kg CO_2 /ano
	114.108,82	113.495,91	101.375,65	92.609,35	88.468,84	76.458,40		
	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17		
	75.633,27	86.460,92	82.304,09	95.543,32	99.786,23	110.597,55		

Na Figura 91 é mostrado o comportamento da E_{CO_2} no período em análise, sendo o menor E_{CO_2} de 75.633,27 kg CO_2 em março de 2017 e com o mês de fevereiro de 2017 com um valor próximo de 76.458,40 kg CO_2 . O maior E_{CO_2}

foi de 114.108,82 kg CO_2 em setembro de 2016. O mês que teve o valor mais próximo da média foi junho de 2017, com uma redução de CO_2 de 95.543,32 kg CO_2 .

Figura 91 – Comportamento da E_{CO_2} de setembro de 2016 a agosto de 2017 para o Campus do Pici.



5.11 Equivalência da redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV no Campus do Pici considerando uma comparação com uma termelétrica com ciclo de Rankine

A $E_{carvão}$ total, no Campus do Pici, calculada pela Equação 15, no período estudado, foi de 3.820.133,69 kgCarvão/ano, com uma média mensal de 318.344,47 kgCarvão/mês. A Tabela 25 mostra os valores da redução de carvão mensal, em kg, no Campus do Pici, proporcionado pela GD FV considerando uma equivalência com uma termelétrica com ciclo de Rankine.

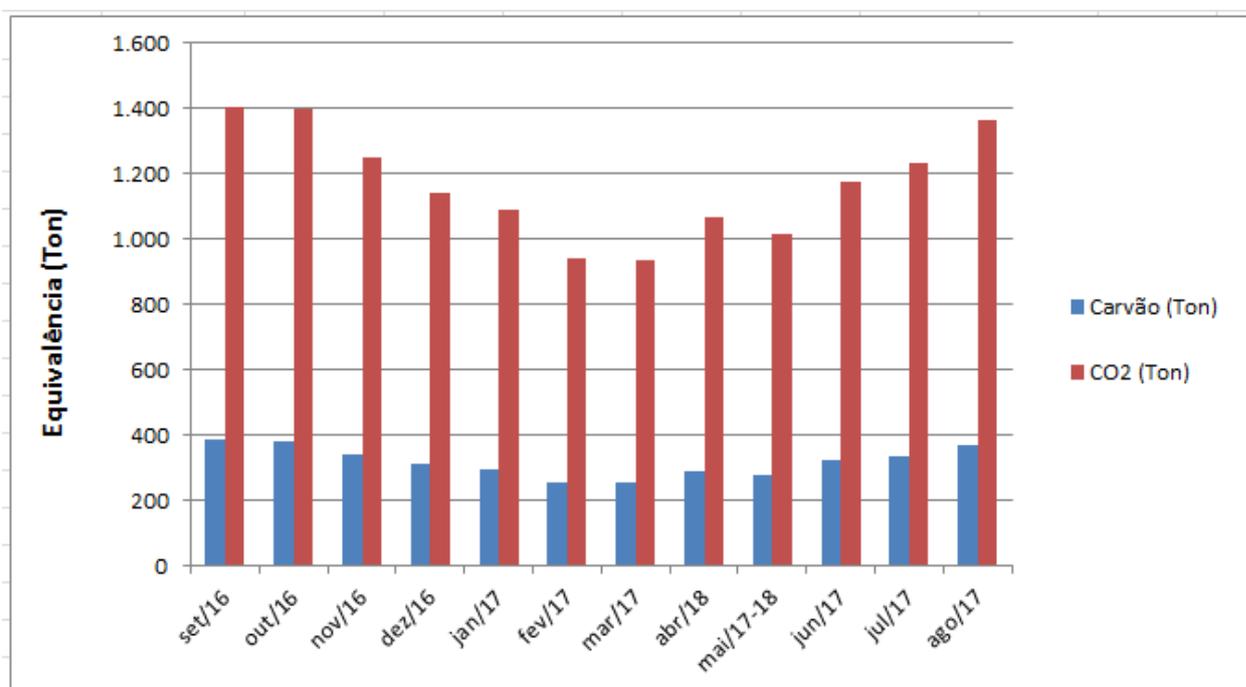
A $E_{carvão-CO_2}$, calculada pela Equação 16, no período estudado, no Campus do Pici, foi de 14.019.890,64 kg CO_2 /ano, com uma média mensal de 1.168.324,22 kg CO_2 /mês. A Tabela 23 mostra os valores da redução de CO_2 mensal, em kg, no Campus do Pici, proporcionado pela GD FV considerando uma equivalência com uma termelétrica com ciclo de Rankine.

Tabela 25 - Redução de carvão e CO_2 proporcionado pela GD FV considerando uma termelétrica com ciclo de Rankine no Campus do Pici.

	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	Média (kg/mês)	Total (kg/ano)
Equivalência de Carvão (kg/mês)	383.440,11	381.380,54	340.652,80	311.195,39	297.282,03	256.923,33	318.344,47	3.820.133,69
	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17		
	254.150,63	290.534,80	276.566,59	321.054,42	335.311,87	371.641,19		
	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	Média (kg/mês)	Total (kg/ano)
Equivalência de CO_2 /Carvão (kg/mês)	1.407.225,21	1.399.666,57	1.250.195,79	1.142.087,07	1.091.025,05	942.908,61	1.168.324,22	14.019.890,64
	mar/17	abr/18	mai/17-18	jun/17	jul/17	ago/17		
	932.732,81	1.066.262,72	1.014.999,39	1.178.269,72	1.230.594,56	1.363.923,16		

A Figura 92 mostra o comportamento de $E_{carvão}$ e $E_{carvão-CO_2}$ no período em análise.

Figura 92 – Comportamento de $E_{carvão}$ e $E_{carvão-CO_2}$ em setembro de 2016 a agosto de 2017 para o Campus do Pici.



5.12 PRI_{FV} no Campus do Pici

O PRI_{FV} instalada no Campus do Pici para o caso 1, investimento da GD FV no Campus com base no investimento do IFCE, é de aproximadamente 6 anos e para o caso 2, investimento da GD FV no Campus do Pici com base no investimento no parque solar de Nova Olinda, é de aproximadamente 4 anos, logo é esperado um PRI_{FV} entre quatro e seis anos. Na Tabela 26 é mostrado o PRI_{FV} para os dois casos.

Tabela 26 – PRI_{FV} no Campus do Pici.

	Investimento (R\$)	Valor Compensado pela GD FV no Campus (R\$)	Tempo de Retorno	Tempo de Retorno aproximado em anos
Caso 1	R\$ 29.262.587,57	R\$ 5.047.425,79	5,80	6 anos
Caso 2	R\$ 20.400.732,78		4,04	4 anos

6 CONCLUSÕES

Nos últimos anos têm ocorrido no país constantes aumentos nas tarifas de energia elétrica, que foram ocasionados pelo uso intenso das termelétricas quando as hidrelétricas se encontram com os reservatórios em nível baixo, devido à escassez de chuvas. Por isto a presente dissertação visou à diversificação e descentralização da geração da energia elétrica no Brasil, buscando a produção e consumo de eletricidade de forma a manter a sustentabilidade econômica e ambiental.

Conhecer o perfil de geração de uma fonte de energia é essencial para futuros planejamentos no setor de energia elétrica. Os resultados obtidos no presente estudo permitiram traçar um panorama da geração FV para o Campus do Pici/UFC, Fortaleza, Ceará.

Nesta dissertação foram avaliados dados coletados durante o período de um ano – setembro de 2016 a agosto de 2017 - de uma GD FV conectada à rede de distribuição do Campus do Pici/UFC e da irradiação nas proximidades da GD FV, sendo estes dados trabalhados através de parâmetros como $G_{mês\ m}$, $Ig_{mês\ m}$, FC_{med} , G_p , G_m , e_{FV} , s_m e CVP_m a fim de se fazer uma melhor análise do potencial de geração da GD FV. Foram também traçados gráficos de dias representativos para cada mês no período amostral.

O Campus do Pici apresentou elevados valores de irradiação global, sendo outubro de 2016 o mês com a maior média diária de irradiação, tendo $Ig_{mês\ m}$ de 6,39 kWh/m²/dia. O mês com a menor média diária de irradiação foi março de 2017, com $Ig_{mês\ m}$ de 3,71 kWh/m²/dia. A irradiação média diária do ano para a região em estudo foi de 5,21 kWh/m²/dia.

Os meses de setembro-16, outubro-16, novembro-16, junho-17 e agosto-17 estiveram em uma faixa pouco dispersa de irradiação, com CVP_{m_ig} de 0,0857, 0,0870, 0,1224, 0,1246 e 0,0810, respectivamente, indicando um ambiente propício para se explorar um potencial solar firme e de alta intensidade. Já os meses de dezembro-16, janeiro-17, abril-18 e julho-17 ficaram em uma faixa de média dispersão, com CVP_{m_ig} de 0,2018, 0,2416, 0,2716 e 0,2175, respectivamente. Os meses de fevereiro-17, março-17 e maio-17 ficaram em uma faixa de alta dispersão, com CVP_{m_ig} de 0,4480, 0,3751 e 0,3392, respectivamente.

A GD FV teve, entre setembro de 2016 e agosto de 2017, uma alta geração de eletricidade, sendo setembro de 2016 o mês com a maior média diária de geração de eletricidade, tendo $G_{mês\ m}$ de 9,23 kWh/dia (0,9475 kWh/m²/dia). O mês com a menor média diária de geração de eletricidade foi março de 2017, tendo $G_{mês\ m}$ de 5,92 kWh/dia (0,6077 kWh/m²/dia). A geração de eletricidade média diária do ano para a região em estudo e com a GD FV utilizada foi de 7,55 kWh/dia (0,7754 kWh/m²/dia).

O CVP_{m_G} dos meses de setembro-16, outubro-16, novembro-16, dezembro-16, junho-17 e agosto-17 estão abaixo de 0,15, mostrando que apesar da fonte ser intermitente a geração nos dias destes meses tem uma alta probabilidade de estar em torno da $G_{mês\ m}$. Os CVP_{m_G} dos meses de janeiro-17, março-17, abril-2018, maio-17/18 e julho-17 estão entre 0,15 e 0,30, mostrando que a $G_{mês\ m}$ tem uma representação regular em relação à eletricidade gerada diária, ou seja, pode-se esperar que a eletricidade gerada em muitos dias destes meses fique em torno da $G_{mês\ m}$, porém com uma variação maior que no caso anterior e com alguns dias não podendo ser representados. Não houve CVP_{m_G} acima de 0,30, mostrando nos meses estudados não possuem valores que têm uma grande variação em relação à $G_{mês\ m}$.

O FC_{med} no ano analisado da GD FV atinge seu valor máximo de 25,63% em setembro de 2016, tendo uma queda do valor até o mês de março de 2017, quando atinge o valor mínimo de 16,44%, tendo uma oscilação em abril e maio de 2017, então voltando a aumentar até o mês de agosto de 2017 quando atinge valor de 24,04%. O FC_{med} anual da GD FV foi de 20,98%.

A maior e_{FV} foi de 16,38% ocorrendo no mês de março de 2017, e a menor e_{FV} foi de 13,86% ocorrendo em maio de 2017. A e_{FV} média anual foi de 14,94%.

A E_{CO_2} proporcionado pela GD FV no LEA no período estudado foi de 255,64 kgCO₂/ano, com uma média mensal de 21,30 kgCO₂/mês. A $E_{carvão}$ no período estudado foi de 859,04 kgCarvão/ano, com uma média mensal de 71,59 kgCarvão/mês. A $E_{carvão-CO_2}$ no período estudado foi de 3152,66 kgCO₂/ano, com uma média mensal de 262,72 kgCO₂/mês.

A P_{FV} do CT-UFC, CC-UFC, CCA-UFC, ICA-UFC/R.U-UFC e B.U-UFC, são de 1.454,00 kWp, 2.616,00 kWp, 1.074,50 kWp, 1.225,75 kWp e 300,300 kWp, respectivamente, totalizando uma P_{FV} de 6.670,55 kWp, com 26.682 módulos FV de 250 Wp de dimensões de 1,66 m x 0,99 m.

Para o custo de investimento da GD FV no Campus do Pici com base no investimento do IFCE (caso 1), o investimento para implantação do sistema de GD FV é de R\$ 6.785.338,18 (23,19%) no CT-UFC, R\$ 10.341.340,72 (35,34%) no CC-UFC, 5.014.336,92 (17,14%) no CCA-UFC, R\$ 5.720.170,75 (19,55%) no ICA-UFC/R.U-UFC e R\$ 1.401.401,00 (4,79%) na B.U-UFC, totalizando um C_{FV} de R\$ 29.262.587,57.

Para o custo de investimento da GD FV no Campus do Pici com base no investimento no parque solar de Nova Olinda (caso 2), o investimento para implantação do sistema de GD FV é de R\$ 4.730.472,68 (23,19%) no CT-UFC, R\$ 7.209.578,72 (35,34%) no CC-UFC, 3.495.799,79 (17,14%) no CCA-UFC, R\$ 3.987.879,57 (19,55%) no ICA-UFC/R.U-UFC e R\$ 977.002,03 (4,79%) na B.U-UFC, totalizando um investimento de R\$ 20.400.732,78.

O potencial FV do CT-UFC, CC-UFC, CCA-UFC, ICA-UFC/R.U-UFC e B.U-UFC foram de 2,67 GWh/ano, 4,80 GWh/ano, 1,97 GWh/ano, 2,25 GWh/ano e 0.55 GWh/ano, respectivamente, totalizando um potencial FV de 12,25 GWh/ano.

O valor da fatura neste período foi de R\$ 8.330.313,61 incluindo valor de consumo HP de R\$ 2.046.980,30, valor de consumo HFP de R\$ 5.410.584,27, valor da demanda contratada R\$ 796.875,00, valor de consumo de reativo excedente de R\$ 28.379,72 e valor de demanda ultrapassada de R\$ 47.493,70/ano.

O consumo de energia elétrica do Campus do Pici/UFC, referente ao mês de setembro de 2016 a agosto de 2017, foi de 14,33 GWh, sendo 1,19 GWh consumidos no HP e 13,14 GWh consumidos no HFP. O valor total dos consumos neste período foi de R\$ 7.457.564,58.

A geração FV média anual FV dos setores do Campus do Pici sobre análise é capaz de suprir R\$ 5.047.425,79 (93,29%) do valor do consumo de energia no HFP, com CT-UFC, CC-UFC, CCA-UFC, ICA-UFC/R.U-UFC e B.U-UFC, compensando R\$ 1.100.210,94 (20,33%), R\$ 1.979.471,68 (36,59%), R\$ 813.051,35 (15,03%), R\$ 927.499,01 (17,14%) e R\$ 227.192,80 (4,20%), respectivamente.

A E_{CO_2} total no período estudado para o Campus do Pici foi de 1.136.842,35 kg CO_2 /ano, com uma média mensal de 94.736,86 kg CO_2 /mês.

A $E_{carvão}$ total, no Campus do Pici, no período estudado, foi de 3.820.133,69 kgCarvão/ano, com uma média mensal de 318.344,47 kgCarvão/mês. A $E_{carvão-CO_2}$ total, no Campus do Pici, no período estudado,

foi de 14.019.890,64 kgCO₂/ano, com uma média mensal de 1.168.324,22 kgCO₂/mês.

O PRI_{FV} da GD FV instalada no Campus do Pici é esperado entre quatro e seis anos.

O panorama apresentado mostrou que o Campus do Pici possui boas condições para a exploração de energia solar.

TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões de pesquisas aprofundando o estudo feito no LEA sobre os temas abordados são sugeridas para trabalhos futuros:

- Realizar modelamento matemático da GD FV do LEA;
- Realizar coleta de dados por um período superior de tempo ao realizado neste trabalho, a fim de se ter um melhor entendimento do comportamento da irradiação global e da intermitência da fonte solar na região de estudo;
- Realizar um estudo sobre como a temperatura de operação dos painéis FV influencia a e_{FV} e afeta a energia elétrica injetada na rede;
- Realizar um estudo sobre sujidade controlada em camadas de diferentes espessuras, a fim de saber o quanto a sujidade afeta a geração de eletricidade, FC e e_{FV} ;
- Realizar a estimativa do potencial FV do Campus do Pici em setores que o estudo não foi feito, como o instituto de educação física e esportes;
- Realizar um algoritmo de alocação ótima da GD FV na rede do Campus do Pici, a fim de se ter a melhor redução das perdas e melhoria no perfil de tensão do sistema;
- Realizar modelos virtuais precisos com BIM (Building Information Modeling) para uma melhor simulação em software de eficiência energética.

ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Costa, D. A. C.; Carvalho, P. C. M.; Cavalcante, A. P. H.; Soares, F. S.; Vieira, O. L.; Silva, F. J. R.; Barroso, G. C.. Performance de uma Geração Distribuída Fotovoltaica Instalada na Zona Urbana de Fortaleza. 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza. 2017.

Tavora, V. P.; Costa, D. A. C.; Carvalho, P. C. M.; Rabelo, A. D. S.; Soares, F. S. Monitoramento de Temperatura de Painel Fotovoltaico Instalado no Laboratório de Energias Alternativas da UFC. 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza. 2017.

Rabelo, A. D. S.; Costa, D. A. C.; Carvalho, P. C. M.; Tavora, V. P.. Estudo sobre Sujidade em Planta Fotovoltaica Localizada em Zona Urbana. 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza. 2017.

Soares, F. S.; Costa, D. A. C.; Bezerra, J. R.; Barroso, G. C.; Leão, R. P. S.; Carvalho, P. C. M.. Alocação Ótima de Geração Distribuída para a Rede de Distribuição da UFC-Campus do Pici. In: XII Conferência Brasileira Sobre Qualidade de Energia Elétrica, 2017.

Silva, F. J. R.; Vieira, O. L.; Costa, D. A. C.. Aplicação do Analisador de Energia ao combate as Perdas Comerciais em Média Tensão. In: XII Congresso Internacional de Metrologia Elétrica (SEMETRO), 2017.

RESUMOS PUBLICADOS E SUBMETIDOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS DE PÓS-GRADUAÇÃO

Costa, D. A. C.; Rabelo, A. D. S.; Tavora, V. P.; Soares, F. S.; Carvalho, P. C. M.. Estudo sobre Sujidade em Planta Fotovoltaica Localizada em Zona Urbana. In: XXXVI Encontro de Iniciação Científica, 2017, FORTALEZA. Revista Encontros Universitários da UFC. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017. v. 2. p. 1264-1264.

Costa, D. A. C.; Soares, F. S.; Carvalho, P. C. M.. Avaliação de uma Geração Fotovoltaica Conectada à Rede do Campus do Pici. In: X Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação, 2017, FORTALEZA. Revista Encontros Universitários da UFC. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017. v. 2. p. 1917-1917.

Soares, F. S.; Costa, D. A. C.; Carvalho, P. C. M.; Barroso, G. C.. Um Algoritmo de Busca Exaustiva para Alocação de um Gerador Distribuído. In: X Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação, 2017, FORTALEZA. Revista Encontros Universitários da UFC. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017. v. 2. p. 2156-2156.

Costa, D. A. C.; Carvaho, P. C. M.; Silva, F. J. R.; Vieira, O. L.; Soares, F. S.; Carvalho, P. R.. Análise do Desempenho Anual da Geração Distribuída Fotovoltaica Instalada no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da UFC. XXXVII Encontro de Iniciação Científica, 2018, Universidade Federal do Ceará. Estado do Resumo em 21/07/2018: Submetido.

Costa, D. A. C.; Carvaho, P. C. M.; Silva, F. J. R.; Vieira, O. L.; Soares, F. S.; Carvalho, P. R.. Análise do Potencial de Instalação de Geração Distribuída Fotovoltaica no Campos do Pici da UFC. XI Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação, 2018, Universidade Federal do Ceará. Estado do Resumo em 21/07/2018: Submetido.

ARTIGOS SUBMETIDOS, EM AVALIAÇÃO E ACEITOS DURANTE O PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Costa, D. A. C.; Carvalho, P. C. M.; Cavalcante, A. P. de H.; Araújo, M. F.; Figueiredo, R. M.; Alencar Filho, A. A. R.; Freitas, D. M.; Gentil, L. E. F.; Martins, M. A.; Martins, M. T.; Melo, R. R.; Nunes, V. F.; Orjuela, W. F.; Parente, D. P.; Parente, P. A.; Silva, K. M.; Silva, P. V. S.; Soares, F. S.; Soares, L. O.; Oliveira, G. S.. Metodologia de Dimensionamento de Geração Fotovoltaica para Edificações Universitárias. Revista Holos. IFRN. Estado do Artigo em 21/07/2018: Em Avaliação.

Fontenele, N. R. M.; Costa, D. A. C.; Boscov, J. A.; Rodrigues, A. A.; Rocha, A. F.; Menezes, B. F.; Oliveira Filho, E. R.; Oliveira, H. A.; Araújo, M. F.; Carvalho, P. C. M.. Modelagem e Verificação Experimental da Corrente em um Sistema Fotovoltaico Utilizando o Modelo de Cinco Parâmetros. Revista Conexões – Ciência e Tecnologia. IFCE. Estado do Artigo em 21/07/2018: Em Avaliação.

Silva, F. J. R.; Costa, D. A. C.; Vieira, O. L.; Soares, F. S.; Carvahho, P. C. M.. Methodology of Calculation of the Shape and Scale Factors of the Weibull Probability Distribution using Brazilian Northeast Region Wind Resources Data. Revista IEEE América Latina. Estado do Artigo em 21/07/2018: Em Avaliação.

Vieira, O. L.; Bezerra, R. B.; Barroso, G. C.; Soares, F. S.; Costa, D. A. C.; Camurça, C. M. C. B.; Silva, F. J. R.. Uso de Testes de Hipóteses para Verificar a Relação entre Chuvas e Interrupções no Fornecimento de Energia Elétrica no Sistema de Distribuição. XXIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (SENDI). Estado do Artigo em 21/07/2018: Submetido.

Silva, F. J. R.; Costa, D. A. C.; Vieira, O. L.; Soares, F. S.; Carvalho, P. C. M.. A Importância do Laboratório de Energias Alternativas (LEA) no Desenvolvimento de Pesquisas e Formação dos Engenheiros Eletricistas da UFC. XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE). Estado do Artigo em 21/07/2018: Aceito.

REFERÊNCIAS

- ABRAPCH. Lançamento de carbono por usinas térmicas e áreas de reflorestamento hipoteticamente necessárias para captura deste carbono:** <http://www.abrapch.org.br/admin/arquivos/arquivos/11/lancamento-de-co2-por-usinas-termicas-549.pdf>. Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras Hidrelétricas. Acesso: 24/05/2018.
- ABSOLAR. Maiores Parques de Energia Solar da América Latina Entram em Operação no Brasil:** <http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/maiores-parques-de-energia-solar-da-america-do-latina-entram-em-operacao-no-brasil.html>. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Acesso: 25/07/2018.
- ADECE. Atlas Solarimétrico do Ceará 1963-2008.** Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará. 2011.
- ANEEL. Chamada Nº 013/2011 Projeto Estratégico: “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 2011.
- ANNEEL. Coelce (CE) tem reajuste de tarifas aprovado pela ANEEL:** http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/coelce-ce-tem-reajuste-de-tarifas-aprovado-pela-aneel/656877?inheritRedirect=false. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2016. Acessado: 07/01/2018.
- ANEEL. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 2012.
- ANEEL. Resolução Normativa Nº 687, de 24 de Novembro de 2015.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 2015.

BARBOSA, E. M. D.; URIBE, F. B.; FIGUEIREDO, T. M.; FREITAS, D. S.; MASCARENHAS, A.C.; VILELA, O. C.; TIBA, C.. **Índices de produtividade na montagem de Usinas Fotovoltaicas no Brasil. Estudo de Caso – Usina Solar Fotovoltaica São Lourenço da Mata.** V Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2014.

BARRETO, S. C.. **Estudo de Viabilidade para Implementação de uma Planta Fotovoltaica Integrada em um Shopping Center de Fortaleza.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2017.

DONADEL, C. B.; FARDIN, J. F.; ENCARNAÇÃO, L. F.. The Influence of Distributed Generation Units Penetration in the Technical Planning Process of Electrical Distribution Networks. **IEEE Latin America Transactions.** Vol. 15, Nº. 11. Novembro de 2017.

CADAVID, L.; FRANCO, C. J.. Impact of Currency Devaluation on the Grid Parity for Residential Solar Generation in Latin America. **IEEE Latin America Transactions.** Vol. 15, Nº. 11. Nov. 2017.

CCAUFUC. **História do CCA.** Disponível em: <http://www.cca.ufc.br/sobre-o-centro-de-ciencias-agrarias/historico-do-cca/>. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Centro de Ciências Agrárias. Acessado em 29/05/2018.

CCUFC. **Apresentação e Histórico do CC.** Disponível em: <http://www.centrodeciencias.ufc.br/sobre-o-centro-de-ciencias/historico-e-missao/>. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Centro de Ciências. Acesso em 27/04/2018.

COSTA, A. C. A.. **Metodologia de Planejamento de Planta Fotovoltaica Integrada à Edificação: Estudo de Caso para o Instituto da Primeira Infância (IPREDE).** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2017.

COSTA, D. A. C.; CARVALHO, P. C. M.; CAVALCANTE, A. P. H.; SOARES, F. S.; VIEIRA, O. L.; SILVA, F. J. R.; BARROSO, G. C.. **Performance de uma Geração**

Distribuída Fotovoltaica Instalada na Zona Urbana de Fortaleza. 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza. 2017.

CTUFC. **Apresentação e Histórico do CT.** Disponível em: <http://www.ct.ufc.br/sobre-o-centro-de-tecnologia/apresentacao-e-historico-do-ct/>. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Centro de Tecnologia. Acesso em 26/04/2018.

CRESEB. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.** Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio Brito. Recife. 2000.

CRESSEB. CEPEL. **“Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos”.** Rio de Janeiro, 2014, 530 p.

DÁVI, G. A.; CAMAÑO-MARTÍN, E.; RÜTHE, R.; SOLANO, J.. Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil. **Energy and Buildings.** 120, 2016, p. 19-29.

DN. **Aneel aprova aumento de 17% na tarifa de energia do Ceará:** <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/online/aneel-aprova-aumento-de-17-na-tarifa-de-energia-do-ceara-1.996689>. Diário do Nordeste online. 2014. Acessado 07/01/2018.

ENEL. **Norma Técnica NT-Br 010/2016: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Ampla/Coelce.** Enel. 2016.

EPE. **Balanço energético Nacional 2017 com no ano base 2016: Resultado final.** 2017.

G1. **Bandeira vira verde, e conta de luz não terá cobrança extra em abril:** <http://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/2016/03/bandeira-vira-verde-e-counta-de-luz-nao-tera-cobranca-extra-em-abril.html>. Globo online. G1-Ceará. 2016. Acessado: 07/01/2018.

Global Market Outlook. **For Solar Power / 2017 -2021. Solar Power Europe.** 2017.

GREENBRÁS. Energia solar no mundo: saiba quais são as 5 maiores usinas fotovoltaicas do planeta. [São Paulo], [2016]. Disponível em: <http://greenbras.com/energia-fotovoltaica/energia-solar-no-mundo-saiba-quais-sao-as-5-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-planeta/>. Acesso em: 22/02/2018.

ICAUFC. Apresentação e Histórico do CC. Disponível em: http://www.ica.ufc.br/index.php?var=sobre_o_ica. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Instituto de Cultura e Arte. Acesso em 06/05/2018.

IFCE. Pecém terá Centro de Pesquisa em Energias Renováveis: <https://ifce.edu.br/pecem/noticias/ifce-pecem-tera-centro-de-pesquisa-em-energias-renovaveis>. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ. Campus do Pecém. Acessado em 06/07/2018.

INEE. O Que É Geração Distribuída: http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp. Instituto Nacional de Eficiência Energética. Acessado 19/01/2018.

LEITE, M. C. C.; VIEIRA, F. A. M.; SILVA, V. B.; FORTES, M. Z.; DIAS, D. H. N.. Harmonic Analysis of a Photovoltaic Systems Connected to Low Voltage Grid. **IEEE Latin America Transactions**. Vol. 16, Nº. 1. Janeiro de 2018.

LIMA, L. C.; FERREIRA, L. A.; MORAIS, F. H. B. L.. Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. **Energy for Sustainable Development**. Vol. 37. pag. 79-85. 2017.

MCTIC. Fator médio – Inventários corporativos: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. 2018. Acessado: 24/05/2018

MME. Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD. Portaria Nº 538 de 15 de Dezembro de 2015.

OPOVO. **Conta de energia sobe pela quarta vez em 2015:**

<https://www20.opovo.com.br/app/opovo/economia/2015/04/15/noticiasjornaleconomia,3422986/conta-de-energia-sobe-pela-quarta-vez-em-2015.shtml>. O POVO online. 2015. Acessado: 07/01/2018.

OPOVO. **Impacto na conta de luz do Ceará é de 10%:**

<https://www.opovo.com.br/jornal/economia/2017/10/impacto-na-conta-de-luz-do-ceara-e-de-10.html>. O POVO online. 2017. Acessado 07/01/2017.

PACHECO, M.; LAMBERTS, R.. Assessment of technical and economical viability for large-scale conversion of single family residential buildings into zero energy buildings in Brazil: Climatic and cultural considerations. **Energy Policy**. Vol. 63, 2013, p. 716-725.

PARENTE, P. A.. **Análise do panorama energético nacional com foco nas energias eólicas e solar fotovoltaica para o estado do Ceará**. Universidade Federal do Ceará, 2016, p. 43-44.

PEREIRA, M. L.; SOUSA, J. R. B.. Monitoring Systems Used In Photovoltaic Microgeneration: A Review. **IEEE Latin America Transactions**. Vol. 15, Nº. 9, Setembro de 2017.

PHB. **Catálogo Inversores PHB Solar**. 2017. PHB Solar.

PIB. **Implementation of scheme for development of Solar Parks and Ultra Mega Solar Power Projects**: <http://pib.nic.in/newsite/PrintRelease.aspx?relid=113055>. Press Information Bureau Government of India Cabinet. 2014. Acessado em 22/02/2018.

RABELO, A. D. S.; COSTA, D. A. C.; CARVALHO, P. C. M.; TÁVORA, V. P.. **Estudo sobre Sujidade em Planta Fotovoltaica Localizada em Zona Urbana**. 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza. 2017.

SANTIAGO, G. L. S.; VARELLA, F. K. O. M.. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico: Alimentação para Lâmpadas Led do Corredor do Prédio Laboratório de Engenharia I da UFERSA – Mossoró/RN.** V Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2014.

SESI. **Aneel define reajuste de energia para 2017:** <https://www.sesi-ce.org.br/103981/noticia/aneel-define-reajuste-de-energia-para-2017>. Serviço Social da Indústria - Ceará. 2017. Acessado: 07/01/2018.

Sevenia. **Energia Solar:** <http://www.sevenia.com.br/distributed-energy/>. Soluções Inteligentes em Energia. Acessado 15/02/2018

SOUSA, B. X.; NERYS, J. W.. **Estudo de Caso de Geração Distribuída Fotovoltaica de Pequeno Porte Conectada à Rede de Distribuição.** Publicado em: SBSE - IV Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, Goiânia, Goiás, 2012.

TÁVORA, V. P.; COSTA, D. A. C.; CARVALHO, P. C. M.; RABELO, A. D. S.; SOARES, F. S. **Monitoramento de Temperatura de Pannel Fotovoltaico Instalado no Laboratório de Energias Alternativas da UFC.** 2º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída. Fortaleza. 2017.

TERÁN, E. M. M.. **Sistema fotovoltaico de pequeno porte interligado à rede elétrica.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2012.

VILELA, O. C.; FILHO, J. B. M.; BARBOSA, E. M. D.; SECUNDES, U. U.; GALDINO, M. A.; FRAIDENRAICH, N.. **Planta Fotovoltaica de 3 MWp de Petrolina Aspectos Tecnológicos Legais e Ambientais.** V Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2014.

Yingli Solar. **Datasheet: YGE 60 serie 2.** Maio de 2015. Yingli Green Energy do Brasil, S.A.

ZHANG, F.; DENG, H.; MARGOLIS, R.; SU, J.. Analysis of distributed-generation photovoltaic deployment, installation time and cost, market barriers, and policies in China. **Energy Policy**. Vol. 81. Pag. 43-55. Junho de 2015.

**APÊNDICE A – DADOS COLETADOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA
FOTOVOLTAICA E DADOS AMBIENTAIS**

Tabela 27 – Dados coletados da GD FV e ambientais em setembro de 2016.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/09/2016	0,8725	8,50	-
02/09/2016	0,9444	9,20	-
03/09/2016	0,9136	8,90	-
04/09/2016	0,9752	9,50	-
05/09/2016	0,9752	9,50	-
06/09/2016	0,9547	9,30	-
07/09/2016	0,9957	9,70	-
08/09/2016	0,9444	9,20	-
09/09/2016	0,9649	9,40	-
10/09/2016	0,9547	9,30	-
11/09/2016	1,0060	9,80	-
12/09/2016	1,0368	10,10	6,97
13/09/2016	1,0573	10,30	7,07
14/09/2016	1,0163	9,90	6,98
15/09/2016	0,8520	8,30	5,65
16/09/2016	0,8828	8,60	5,89
17/09/2016	0,9033	8,80	5,92
18/09/2016	1,0676	10,40	7,09
19/09/2016	0,9136	8,90	6,03
20/09/2016	0,9855	9,60	6,67
21/09/2016	0,9341	9,10	6,13
22/09/2016	0,9033	8,80	6,01
23/09/2016	0,9239	9,00	6,02
24/09/2016	0,8931	8,70	5,95
25/09/2016	0,8725	8,50	5,74
26/09/2016	0,8315	8,10	5,50
27/09/2016	0,9341	9,10	6,33
28/09/2016	0,9547	9,30	-
29/09/2016	0,9855	9,60	-
30/09/2016	0,9649	9,40	-
Média	0,9471	9,23	6,25

Tabela 28 – Dados coletados da GD FV e ambientais em outubro de 2016.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/10/2016	0,8725	8,50	-
02/10/2016	0,8725	8,50	-
03/10/2016	1,0163	9,90	-
04/10/2016	0,8315	8,10	-
05/10/2016	0,9752	9,50	-
06/10/2016	0,7494	7,30	-
07/10/2016	0,8520	8,30	5,98
08/10/2016	0,8212	8,00	5,67
09/10/2016	0,9752	9,50	-
10/10/2016	0,9341	9,10	-
11/10/2016	1,0163	9,90	-
12/10/2016	0,9136	8,90	-
13/10/2016	0,8725	8,50	-
14/10/2016	0,9136	8,90	6,51
15/10/2016	0,9752	9,50	7,00
16/10/2016	0,9752	9,50	7,09
17/10/2016	0,9341	9,10	7,07
18/10/2016	-	-	6,39
19/10/2016	-	-	6,42
20/10/2016	-	-	5,07
21/10/2016	-	-	6,52
22/10/2016	-	-	6,21
23/10/2016	-	-	7,04
24/10/2016	-	-	6,1
25/10/2016	-	-	6,44
26/10/2016	-	-	6,33
27/10/2016	-	-	-
28/10/2016	-	-	-
29/10/2016	-	-	-
30/10/2016	-	-	-
31/10/2016	-	-	-
Média	0,9118	8,88	6,39

Tabela 29 – Dados coletados da GD FV e ambientais em novembro de 2016.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/10/2016	0,8725	8,50	-
02/10/2016	0,8725	8,50	-
03/10/2016	1,0163	9,90	-
04/10/2016	0,8315	8,10	-
05/10/2016	0,9752	9,50	-
06/10/2016	0,7494	7,30	-
07/10/2016	0,8520	8,30	5,98
08/10/2016	0,8212	8,00	5,67
09/10/2016	0,9752	9,50	-
10/10/2016	0,9341	9,10	-
11/10/2016	1,0163	9,90	-
12/10/2016	0,9136	8,90	-
13/10/2016	0,8725	8,50	-
14/10/2016	0,9136	8,90	6,51
15/10/2016	0,9752	9,50	7,00
16/10/2016	0,9752	9,50	7,09
17/10/2016	0,9341	9,10	7,07
18/10/2016	-	-	6,39
19/10/2016	-	-	6,42
20/10/2016	-	-	5,07
21/10/2016	-	-	6,52
22/10/2016	-	-	6,21
23/10/2016	-	-	7,04
24/10/2016	-	-	6,1
25/10/2016	-	-	6,44
26/10/2016	-	-	6,33
27/10/2016	-	-	-
28/10/2016	-	-	-
29/10/2016	-	-	-
30/10/2016	-	-	-
31/10/2016	-	-	-
Média	0,9118	8,88	6,39

Tabela 30 – Dados coletados da GD FV e ambientais em dezembro de 2016.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/12/2016	0,8110	7,90	6,09
02/12/2016	0,8212	8,00	5,97
03/12/2016	0,8212	8,00	6,04
04/12/2016	0,8520	8,30	6,69
05/12/2016	0,6159	6,00	3,94
06/12/2016	0,7596	7,40	5,44
07/12/2016	0,7494	7,30	5,62
08/12/2016	0,7596	7,40	5,58
09/12/2016	0,8110	7,90	6,36
10/12/2016	0,8110	7,90	6,22
11/12/2016	0,8007	7,80	5,92
12/12/2016	0,7288	7,10	5,67
13/12/2016	0,7083	6,90	4,98
14/12/2016	0,6775	6,60	4,81
15/12/2016	0,5851	5,70	3,76
16/12/2016	0,4517	4,40	2,66
17/12/2016	0,7596	7,40	5,48
18/12/2016	0,5133	5,00	2,95
19/12/2016	0,5235	5,10	3,02
20/12/2016	0,8623	8,40	6,49
21/12/2016	0,8520	8,30	6,13
22/12/2016	0,8212	8,00	6,03
23/12/2016	0,8520	8,30	6,33
24/12/2016	0,7596	7,40	5,23
25/12/2016	0,7083	6,90	4,82
26/12/2016	0,6878	6,70	4,96
27/12/2016	0,8315	8,10	6,37
28/12/2016	0,7904	7,70	5,77
29/12/2016	0,6980	6,80	5,02
30/12/2016	0,8212	8,00	6,36
31/12/2016	0,8110	7,90	5,80
Média	0,7437	7,25	5,37

Tabela 31 – Dados coletados da GD FV e ambientais em janeiro de 2017.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i> (kWh/m ² /dia)
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	
01/01/2017	0,8418	8,20	6,35
02/01/2017	0,6570	6,40	4,53
03/01/2017	0,7186	7,00	5,26
04/01/2017	0,7596	7,40	-
05/01/2017	0,8007	7,80	-
06/01/2017	0,8418	8,20	-
07/01/2017	0,8725	8,50	-
08/01/2017	0,4106	4,00	-
09/01/2017	0,6467	6,30	4,66
10/01/2017	0,7186	7,00	5,16
11/01/2017	0,2874	2,80	1,40
12/01/2017	0,8110	7,90	6,15
13/01/2017	0,7904	7,70	6,06
14/01/2017	0,7083	6,90	5,35
15/01/2017	0,5954	5,80	4,22
16/01/2017	0,6467	6,30	4,6
17/01/2017	0,8007	7,80	5,88
18/01/2017	0,4414	4,30	2,73
19/01/2017	0,6570	6,40	4,51
20/01/2017	0,6980	6,80	-
21/01/2017	0,8725	8,50	-
22/01/2017	0,8212	8,00	-
23/01/2017	0,8315	8,10	-
24/01/2017	0,7596	7,40	5,60
25/01/2017	0,7288	7,10	5,69
26/01/2017	0,7904	7,70	5,75
27/01/2017	0,5646	5,50	4,06
28/01/2017	0,7083	6,90	5,24
29/01/2017	0,8315	8,10	6,31
30/01/2017	0,8212	8,00	6,07
31/01/2017	0,5954	5,80	4,23
Média	0,7106	6,92	4,99

Tabela 32 – Dados coletados da GD FV e ambientais em fevereiro de 2017.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/02/2017	0,5851	5,70	-
02/02/2017	0,7699	7,50	-
03/02/2017	0,8212	8,00	-
04/02/2017	0,8418	8,20	-
05/02/2017	0,8623	8,40	-
06/02/2017	0,8623	8,40	-
07/02/2017	0,6878	6,70	-
08/02/2017	0,7083	6,90	-
09/02/2017	0,8007	7,80	-
10/02/2017	0,6980	6,80	-
11/02/2017	-	-	-
12/02/2017	-	-	-
13/02/2017	0,7083	6,90	4,94
14/02/2017	0,6467	6,30	4,52
15/02/2017	0,7391	7,20	5,12
16/02/2017	0,9033	8,80	6,95
17/02/2017	0,2566	2,50	1,31
18/02/2017	0,4517	4,40	2,99
19/02/2017	0,2874	2,80	1,51
20/02/2017	0,4209	4,10	2,51
21/02/2017	0,5646	5,50	3,80
22/02/2017	0,8828	8,60	6,81
23/02/2017	0,8725	8,50	6,74
24/02/2017	0,7288	7,10	5,60
25/02/2017	0,8520	8,30	6,78
26/02/2017	0,8315	8,10	6,23
27/02/2017	0,3901	3,80	2,16
28/02/2017	0,5030	4,90	3,15
Média	0,6799	6,62	

Tabela 33 – Dados coletados da GD FV e ambientais em março de 2017.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/03/2017	0,5749	5,60	3,74
02/03/2017	0,4825	4,70	3,19
03/03/2017	0,4209	4,10	2,65
04/03/2017	0,6980	6,80	4,33
05/03/2017	0,6878	6,70	4,32
06/03/2017	0,8007	7,80	5,26
07/03/2017	0,9444	9,20	6,60
08/03/2017	0,3490	3,40	1,85
09/03/2017	0,4209	4,10	2,27
10/03/2017	0,6672	6,50	4,24
11/03/2017	0,4927	4,80	2,78
12/03/2017	0,5338	5,20	3,16
13/03/2017	0,5133	5,00	3,03
14/03/2017	0,6570	6,40	4,05
15/03/2017	0,7904	7,70	5,13
16/03/2017	-	-	3,81
17/03/2017	-	-	5,32
18/03/2017	0,8007	7,80	5,24
19/03/2017	0,5749	5,60	3,41
20/03/2017	0,7494	7,30	4,79
21/03/2017	0,6672	6,50	4,34
22/03/2017	0,4106	4,00	2,26
23/03/2017	0,5235	5,10	3,08
24/03/2017	-	-	0,69
25/03/2017	-	-	6,05
26/03/2017	-	-	1,84
27/03/2017	-	-	2,82
28/03/2017	-	-	-
29/03/2017	-	-	-
30/03/2017	-	-	-
31/03/2017	-	-	-
Média	0,6076	5,92	3,71

Tabela 34 – Dados coletados da GD FV e ambientais em abril de 2018.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/04/2018	0,9136	8,90	6,18
02/04/2018	0,4414	4,30	2,44
03/04/2018	0,8931	8,70	5,99
04/04/2018	0,7494	7,30	4,73
05/04/2018	0,6775	6,60	-
06/04/2018	0,7083	6,90	-
07/04/2018	0,6570	6,40	4,19
08/04/2018	0,5543	5,40	3,41
09/04/2018	0,7288	7,10	4,85
10/04/2018	0,6570	6,40	4,18
11/04/2018	0,4209	4,10	2,37
12/04/2018	0,7083	6,90	4,68
13/04/2018	0,6467	6,30	4,16
14/04/2018	0,8110	7,90	5,57
15/04/2018	0,4722	4,60	2,87
16/04/2018	0,6775	6,60	-
17/04/2018	0,3798	3,70	2,32
18/04/2018	0,8315	8,10	5,76
19/04/2018	0,8931	8,70	6,23
20/04/2018	0,8212	8,00	5,88
21/04/2018	0,8315	8,10	5,65
22/04/2018	0,8418	8,20	5,73
23/04/2018	0,8418	8,20	5,85
24/04/2018	0,8315	8,10	5,80
25/04/2018	0,8007	7,80	5,35
26/04/2018	0,7596	7,40	5,24
27/04/2018	0,9239	9,00	6,41
28/04/2018	0,8725	8,50	6,07
29/04/2018	0,6775	6,60	4,29
30/04/2018	0,5030	4,90	3,11
Média	0,7175	6,99	4,79

Tabela 35 – Dados coletados da GD FV e ambientais em maio de 2017/2018.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i>
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	(kWh/m ² /dia)
01/05/2018	0,7186	7,00	4,86
02/05/2018	0,6775	6,60	4,55
03/05/2018	0,8007	7,80	5,29
04/05/2018	0,6775	6,60	4,31
05/05/2018	0,7802	7,60	5,06
06/05/2018	-	-	-
07/05/2018	0,5543	5,40	3,4
08/05/2018	0,6775	6,60	4,45
09/05/2018	0,4311	4,20	2,46
09/05/2017	-	-	3,54
10/05/2018	0,4209	4,10	-
11/05/2018	0,6056	5,90	-
12/05/2018	0,8725	8,50	-
13/05/2018	0,8315	8,10	-
14/05/2018	0,9136	8,90	-
15/05/2018	0,7699	7,50	-
16/05/2018	0,8418	8,20	-
17/05/2018	0,6570	6,40	-
18/05/2018	0,7288	7,10	-
19/05/2017	0,8418	8,20	-
20/05/2017	0,7391	7,20	5,14
21/05/2017	-	-	5,97
22/05/2017	-	-	6,16
23/05/2017	-	-	6,25
24/05/2017	-	-	6,04
25/05/2017	-	-	4,75
26/05/2017	0,4722	4,60	3,27
27/05/2017	0,7186	7,00	4,87
28/05/2017	0,3080	3,00	1,72
29/05/2017	0,1334	1,30	0,44
30/05/2017	0,7391	7,20	4,89
31/05/2017	0,6159	6,00	4,32
Média	0,6611	6,44	4,37

Tabela 36 – Dados coletados da GD FV e ambientais em junho de 2017.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i> (kWh/m ² /dia)
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	
01/06/2017	0,7596	7,40	5,43
02/06/2017	0,8212	8,00	5,98
03/06/2017	0,8315	8,10	5,95
04/06/2017	0,8315	8,10	-
05/06/2017	0,8418	8,20	-
06/06/2017	0,9033	8,80	5,98
07/06/2017	0,8212	8,00	5,37
08/06/2017	0,9136	8,90	6,00
09/06/2017	0,8418	8,20	5,59
10/06/2017	0,8623	8,40	5,73
11/06/2017	0,6672	6,50	4,17
12/06/2017	0,8212	8,00	5,39
13/06/2017	0,8315	8,10	5,25
14/06/2017	0,6980	6,80	4,18
15/06/2017	0,8828	8,60	-
16/06/2017	0,7083	6,90	-
17/06/2017	0,7802	7,60	4,82
18/06/2017	0,9341	9,10	5,85
19/06/2017	0,7494	7,30	4,63
20/06/2017	0,7699	7,50	4,36
21/06/2017	0,8315	8,10	5,19
22/06/2017	0,9136	8,90	5,74
23/06/2017	0,6980	6,80	4,22
24/06/2017	0,7288	7,10	4,45
25/06/2017	0,9341	9,10	5,87
26/06/2017	0,8623	8,40	5,48
27/06/2017	0,7083	6,90	4,36
28/06/2017	0,8212	8,00	5,16
29/06/2017	0,6364	6,20	-
30/06/2017	0,3901	3,80	-
Média	0,7932	7,73	5,21

Tabela 37 – Dados coletados da GD FV e ambientais em julho de 2017.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i> (kWh/m ² /dia)
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	
01/07/2017	0,6262	6,10	3,75
02/07/2017	0,7904	7,70	4,97
03/07/2017	0,8007	7,80	4,99
04/07/2017	0,9444	9,20	5,95
05/07/2017	0,7699	7,50	4,67
06/07/2017	0,5441	5,30	3,25
07/07/2017	0,7596	7,40	4,78
08/07/2017	0,8520	8,30	5,24
09/07/2017	0,9547	9,30	6,09
10/07/2017	0,7904	7,70	5,04
11/07/2017	-	-	5,45
12/07/2017	0,7596	7,40	4,77
13/07/2017	0,9136	8,90	5,81
14/07/2017	0,9444	9,20	6,06
15/07/2017	0,8110	7,90	4,90
16/07/2017	0,9136	8,90	5,73
17/07/2017	0,7802	7,60	4,84
18/07/2017	0,4619	4,50	2,53
19/07/2017	0,8520	8,30	5,68
20/07/2017	0,4106	4,00	2,32
21/07/2017	0,4927	4,80	2,92
22/07/2017	0,9033	8,80	5,84
23/07/2017	0,9239	9,00	5,93
24/07/2017	0,9033	8,80	5,95
25/07/2017	0,8828	8,60	5,68
26/07/2017	-	-	5,20
27/07/2017	0,9752	9,50	6,35
28/07/2017	0,7699	7,50	4,70
29/07/2017	0,9239	9,00	5,92
30/07/2017	0,9855	9,60	6,35
31/07/2017	-	-	-
Média	0,8014	7,81	5,06

Tabela 38 – Dados coletados da GD FV e ambientais em agosto de 2017.

Dia	<i>G</i>		<i>I_g</i> (kWh/m ² /dia)
	(kWh/m ² /dia)	(kWh/dia)	
01/08/2017	0,9136	8,90	6,07
02/08/2017	0,8315	8,10	5,45
03/08/2017	0,9239	9,00	6,14
04/08/2017	0,9444	9,20	6,31
05/08/2017	0,8725	8,50	5,79
06/08/2017	0,9444	9,20	6,38
07/08/2017	0,8110	7,90	5,60
08/08/2017	0,9341	9,10	6,28
09/08/2017	0,9136	8,90	6,18
10/08/2017	0,8931	8,70	6,12
11/08/2017	0,8725	8,50	5,94
12/08/2017	0,9341	9,10	6,32
13/08/2017	0,9341	9,10	6,42
14/08/2017	0,8623	8,40	5,98
15/08/2017	0,8007	7,80	5,44
16/08/2017	0,8520	8,30	5,90
17/08/2017	0,9341	9,10	6,49
18/08/2017	0,8007	7,80	5,55
19/08/2017	0,6775	6,60	4,38
20/08/2017	0,8623	8,40	5,93
21/08/2017	0,9239	9,00	6,53
22/08/2017	0,9239	9,00	6,51
23/08/2017	0,9752	9,50	6,65
24/08/2017	0,8725	8,50	5,94
25/08/2017	0,9239	9,00	6,05
26/08/2017	0,7699	7,50	5,09
27/08/2017	0,9649	9,40	6,51
28/08/2017	0,9239	9,00	6,42
29/08/2017	0,9649	9,40	6,60
30/08/2017	0,8931	8,70	6,15
31/08/2017	0,893077113	8,70	6,22
Média	0,8884	8,65	6,04