



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRENO BEZERRA FREITAS

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA  
USANDO METODOLOGIA BIM

FORTALEZA

2018

BRENO BEZERRA FREITAS

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA  
USANDO METODOLOGIA BIM

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho  
Coorientador: Prof. Dr. Antonio 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)

---

F936a Freitas, Breno Bezerra.  
Análise do Potencial de Geração Fotovoltaica Usando Metodologia BIM / Breno Bezerra Freitas. – 2018.  
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.

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

Coorientação: Prof. Dr. Antonio Paulo de Hollanda Cavalcante.

1. Geração Fotovoltaica. 2. Geração Distribuida. 3. BIM. 4. Créditos de Carbono. 5. Análise Financeira.  
I. Título.

CDD 621.3

---

BRENO BEZERRA FREITAS

ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA  
USANDO METODOLOGIA BIM

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho  
Coorientador: Prof. Dr. Antonio Paulo de Hollanda Cavalcante

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

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

---

Prof. MsC. Douglas Aurélio Carvalho Costa  
Centro Universitário 7 de Setembro (UNI7)

À Deus.

Aos meus pais, Luzia e Antônio.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar sabedoria e força para superar as adversidades.

Agradeço ao meus pais, Antônio e Luzia, por estarem sempre ao meu lado e por serem meu grande ponto de apoio. Por entenderem as dificuldades enfrentadas durante a graduação e sempre me darem bons conselhos para a graduação e para a vida.

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Paulo Cesar Marques Carvalho e Prof. Dr. Antonio Paulo de Hollanda Cavalcante pela paciência, pela disponibilidade e pelas valorosas contribuições ao meu trabalho.

Agradeço ao Douglas Aurélio, da banca examinadora, pela paciência e pelos auxílios desde antes mesmo do tema desse TCC ser totalmente definido.

Agradeço à UFC, por disponibilizar os dados de consumo de eletricidade do campus.

Aos grandes amigos que fiz durante a graduação Anderson, Bruno, Caio, Davi, Pedro, Tiago e Walter, os quais, juntos, vivenciamos muitos bons momentos e superamos aqueles não tão bons.

Agradeço também aos meus grandes amigos Dhiego, Leandro e Raphael, os quais acompanham minha jornada desde o ensino fundamental e sempre me apoiaram.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte da minha jornada até o momento e que, independente de qual tenha sido a contribuição, sou grato por ela.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda” (Oliver Godsmith)

“Persistência é a irmã gêmea da excelência. Uma é a mãe da qualidade, a outra é a mãe do tempo” (Marabel Morgan)

## RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade analisar o potencial de geração fotovoltaica (FV) nos blocos do Instituto de Cultura e Arte (ICA), no Centro de Convivência e no Restaurante Universitário (RU) fazendo uso da metodologia BIM. A pesquisa apresenta os fatores de análise construtiva, da sustentabilidade e dos custos para obras específicas nos referidos blocos, envolvendo desenho técnico, cálculos de dimensionamento FV, estudo de atratividade financeira e comparativo com uma moeda energética. Para tal, usa-se o *software* Revit para a modelagem tridimensional focada na volumetria das construções e também no estudo de sombreamento, em que, para cada bloco, simula-se o efeito das sombras durante três períodos do dia e durante quatro meses ao ano, espaçados igualmente. O uso dessa metodologia representa um novo nível na integração de projetos de engenharia, criando uma plataforma integrada para o desenvolvimento simultâneo para todos os detalhes construtivos e financeiros, apesar de ter como desvantagem o fato de ainda não ser muito difundida entre os profissionais. O *software* RETscreen é utilizado para mensurar o investimento a ser feito em cada construção, o quanto pode ser economizado ao ano e em quanto tempo esse mesmo investimento é totalmente pago. No presente estudo, observa-se que o ICA tem disponibilidade para implantar 856 módulos, enquanto que o Centro de Convivência pode implantar 4065 módulos e o RU 1789 módulos. Em consequência, as unidades podem, respectivamente, gerar 366,67 MWh, 1745,58 MWh e 766,34 MWh. Para cada um dos blocos analisados, percebe-se um retorno de investimento de dois anos e meio, sendo necessário para o ICA o investimento de R\$ 4.686.250,00, para o Centro de Convivência R\$ 984.400,00 e para o RU R\$ 2.057.350,00. Além disso, o projeto também prevê uma análise de créditos de carbono a partir das premissas do Protocolo de Kyoto.

**Palavras chave:** Geração Fotovoltaica, Geração Distribuída, BIM, Créditos de Carbono, Análise Financeira.

## ABSTRACT

This study has the purpose of analyzing the potential of photovoltaic (PV) generation in the blocks of the Instituto de Cultura e Arte (ICA), in the Centro de Convivência and in the Restaurante Universitário (RU) using the BIM methodology. The research presents the factors of constructive analysis, sustainability and costs for specific works in these blocks, involving technical design, calculation of PV design, study of financial attractiveness and comparative with an energy currency. For this, Revit software is used for three-dimensional modeling focused on the volumetry of buildings and also on the study of shading, in which, for each block, the effects of shadows are simulated during three periods of the day and for four months a year, equally spaced. The use of this methodology represents a new level in the integration of engineering projects, creating an integrated platform for the simultaneous development of all constructive and financial details, although it is not yet very widespread among professionals. The RETscreen software is used to measure the investment to be made in each construction, how much can be saved per year and how long that investment is fully paid. In this study, it is observed that ICA is available to implement 856 modules, while the Centro de Convivência can deploy 4065 modules and RU 1789 modules. As a result, the unities can respectively generate 366.67 MWh, 1745.58 MWh and 766.34 MWh. For each of the blocks analyzed, a return of investment of two and a half years is realized, requiring the ICA to invest R\$ 4,686,250.00, for the Centro de Convivência R\$ 984,400.00 and for the RU R\$ 2,057,350.00. In addition, the project also provides an analysis of carbon credits from the premises of the Kyoto Protocol.

**Keywords:** Photovoltaic Power, Distributed Generation, BIM, Carbon Credits, Financial Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de atividades do BIM 7D.....	23
Figura 2 – Curva de Aplicação e Difusão do BIM com Indicativo do Brasil .....	24
Figura 3 - Fluxograma da .....	31
Figura 4 – Interface inicial do Revit.....	32
Figura 5 – ICA, RU e Centro de Convivência vistos pelo Google Earth Pro .....	33
Figura 6 – Área do Centro de Convivência disponível para os módulos FV .....	34
Figura 7 – Área do ICA disponível para a inserção dos módulos fotovoltaicos .....	34
Figura 8 – Área do RU disponível para a inserção dos módulos FV .....	35
Figura 9 – Aba de Simulação de Sombreamento .....	36
Figura 10 – Sombreamento sobre o Centro de Convivência nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 06h.....	37
Figura 11 – Sombreamento sobre o Centro de Convivência nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), em zênite.....	38
Figura 12 – Sombreamento sobre o Centro de Convivência nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 17h.....	39
Figura 13 – Sombreamento sobre o ICA nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 06h .....	40
Figura 14 – Sombreamento sobre o ICA nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), em zênite .....	41
Figura 15 – Sombreamento sobre o ICA nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 17h .....	42
Figura 16 – Sombreamento sobre o RU nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 06h .....	43
Figura 17 – Sombreamento sobre o RU nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), em zênite .....	44
Figura 18 – Sombreamento sobre o RU nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 17h .....	45
Figura 19 – Interface Inicial do RETScreen .....	57
Figura 20 – Dados de geolocalização e climáticos para a região estudada .....	58
Figura 21 – Dados do Sistema de Eletricidade para o Estudo de Caso .....	59
Figura 22 – Dados do Sistema Fotovoltaico para o Centro de Convivência.....	59
Figura 23 – Dados do Sistema Fotovoltaico para o ICA.....	59

Figura 24 – Dados do Sistema Fotovoltaico para o Restaurante Universitário.....	60
Figura 25 – Custo de Sistemas Fotovoltaicos por Faixa de Potência.....	61
Figura 26 – Análise de Custos para o Centro de Convivência .....	61
Figura 27 – Parâmetros Financeiros .....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da Potência Instalada no Brasil em Micro e Minigeração Dividida por Fontes .....	21
Gráfico 2 – Evolução Global da Capacidade Instalada FV entre 2000 e 2017 .....	25
Gráfico 3 – Publicações Plataforma Scopus sobre GD FV entre 2000 e 2017 .....	26
Gráfico 4 – Registro da Potência Instalada em Micro e Minigeração por Estados .....	29
Gráfico 5 – Registros para Certificação LEED por estados no Brasil.....	30
Gráfico 6 – Fluxo de Carga para o Centro de Convivência .....	63
Gráfico 7 – Fluxo de Carga para o ICA .....	64
Gráfico 8 – Fluxo de Carga para o Restaurante Universitário .....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis Médios dos Reservatórios por Subsistemas .....	20
Tabela 2 – Geração Elétrica Brasileira em GWh .....	20
Tabela 3 – Fator de Capacidade do LEA.....	46
Tabela 4 – Dados do Módulo Utilizado Para Condições Padrões de Teste .....	47
Tabela 5 – Resultados dos Dimensionamentos .....	50
Tabela 6 – Dados do Inversor Utilizado.....	51
Tabela 7 – Resultado do Dimensionamento dos Inversores.....	55
Tabela 8 – Consumo de energia elétrica no Pici de janeiro de 2016 - agosto de 2018 (kWh) .....	56
Tabela 9 – Resultado da Análise dos Modelos Energéticos.....	60
Tabela 10 – Investimento Total por Construção .....	62
Tabela 11 – Viabilidade Financeira para o Centro de Convivência .....	62
Tabela 12 – Viabilidade Financeira para o ICA.....	63
Tabela 13 – Viabilidade Financeira para o Restaurante Universitário.....	64

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UFC	Universidade Federal do Ceará
BIM	<i>Building Information Model</i>
MIC	Modelagem da Informação da Construção
DIATEC	Departamento de Integração Acadêmica e Tecnológica
ONS	Operador Nacional do Sistema
EAR	Energia Armazenada
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
NBIMS	<i>National BIM Standart</i>
BDS	<i>Building Description System</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i>
CBIM	Câmara Brasileira de BIM
GD	Geração Distribuída
APAC	<i>Asia Pacific Countries</i>
MEA	<i>Middle East and Africa</i>
ROW	<i>Rest os the Word</i>
GBC	<i>Green Building Council</i>
ONG	Organização Não Governamental
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LEA	Laboratório de Energias Alternativas
FC	Fator de Capacidade
ICA	Instituto de Cultura e Arte
RU	Restaurante Universitário
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
IDEAL	Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	17
<b>1.2</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	18
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO E PANORAMA BRASILEIRO</b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Geração Fotovoltaica</b> .....	19
<b>2.2</b>	<b>Metodologia BIM</b> .....	22
<b>3</b>	<b>ESTADO DA ARTE</b> .....	25
<b>3.1</b>	<b>Fotovoltaica Aplicada à Geração Distribuída</b> .....	25
<b>3.1.1</b>	<i>No Mundo</i> .....	25
<b>3.1.2</b>	<i>Na UFC</i> .....	26
<b>3.2</b>	<b>Metodologia BIM</b> .....	28
<b>3.3</b>	<b>Fotovoltaica Aplicada à Metodologia BIM</b> .....	28
<b>4</b>	<b>MODELAGEM 3D</b> .....	31
<b>4.1</b>	<b>Revit</b> .....	32
<b>4.2</b>	<b>Centro de Convivência da UFC</b> .....	33
<b>4.3</b>	<b>Instituto de Cultura e Arte da UFC</b> .....	34
<b>4.4</b>	<b>Restaurante Universitário da UFC</b> .....	35
<b>4.5</b>	<b>Estudo de Sombreamento</b> .....	35
<b>5</b>	<b>DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO</b> .....	46
<b>5.1</b>	<b>Centro de Convivência</b> .....	48
<b>5.2</b>	<b>Instituto de Cultura e Arte</b> .....	49
<b>5.3</b>	<b>Restaurante Universitário</b> .....	50
<b>5.4</b>	<b>Dimensionamento do Inversor</b> .....	51
<b>5.4.1</b>	<i>Inversores do Centro de Convivência</i> .....	52
<b>5.4.2</b>	<i>Inversores do Instituto de Cultura e Arte</i> .....	53
<b>5.4.3</b>	<i>Inversores do Restaurante Universitário</i> .....	54
<b>6</b>	<b>VALORAÇÃO</b> .....	56
<b>6.1</b>	<b>Impacto na Fatura de Energia</b> .....	56
<b>6.2</b>	<b>Payback Fotovoltaico</b> .....	57
<b>6.2.1</b>	<i>Validação do Modelo Energético com o RETScreen</i> .....	58
<b>6.2.2</b>	<i>Análise de Custos</i> .....	60

<b>6.2.3</b>	<b><i>Análise Financeira</i></b> .....	62
<b>6.3</b>	<b>Valoração em BIM</b> .....	65
<b>6.3.1</b>	<b><i>Equivalência da Redução de CO<sub>2</sub> usando Geração Fotovoltaica</i></b> .....	65
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	67
	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

Frente ao considerável crescimento e à valorização do uso de fontes alternativas para geração de energia elétrica, a geração fotovoltaica (FV) ganha destaque pela sua grande expansão mundial nos últimos anos em que, de 2015 para 2016 cresceu 44,7 %. A sua integração com a rede elétrica de distribuição vem apresentando um expressivo crescimento no Brasil principalmente após a regulamentação promovida pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL (com sua atualização devido à Resolução Normativa nº 687/2015), que estabelece as condições gerais para a conexão da microgeração e da minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica.

Atrelado à necessidade de produzir ambientes mais eficientes nas mais diversas vertentes das engenharias, surge a metodologia BIM (*Building Information Model*, ou MIC, Modelagem da Informação da Construção), que representa um modelo que integra as informações de uma construção durante todo o seu ciclo de vida. Com isso, projetos ganham novos níveis de eficiência, visto que as vertentes de engenharia podem trabalhar simultaneamente no projeto e que os programas tem a capacidade de disponibilizar as ferramentas necessárias para cada tipo de projeto.

O presente trabalho tem como objetivo um estudo de viabilidade para a implantação de painéis FV nos blocos do Centro de Convivência, do Instituto de Cultura e Arte e no primeiro edifício do Restaurante Universitário, todos localizados no Campus Pici da UFC, vinculado a um projeto de eficiência energética, ambos utilizando metodologia BIM. Para isso, será feito um estudo sobre o potencial de geração de energia elétrica a partir dos painéis FV e o impacto na conta de energia da UFC. Com esses resultados, será possível demonstrar por meio da viabilidade financeira que a energia elétrica produzida ao longo de sua vida útil cobre o investimento feito na instalação do sistema.

### 1.1 Objetivos

Com o estudo proposto, o principal objetivo é mostrar a viabilidade técnica e financeira da implantação de plantas FV em universidades e em ambientes urbanos.

Como objetivos específicos, apresentar a metodologia BIM como uma nova ferramenta para esta aplicação no ICA, no RU e no Centro de Convivência da

Universidade Federal do Ceará. Ainda atrelado à metodologia, propor um estudo de valoração por meio dos créditos de carbono.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos visando orientar a compreensão de todo o estudo.

No capítulo 2 é caracterizado o panorama brasileiro sobre o tema.

No capítulo 3 é exposto o estado da arte no uso da geração FV na metodologia BIM.

No capítulo 4 é apresentada a modelagem BIM e o estudo de sombreamento usando o *software* Revit.

No capítulo 5 é realizado o dimensionamento de todo o sistema FV.

No capítulo 6 é apresentada a análise financeira usando o *software* RETScreen para analisar a viabilidade do projeto, assim como sua valoração em BIM.

No capítulo 7 constam as conclusões do estudo realizado.

## 2 CARACTERIZAÇÃO E PANORAMA BRASILEIRO

### 2.1 Geração Fotovoltaica

Caracterizada como a energia elétrica convertida a partir da luz, seus primeiros casos de uso registrados foram quando o físico francês Alexandre Edmond Becquerel observou pela primeira vez o efeito FV. Isso ocorreu enquanto Edmond realizava algumas experiências com eletrodos. Oficialmente, foi ele quem descobriu a energia solar como fonte para a geração de energia elétrica e os registros levam a crer que isso ocorreu em 1839.

De acordo com um estudo feito na Universidade de Lisboa (BRITTO, 2006), as primeiras células FV produzidas tinham alguns problemas técnicos, mas foram superados quando Calvin Fuller, um químico norte-americano, dopou silício com arsênio e depois com boro, obtendo células que exibiam eficiências recordes. A primeira célula solar foi formalmente apresentada em uma reunião anual da *National Academy of Sciences*, em Washington e anunciada em coletiva de imprensa no dia 25 de Abril de 1954.

Os primeiros casos de aplicação no Brasil são da década de 1980, em que foram implementados sistemas FV para bombeamento a fim de irrigar culturas como uva, banana, laranja e afins. Na Bahia, entre 2006 e 2008, o Projeto Adapta Sertão instalou sete sistemas de irrigação no município de Pintadas, em que um deles já era integrado a um sistema FV (BIONE, 2006).

O ingresso oficial dessa fonte de energia ao sistema de distribuição de energia elétrica brasileiro se deu a partir da Resolução Normativa Nº 482/2012 da ANEEL, em que foram estabelecidas as condições gerais para o acesso da microgeração e da minigeração distribuída ao mesmo, assim como para hidráulica, eólica, biomassa e cogeração qualificada.

Com a realidade energética que o país vivencia, cada vez mais essas fontes são vistas como uma alternativa para complementar a matriz de energia elétrica brasileira. De acordo com a Associação ECO, satélites da NASA indicam que a crise hídrica no Brasil iniciou no começo de 2012. O estudo mostra que a maioria dos meses entre os anos de 2012 e 2015 tiveram níveis de seca superiores à média histórica do leste do país.

O Operador Nacional do Sistema (ONS) indica, com dados de 13 de novembro de 2018, baixos níveis para a Energia Armazenada (EAR) dos reservatórios nas hidrelétricas e os apresenta divididos pelas regiões brasileiras, como na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis Médios dos Reservatórios por Subsistemas

Regiões	Armazenamento MWmês	EAR Atual (%)
Sudeste/Centro Oeste	203.285	20,53
Sul	20.100	79,90
Nordeste	51.831	26,06
Norte	15.046	23,04

Fonte: Dados dos Reservatórios – ONS, 2018

Em contrapartida a isso, a geração FV ganha destaque pelo seu crescimento, servindo como compensação para a falta das hidrelétricas. De acordo com o balanço energético nacional do ano de 2017, Tabela 2 apresenta os dados de geração de 2015 e 2016 da matriz energética.

Tabela 2 – Geração Elétrica Brasileira em GWh

Fonte	2015	2016	Variação (%)
Hidráulica	359.743	380.911	5,9
Gás Natural	79.490	56.485	-28,9
Biomassa <sup>1</sup>	47.394	49.236	3,9
Derivados do Petróleo <sup>2</sup>	25.657	12.103	-52,8
Eólica	21.626	33.489	54,9
Carvão Vapor	18.856	17.001	-9,8
Nuclear	14.734	15.864	7,7
Fotovoltaica	59	85	44,7
Outros <sup>3</sup>	13.669	13.723	0,4
<b>Geração Total</b>	<b>581.228</b>	<b>578.898</b>	<b>0,4</b>

Fonte: Balanço Energético Nacional de 2017 - EPE

<sup>1</sup>Estão inclusos bagaço de cana, lenha e lixívia

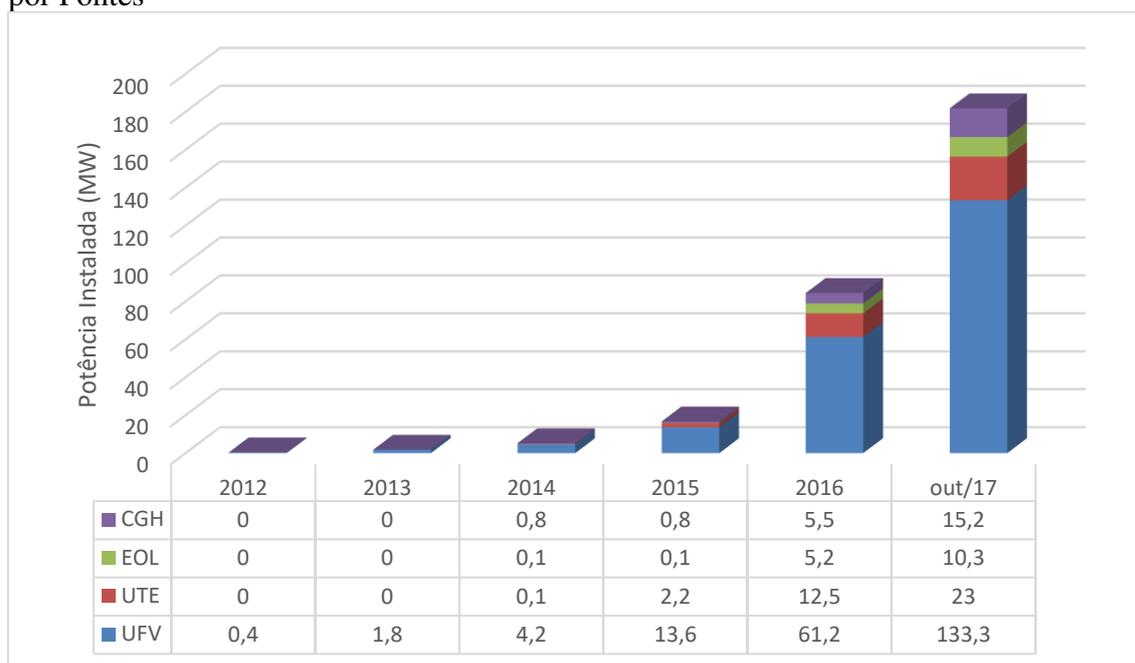
<sup>2</sup>Estão inclusos óleos combustível e diesel

<sup>3</sup>Estão inclusos outras fontes primárias, secundárias e gás de coqueira

Apesar de ainda não ser tão expressiva se comparada à geração total, a energia solar, como fonte de energia, apresenta um considerável crescimento nos últimos anos, assim como mostrado no Gráfico 1, em que UFV são as Usinas Fotovoltaicas.

De acordo com ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), o mercado de micro e minigeração FV tem tido forte crescimento de 2012 à 2017, em que a geração FV passou de 0,4 MW para 133,3 MW instalados.

Gráfico 1 – Evolução da Potência Instalada no Brasil em Micro e Minigeração Dividida por Fontes



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2017

Em que as siglas são:

- a) CGH – Centrais Geradoras Hidrelétricas
- b) EOL – Usinas Eólicoelétricas
- c) UTE – Usinas Termelétricas
- d) UFV – Usinas Fotovoltaicas

Como molde para o atual modelo de micro e minigeração, a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL passou a oferecer as condições gerais para acesso aos sistemas de distribuição de energia, além de criar o sistema de compensação de energia elétrica.

Atreladas à essa resolução, como modernização, surgiram a Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL (2015), que define:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

E a mais recente, a Resolução Normativa nº 786/2017 da ANEEL (2017), que define:

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

## 2.2 Metodologia BIM

De acordo com a National BIM Standart (NBIMS, 2008),

BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma construção. BIM é um conjunto de informações do empreendimento desde a concepção inicial até a demolição, com colaboração integrada das diversas partes do projeto (construtor, arquitetos, engenheiros, proprietário, etc.).

Segundo SAEPRO (2013), em 1974, Charles M. Eastman, professor na *Georgia Institute of Technology* lançou o conceito *Building Description System* (BDS) por meio de uma publicação relativa a uma pesquisa desenvolvida pela Universidade Carnegie-Mellon em Pittsburgh, intitulada “Um esboço do sistema de descrição do edifício”, este que foi o predecessor da metodologia atual.

A primeira utilização oficial do termo BIM foi em 1992, em que G.A. van Nederveen e F.P. Tolman publicaram um artigo tratando as múltiplas visões de modelagem da construção e a ideia de que a modelagem das informações da construção é essencial para fundamentar a estrutura de um modelo de construção, baseado nos diferentes pontos de vista dos participantes do projeto.

A metodologia BIM possibilita a criação de uma representação virtual do que será construído. Esse modelo representa precisamente a geometria da edificação, além de possuir informações relevantes que poderão ser utilizadas no auxílio à documentação, projeto, pré-fabricação e execução do empreendimento.

Como estrutura base da metodologia, na Figura 1 é apresentado o ciclo do BIM 7D, que engloba as análises, a partir dos 3D seguindo até o 7D:

- a) 3D – construtiva tridimensional;
- b) 4D – ciclo de vida da construção;
- c) 5D – andamento das atividades e custo da obra;
- d) 6D – análise de consumo energético;
- e) 7D – manutenção.

Figura 1 – Ciclo de atividades do BIM 7D



Fonte: Congresso BIM Online

De acordo com Wilton Silva Catelan, coordenador da ABNT/CEE-134 e Eduardo Toledo Santos, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por meio de uma iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) em 2009, foi criada a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção, ABNT/CEE-134, que foi incumbida de desenvolver normas técnicas sobre BIM no Brasil e, para isso, três atividades foram definidas como os temas iniciais de trabalho da comissão:

- a) tradução da norma ISO 12006-2;
- b) desenvolvimento de um sistema de classificação para a Construção e;
- c) desenvolvimento de diretrizes para criação de componentes BIM.

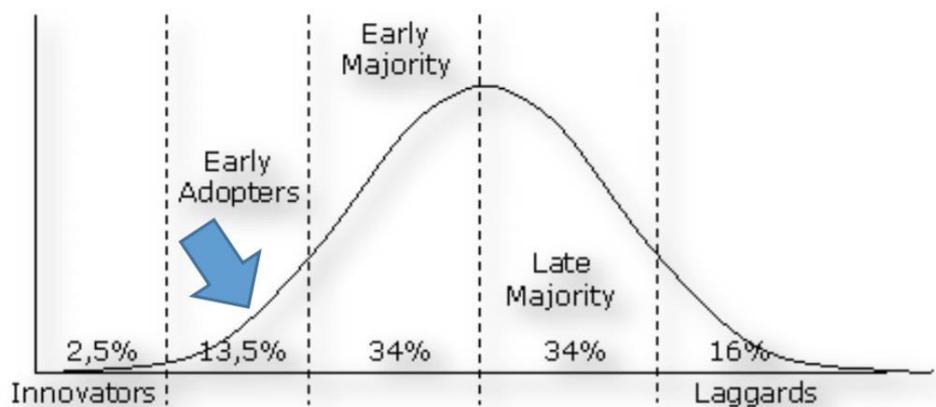
Já no ano seguinte foi publicada a ABNT NBR ISO 12006-2:2010 Construção de edificação — Organização de informação da construção - Parte 2: Estrutura para classificação de informação, que define diretrizes e uma estruturação para a concepção de sistemas de classificação das informações da construção, permitindo o desenvolvimento de sistemas de classificação compatíveis internacionalmente.

De acordo com o site da Câmara Brasileira de BIM (CBIM, 2017), em agosto de 2017, a CBIM foi criada com o intuito de discutir políticas públicas de implantação e disseminação do BIM no Brasil, com comitês falando sobre softwares, contratos, licitações, formação acadêmica, processos, etc.

Ainda em concordância com o professor Eduardo Toledo Santos da Escola Politécnica, o Brasil ainda demonstra estar nos estágios iniciais da absorção da metodologia pelo mercado.

Na Figura 2 é apresentada a caracterização da curva de inovação de projetos, o qual representa parte do “*World BIM Initiative*”, uma iniciativa para difundir mundialmente o BIM, que os locais podem ser classificados para indicar o nível de aplicação e difusão do BIM no país e indica com uma seta o atual estágio do Brasil.

Figura 2 – Curva de Aplicação e Difusão do BIM com Indicativo do Brasil



Fonte: Portal BIM Paraná, 2016.

Pode-se perceber que, apesar dos crescentes estudos e incentivos ao uso dessa metodologia, a mesma ainda se encontra em estágios iniciais no Brasil.

### 3 ESTADO DA ARTE

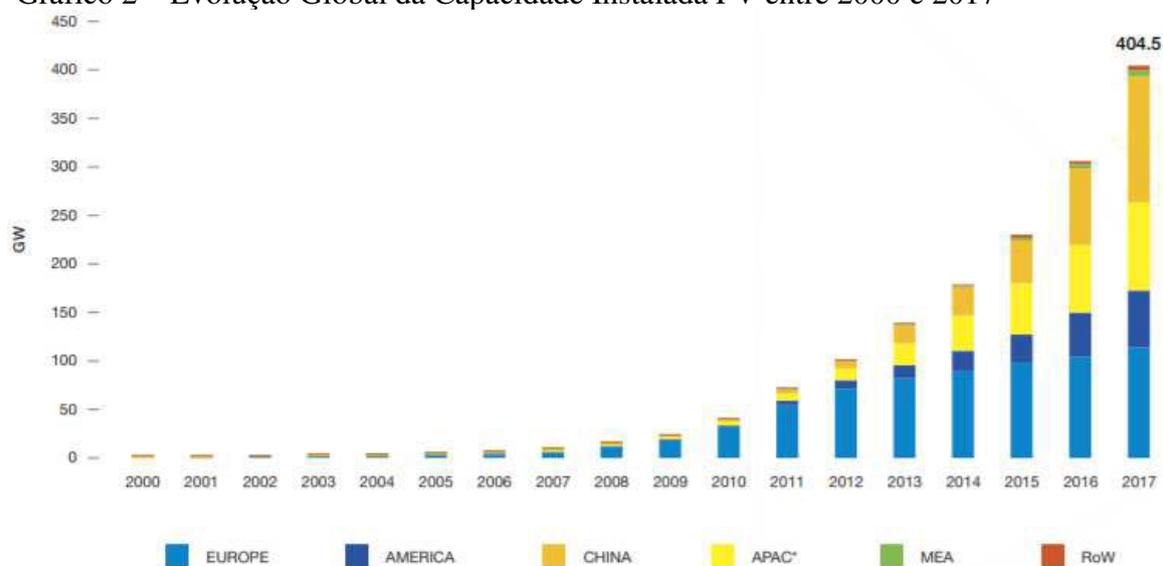
#### 3.1 Fotovoltaica Aplicada à Geração Distribuída

A Geração Distribuída (GD) fotovoltaica apresenta-se como uma alternativa no auxílio da diminuição de gastos com energia elétrica para os clientes residenciais e comerciais de pequeno e médio porte das distribuidoras de energia elétrica. Outro fator importante é que trazer a geração de energia elétrica para próximo do consumidor diminui as perdas na rede elétrica, além de ajudar a descentralizar e diversificar a matriz energia elétrica.

##### 3.1.1 No Mundo

Visando os fatores citados, o Gráfico 2 mostra a evolução global da capacidade instalada entre os períodos de 2000 à 2017, de acordo com o relatório *Global Market Outlook 2017* da *Solar Power Europe*, uma das organizações internacionais mais respeitadas do setor, que reúne dados da Europa, América, China, *Asia Pacific Countries* (APAC), *Middle East and Africa* (MEA) e *Rest of the World* (ROW).

Gráfico 2 – Evolução Global da Capacidade Instalada FV entre 2000 e 2017



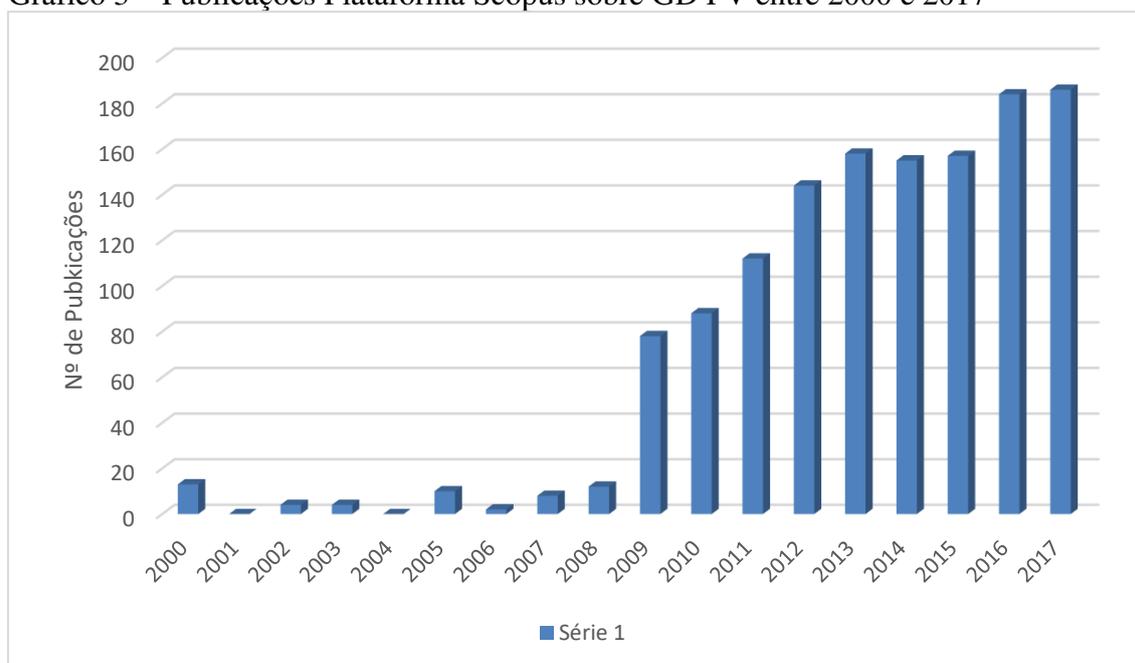
Fonte: Global Market Outlook, 2017

Ainda de acordo com relatório *Global Market Outlook 2017*, 2016 foi o ano em que a energia elétrica produzida pela fonte solar ficou mais barata que a energia produzida

pela fonte eólica e que no mesmo ano foi assinado o mais barato contrato de suprimento de energia solar do mundo, com U\$ 2,44 cents/kWh.

Como característica ao crescimento da GD FV, o Gráfico 3 apresenta o número de publicações anuais registrada na base Scopus, maior banco de dados de resumos e citações literárias a nível internacional, sobre o tema de GD FV no mundo.

Gráfico 3 – Publicações Plataforma Scopus sobre GD FV entre 2000 e 2017



Fonte: Adaptação base Scopus.

Em 18 anos de registros, teve-se um total de 1312 publicações e pode-se perceber um aumento expressivo a partir de 2009.

### 3.1.2 Na UFC

Situada em um dos locais com maior capacidade para geração FV do planeta, de acordo com os dados da SOLARGIS<sup>1</sup>, empresa multinacional no setor de aquisição e disponibilização de dados climáticos, a UFC é berço de pesquisas atuais sobre eficiência na geração com tecnologia FV e na aplicação dessa tecnologia em diversos setores. Estudos visando eficiência na geração por meio de limpeza e angulação dos painéis e aplicações no setor público e no privado fazem parte da lista de trabalho desenvolvidos.

<sup>1</sup> Link: <<https://solargis.com/>>

Rocha Filho (2016) analisou três diferentes tipos de lógicas para um sistema de seguimento solar com eixo único. A primeira envolvia a movimentação do módulo para posições pré definidas. A segunda tratava de um algoritmo matemático que usava a posição do Sol para calcular o ajuste angular no módulo FV. Por fim, a terceira usava sensores de luminosidade para detectar a posição do Sol e, assim, fazer o ajuste.

Rabelo (2017) constatou que a sujeira acumulada em módulos FV influencia na eficiência dos mesmos. Ao fazer duas limpezas, uma em período chuvoso e outra em período sem chuva, percebeu-se um acréscimo de 4,2% na geração no primeiro caso, em que a própria chuva já faria deveria fazer a limpeza dos painéis, e 9,1% para o segundo caso, em que foi realizada apenas a limpeza manual.

Costa (2017) apresentou um estudo de viabilidade para a instalação de um sistema FV no Instituto de Primeira Infância (IPREDE). O trabalho foi desenvolvido analisando três casos hipotéticos, em que seria compensada 75%, 50% e 25%. Por meio dos programas SketchUp<sup>2</sup> e RETscreen<sup>3</sup>, fez-se a análise de sombreamento e financeira. Respectivamente aos casos citados, obteve-se uma geração de 122,713 MWh e 8,9 anos de *payback*, 81,809 MWh e 8,9 anos de *payback* e 40,904 MWh e 9,8 anos de *payback*.

Barreto (2017) apresentou um estudo de viabilidade para a instalação de um sistema FV em um *shopping* em Fortaleza. Após definir a área disponível, utilizou-se do programa SketchUp para fazer o estudo de sombreamento e apresentar uma simulação do posicionamento dos painéis. Dessa forma, com uma área disponível de 3.188,11 m<sup>2</sup> e com uma demanda local de 5500 kW, encontrou um *payback* de 7 anos e 7 meses.

Costa (2018) estimou o potencial de geração FV que o Campus do Pici da UFC tem a oferecer para a compensação de energia. Por meio do programa Google Earth, ponderou a área disponível para instalação dos módulos e, com isso, calculou quanto de eletricidade o Centro de Tecnologia, o Centro de Ciências, o Centro de Ciências Agrárias, o Instituto de Cultura e Arte, o Restaurante Universitário e a Biblioteca Universitária poderiam gerar ao ano. Além de fazer a análise financeira do caso.

---

<sup>2</sup> SketchUp é um software de modelagem esquemática de projetos, distribuído pela empresa Trimble. Link: <<https://www.sketchup.com/pt-BR>>

<sup>3</sup> RETscreen é um software de análise financeira, distribuído pelo governo do Canadá. Link: <<https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>>

### 3.2 Metodologia BIM

A metodologia BIM tem se firmado tanto no mercado como no setor acadêmico devido à evolução que representa em todas as fases de um projeto. À nível mundial, uma das maiores referências são os trabalhos desenvolvidos pelo professor Dr. Mohamad Kassem da *Northumbria University*, e consultor BIM da União Europeia.

Kassem (2016) propõe de 2016 à 2019 o desenvolvimento, dentro da metodologia BIM, e a aplicação de uma abordagem inovadora e integrada de desempenho para avaliar, comparar e melhorar a competência BIM dos profissionais do setor de construção do Catar.

Em âmbito nacional, desde 2016 o exército brasileiro aplica a metodologia por meio do Manual de Obras Públicas, em que incorpora práticas ligadas à sustentabilidade, eficiência energética, acessibilidade e afins. A iniciativa visa o uso da metodologia para integrar as inovações tecnológicas ao processo de diagnóstico das construções.

Visando expandir o conceito de BIM, estudos sobre a aplicabilidade direta e indireta do mesmo são desenvolvidos na UFC por meio, tanto de projetos de pesquisa como de disciplinas. Modelagem da Informação da Construção (MIC), ofertada pelo Departamento de Integração Acadêmica e Tecnológica (DIATEC), é uma disciplina focada nos estudos integrados entre as engenharias e tem como base projetos que não sejam apenas da construção civil.

Freitas *et. al.* (2017) propuseram o desenvolvimento de um laboratório modelado para suprir todas as necessidades de trabalhos com a metodologia, considerando desde a disposição física dos equipamentos, visando a integração das diferentes engenharias, até a forma de exposição dos trabalhos desenvolvidos, em que todo o laboratório estaria conectado e adaptados aos requerimentos de cada etapa do projeto.

Sousa (2017) propôs a modelagem espacial da informação como forma de auxiliar a gestão de patrimônios dos blocos da UFC. O caso selecionado foi o bloco 717 do Centro de Tecnologia, projetado em 1980, e demonstrou que muitas informações estavam sendo perdidas pela falta de uma gestão integrada.

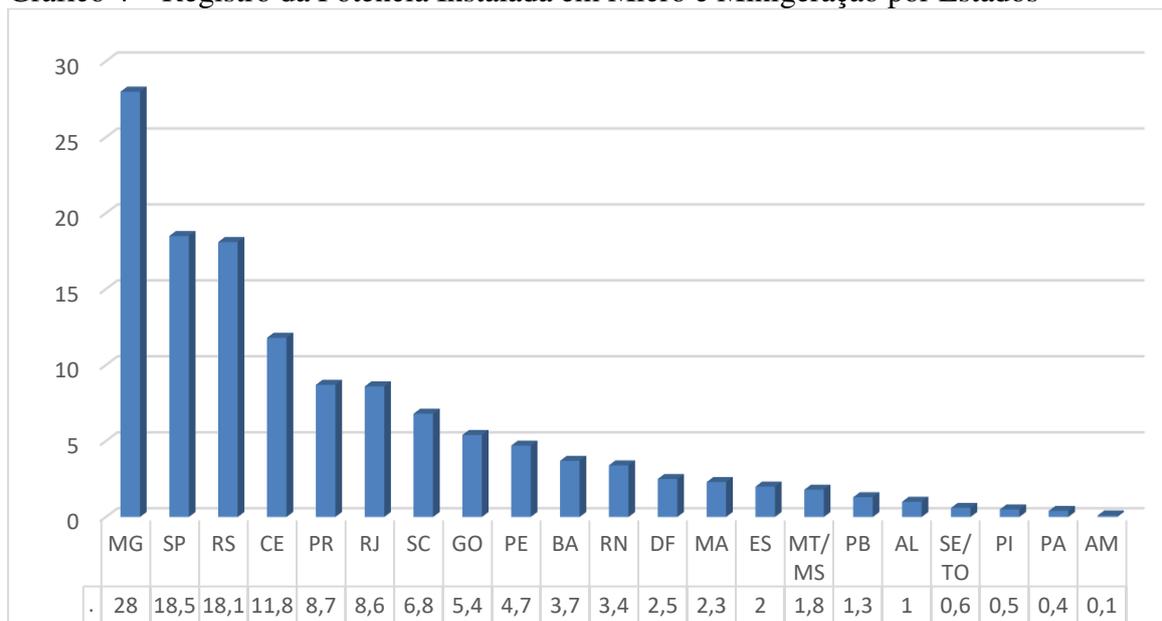
### 3.3 Fotovoltaica Aplicada à Metodologia BIM

Devido a fatores como desenvolvimento tecnológico, queda nos preços de aquisição, baixa necessidade de manutenção, fácil instalação e afins, os sistemas FV

ganham destaque no cenário nacional. De acordo com o presidente executivo da ABSOLAR, Rodrigo Lopes Sauaia, o Brasil tem potencial técnico para 164,1 GW em GD e 28.519,0 GW em geração centralizada, enquanto que a fonte hídrica tem 172 GW.

Como apresentado no Gráfico 4, dentre os totais 133,3 MW já instalados até o final de 2017, apenas em Roraima não há registros de sistemas de micro e minigeração FV distribuída.

Gráfico 4 – Registro da Potência Instalada em Micro e Minigeração por Estados



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, nov/2017.

Boa parte do crescimento se deve à vontade e à necessidade de que os estabelecimentos que farão uso desse sistema possam suprir as demandas energéticas ou mesmo compensar parte delas.

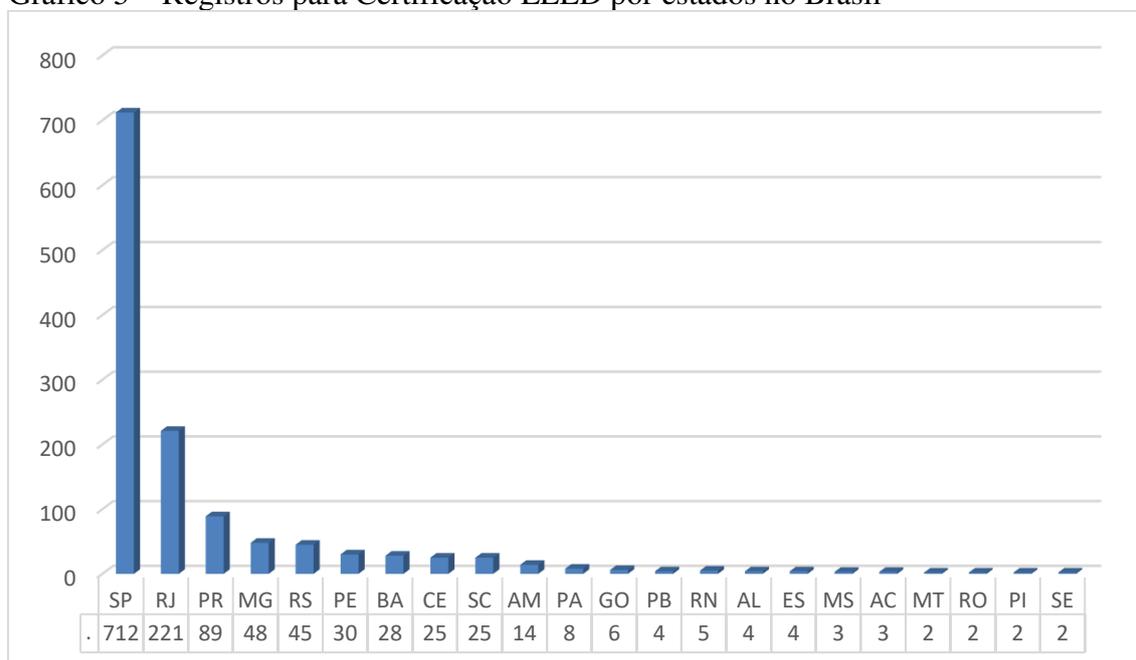
Aplicado à metodologia BIM, tem-se o estabelecimento do termo *green buildings*, que são ambientes construídos pensando na sustentabilidade social, ambiental e econômica, englobando a elaboração do projeto, a construção propriamente e a vida útil do local, garantindo, dessa forma, a maximização do conceito de eficiência. Essas construções entram na categoria “6D” do BIM, em que trata de eficiência energética e sustentabilidade.

No Brasil, a responsável pela certificação dessas construções é a *Green Building Council* (GBC), uma ONG (Organização Não Governamental) com atuação internacional e que possui filial no Brasil, e disponibiliza a certificação LEED (*Leadership in Energy*

*and Environmental Design*), que avalia os investimentos e esforços sustentáveis que estão atrelados às obras de eficiência energética e hídrica, gestão de resíduos, qualidade ambiental de interiores e inovação de processos.

Atualmente, ainda de acordo com a GBC (2018), o Brasil ocupa a 4ª posição no ranking internacional de construções sustentáveis, estando atrás apenas dos Estados Unidos da América, da China e dos Emirados Árabes Unidos, chegando a 1.324 construções, sendo 404 já certificadas com LEED. É apresentado no Gráfico 5 a quantidade de registro para a certificação LEED dividida dentre os Estados.

Gráfico 5 – Registros para Certificação LEED por estados no Brasil



Fonte: GBC Brasil, 2018

Devido ao forte crescimento e a ser a fonte alternativa com maior facilidade de instalação em ambientes urbanos, a geração FV ganha grande destaque no setor de sustentabilidade para modelagem BIM.

#### 4 MODELAGEM 3D

Visando uma modelagem consistente, o trabalho segue os passos apresentados no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma da Metodologia



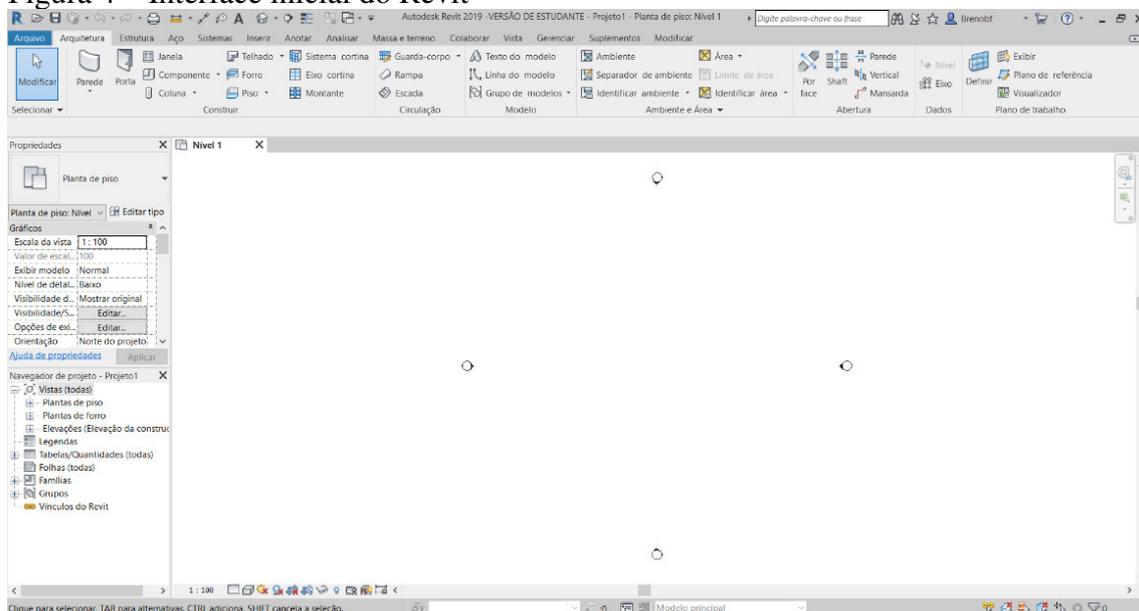
Fonte: o próprio autor

## 4.1 Revit

Dentre os diversos *softwares* com recursos BIM, o Revit, como apresentado na Figura 4, comercializado pela Autodesk, ganha destaque como um dos mais tradicionais e mais utilizados no mercado. O programa inclui recursos para projetos arquitetônicos e de engenharias como elétrica, hidráulica, estrutural, sistemas mecânicos e de sistemas.

Devido à precisão e, principalmente, pela integração da metodologia comportada pelo programa, optou-se pelo mesmo visando uma modelagem mais moderna e com a possibilidade de uma análise sustentável do ponto de vista energético.

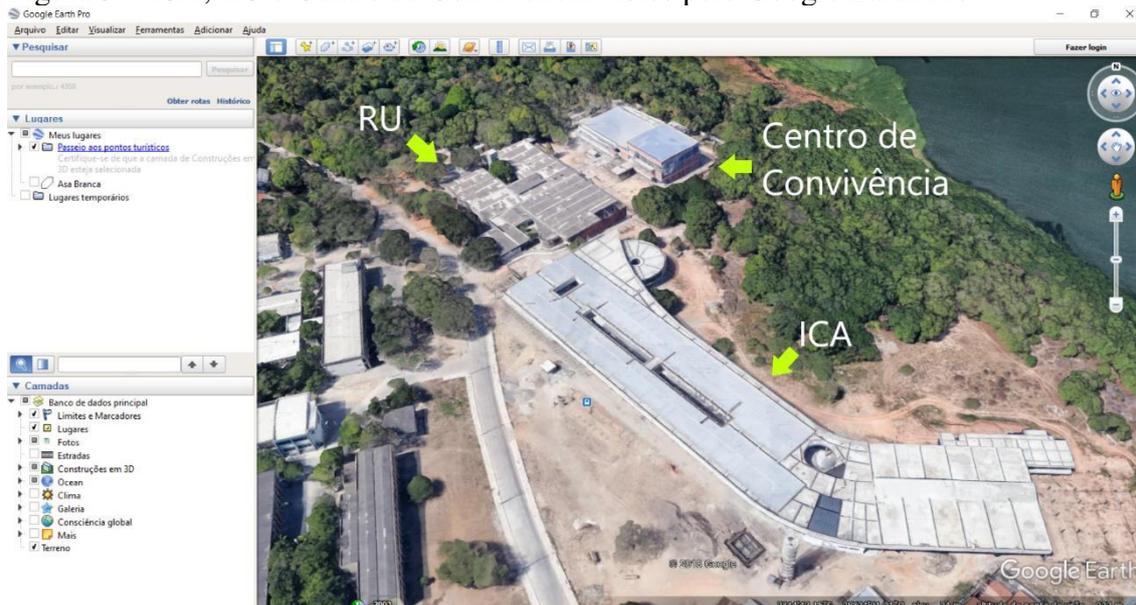
Figura 4 – Interface inicial do Revit



Fonte: o próprio autor

Como auxílio para a modelagem no presente estudo, utilizou-se os arquivos das plantas baixas em 2D disponibilizadas pela UFC INFRA em AutoCAD e o programa *Google Earth Pro*. É apresentado na Figura 5 as imagens de satélite de 2009.

Figura 5 – ICA, RU e Centro de Convivência vistos pelo Google Earth Pro



Fonte: Google Earth Pro (adaptado)

Como o foco deste trabalho é uma análise energética, não foi feito um detalhamento acerca da composição da estrutura dos ambientes. Dessa forma, a modelagem dos blocos foi focada no espaço disponível para a inserção dos painéis FV.

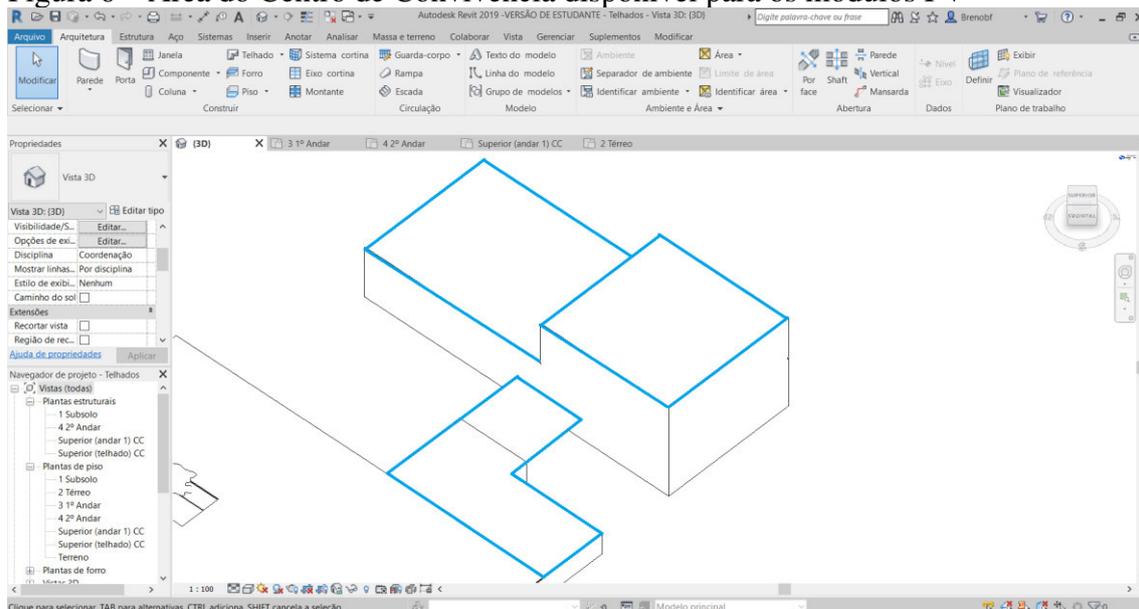
## 4.2 Centro de Convivência da UFC

Com a modelagem realizada, confirmou-se uma área útil de, aproximadamente, 1.954 m<sup>2</sup> para o Centro de Convivência. O espaço destacado foi definido para o dimensionamento FV, assim como apresentado na Figura 6.

Devido à uniformidade do seu espaço superior, o Centro de Convivência aproveita praticamente toda a extensão da sua cobertura para o trabalho proposto.

Com o auxílio de um programa de edição de imagens, fez-se o contorno em azul da área disponível para o estudo de sombreamento e, conseqüentemente, para a inserção dos painéis FV.

Figura 6 – Área do Centro de Convivência disponível para os módulos FV

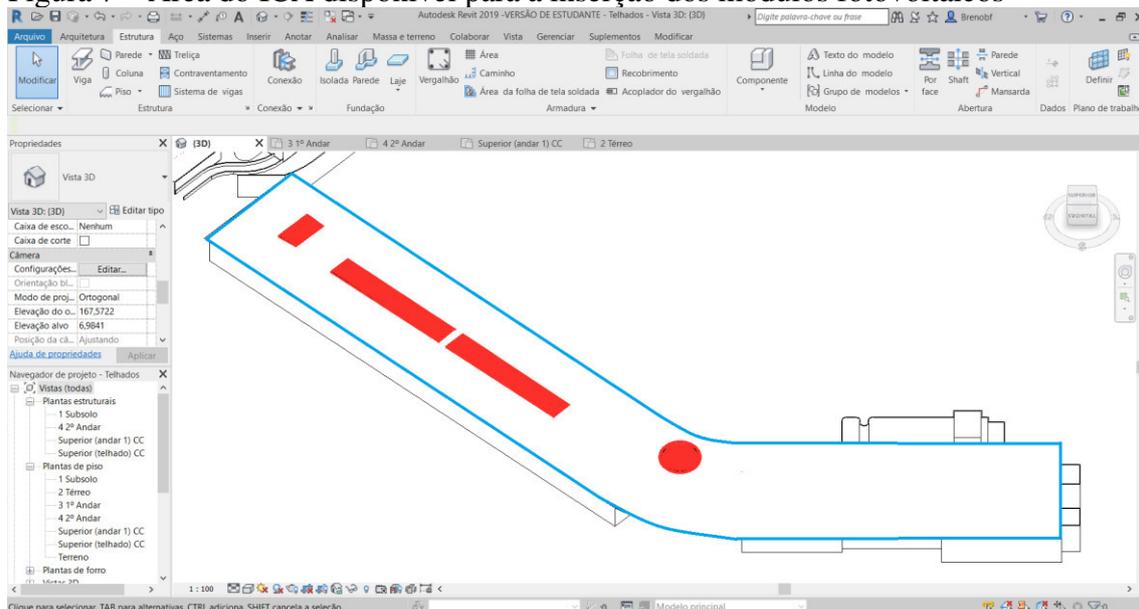


Fonte: o próprio autor

### 4.3 Instituto de Cultura e Arte da UFC

Confirmou-se uma área útil de, aproximadamente, 6.683 m<sup>2</sup> para o aproveitamento FV do ICA. O espaço destacado foi definido, assim como mostrado na Figura 7. Semelhante ao caso do Centro de Convivência, devido à uniformidade do seu espaço superior, o ICA aproveita praticamente toda a extensão da sua cobertura para o trabalho proposto.

Figura 7 – Área do ICA disponível para a inserção dos módulos fotovoltaicos



Fonte: o próprio autor

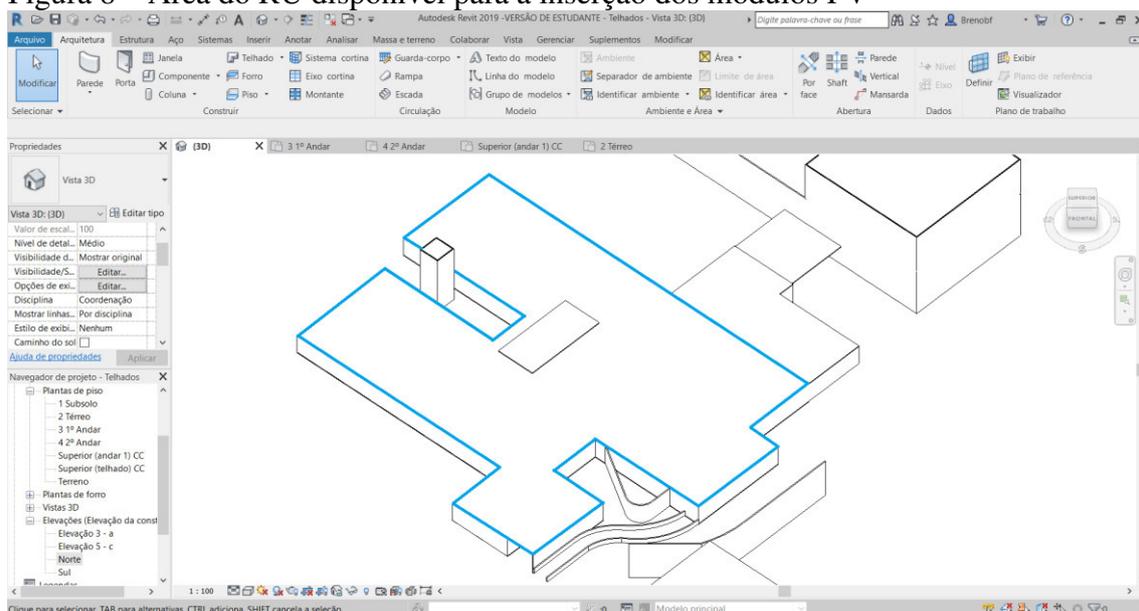
Usando o mesmo programa de edição de imagens, fez-se o contorno em azul da área disponível e preencheu-se em vermelho os espaços que não podem ser utilizados e que, nesse caso, representam os vãos na estrutura.

#### 4.4 Restaurante Universitário da UFC

Com a modelagem feita, obteve-se uma área útil de, aproximadamente, 3.328 m<sup>2</sup> para o ICA. O espaço destacado foi definido para o dimensionamento FV, assim como apresentado na Figura 8.

Assim como para os casos do Centro de Convivência e do ICA, devido à uniformidade do seu espaço superior, o RU aproveita praticamente toda a extensão da sua cobertura para o trabalho proposto.

Figura 8 – Área do RU disponível para a inserção dos módulos FV



Fonte: o próprio autor

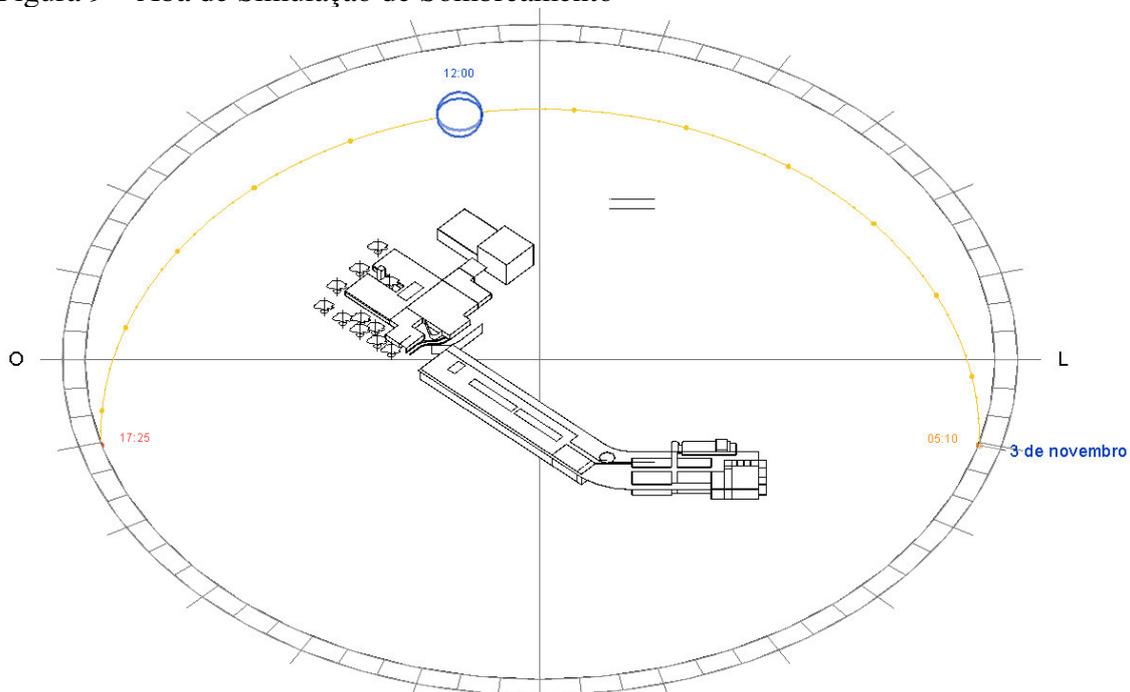
Mais uma vez, fez-se o contorno em azul da área disponível.

#### 4.5 Estudo de Sombreamento

Visando uma análise de geração FV eficiente, o estudo de sombreamento torna-se indispensável. O Revit tem a capacidade de viabilizar esse estudo, pois possui a

funcionalidade de simular o posicionamento solar de acordo com dados inseridos previamente, assim como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Aba de Simulação de Sombreamento



Fonte: O próprio autor

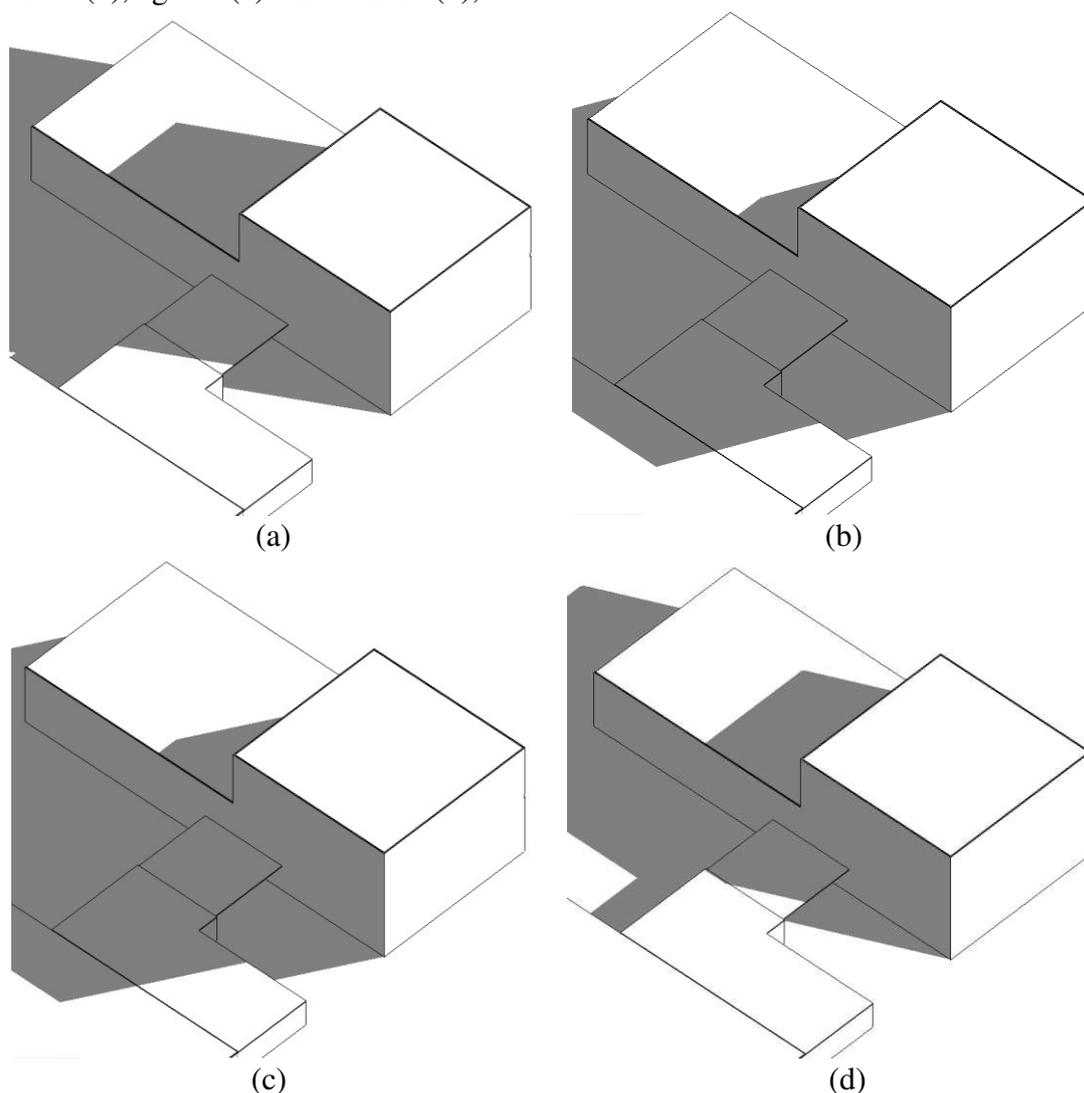
De acordo com (Rocha Filho, 2016), ao analisar a estrutura FV no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da UFC para horários anteriores a seis horas e posteriores a dezessete horas, os níveis de irradiância incidentes nos painéis FV apresentam valores inferiores a  $100 \text{ W/m}^2$ , o que representa uma potência de saída quase nula, então o mesmo sugere os intervalos de estudo entre seis e dezessete horas.

Com isso, as Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18 apresentam a influência do sol nas construções para os horários:

- a) Em que efetivamente os painéis começam a produzir energia elétrica (seis horas);
- b) Com o sol em zênite (doze horas);
- c) No momento em que os níveis de produção caem demasiadamente (dezessete horas).

Para analisar os efeitos do posicionamento do Sol à medida que o tempo passa, escolheu-se os meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2018 para a representação.

Figura 10 – Sombreamento sobre o Centro de Convivência nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 06h

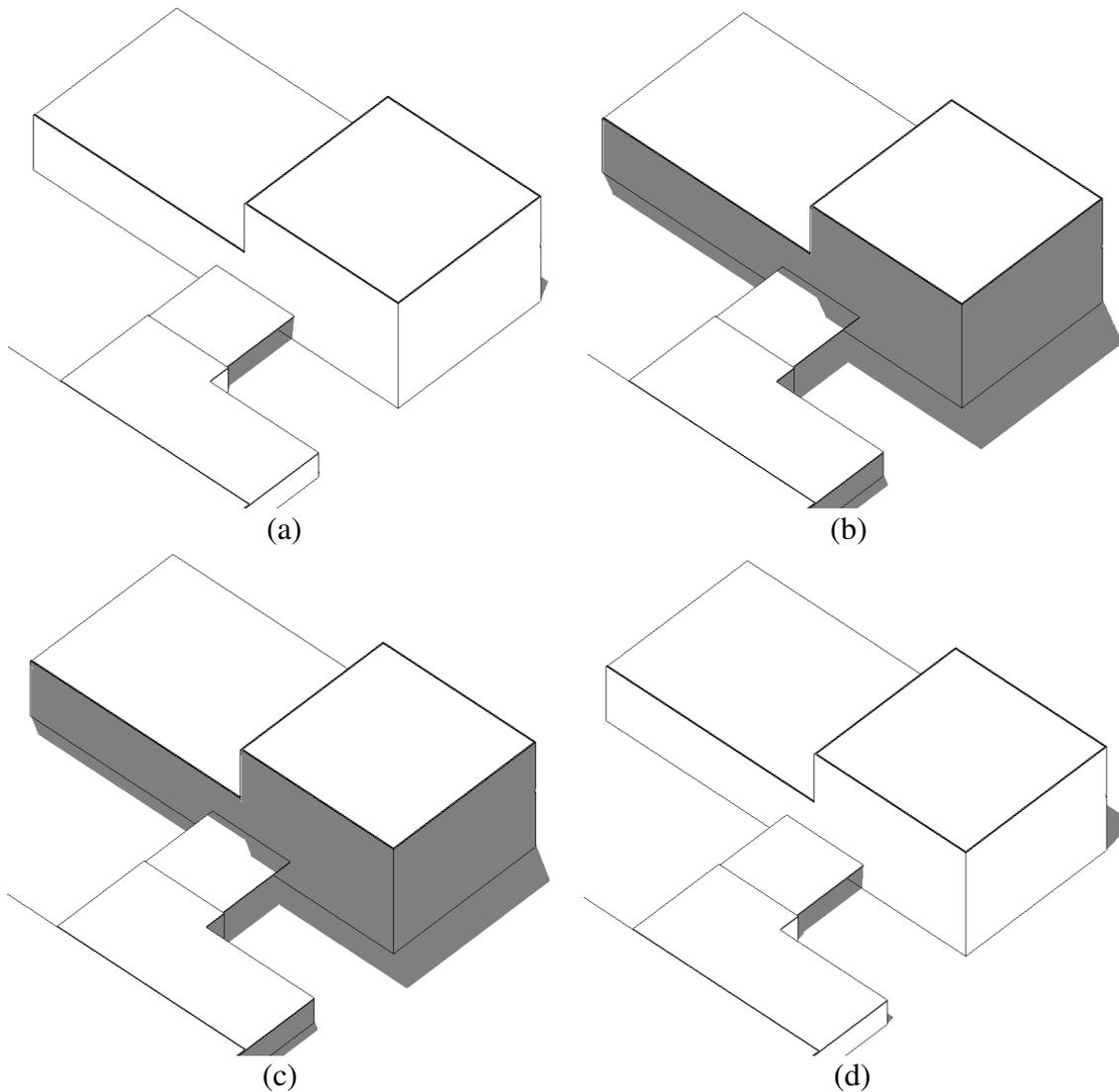


Fonte: o próprio autor

Pode-se perceber que, durante todo o ano, para o momento em que os painéis FV vão efetivamente produzir energia elétrica, uma parte do telhado que fica em um nível abaixo fica sob efeito do sombreamento das construções mais elevadas.

De novembro à fevereiro, tem-se um sombreamento maior na construção de nível intermediário e durante maio à agosto, o sombreamento afeta fortemente a construção mais baixa.

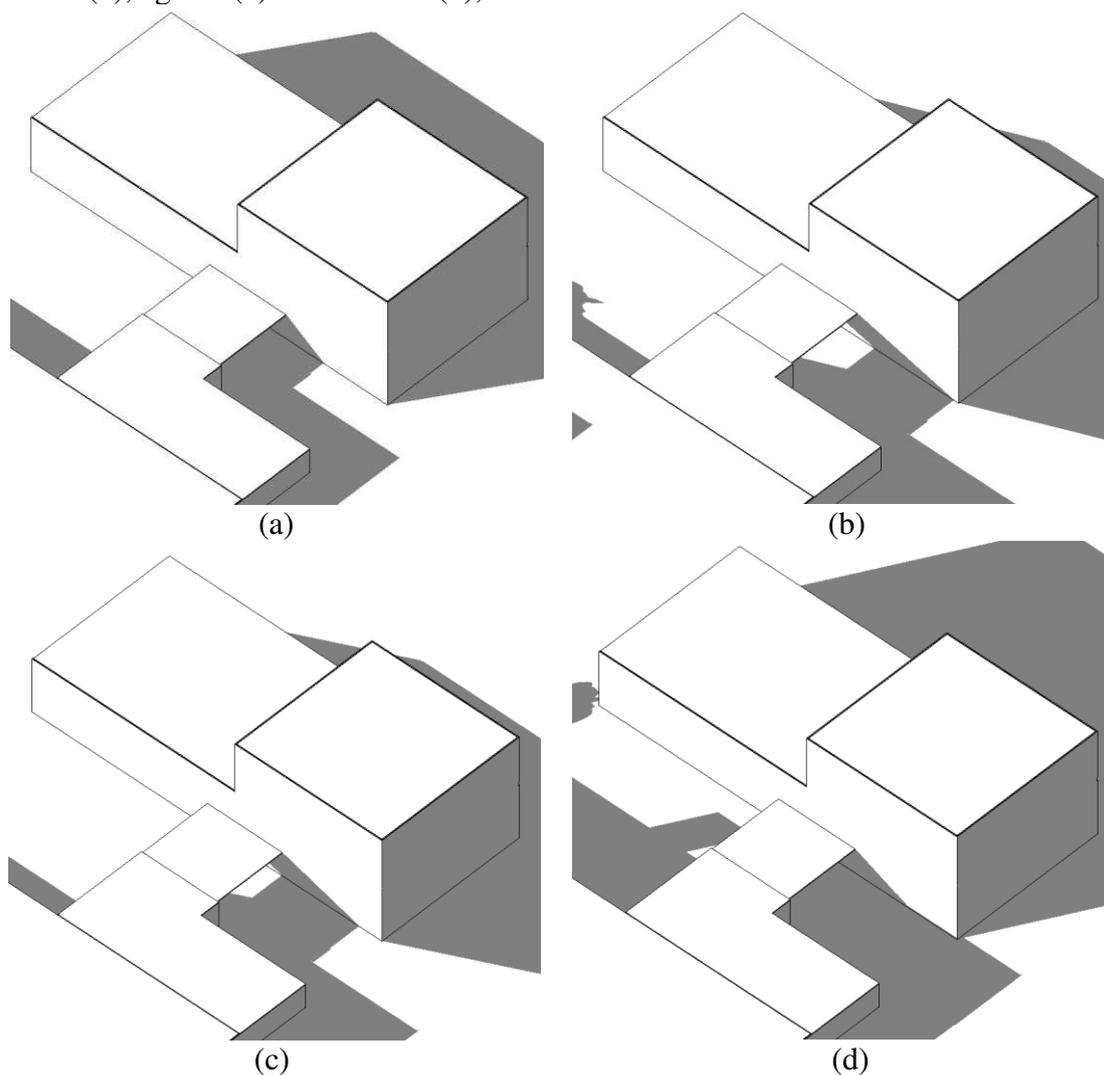
Figura 11 – Sombreamento sobre o Centro de Convivência nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), em zênite



Fonte: o próprio autor

Por estar muito próximo à linha do equador, o sombreamento quando o Sol está em zênite é praticamente nulo.

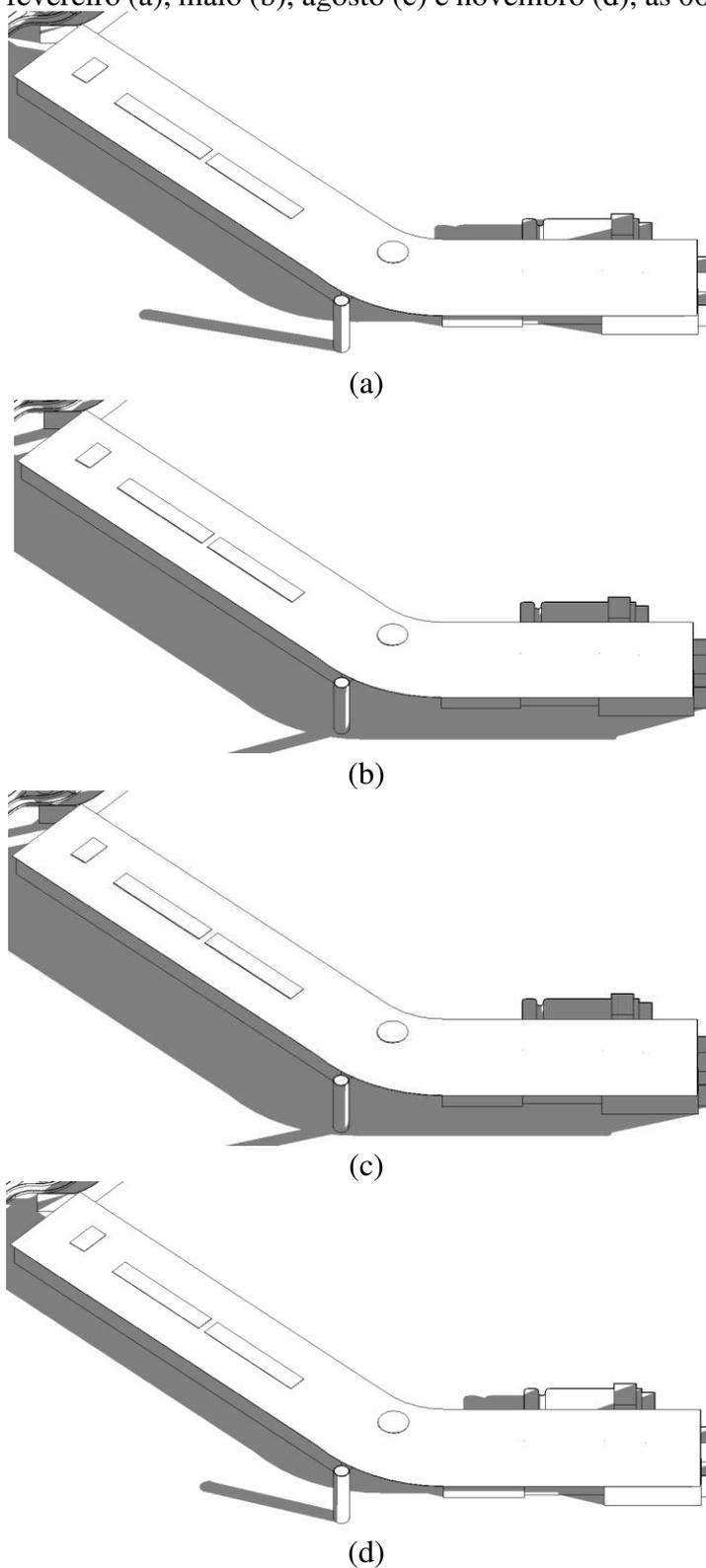
Figura 12 – Sombreamento sobre o Centro de Convivência nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 17h



Fonte: o próprio autor

Percebe-se que, durante todo o ano, para o momento em que os painéis FV tem sua produção de energia elétrica consideravelmente reduzida, toda a área de telhado ainda não fica sob efeito do sombreamento.

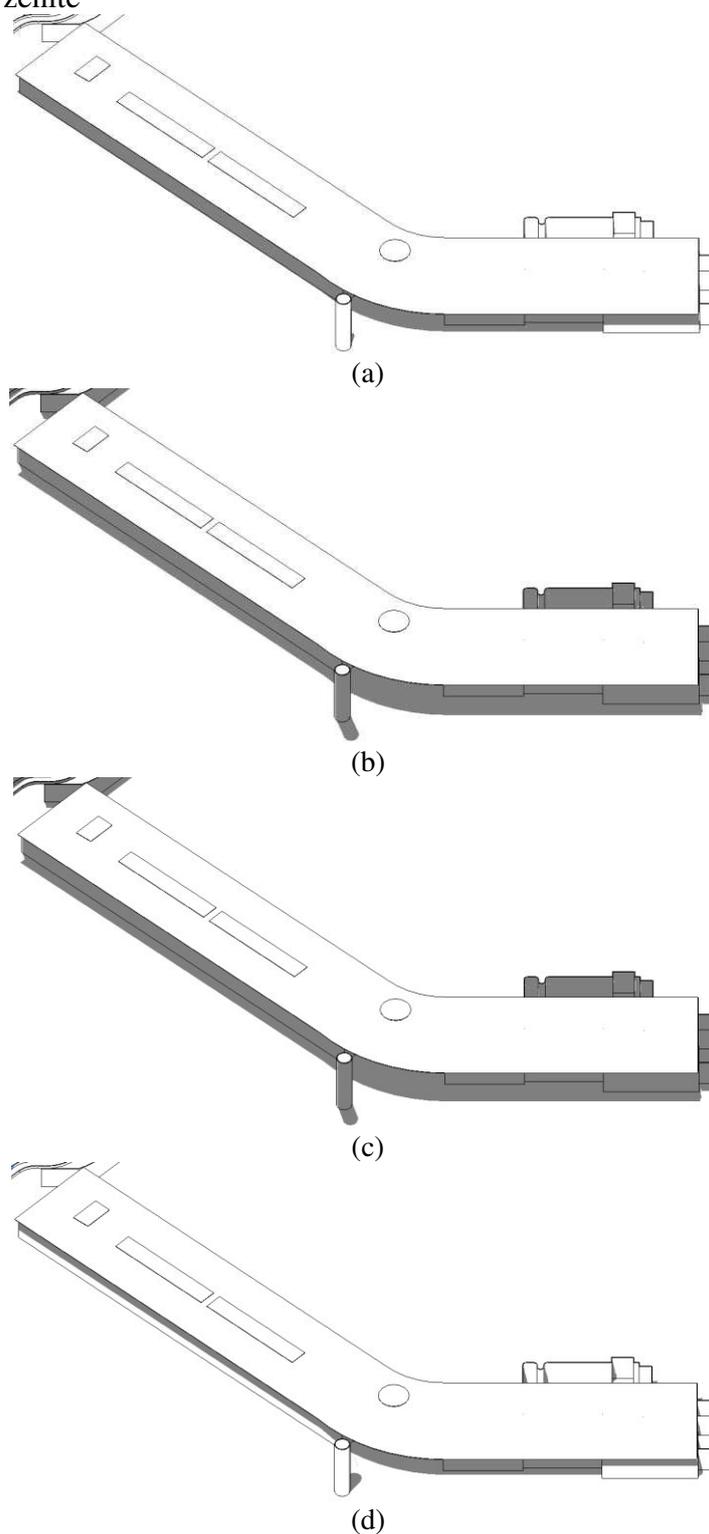
Figura 13 – Sombreamento sobre o ICA nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 06h



Fonte: o próprio autor

Durante todo o ano, para o momento em que os painéis FV vão efetivamente produzir energia elétrica, toda a área de telhado fica livre de efeito do sombreamento.

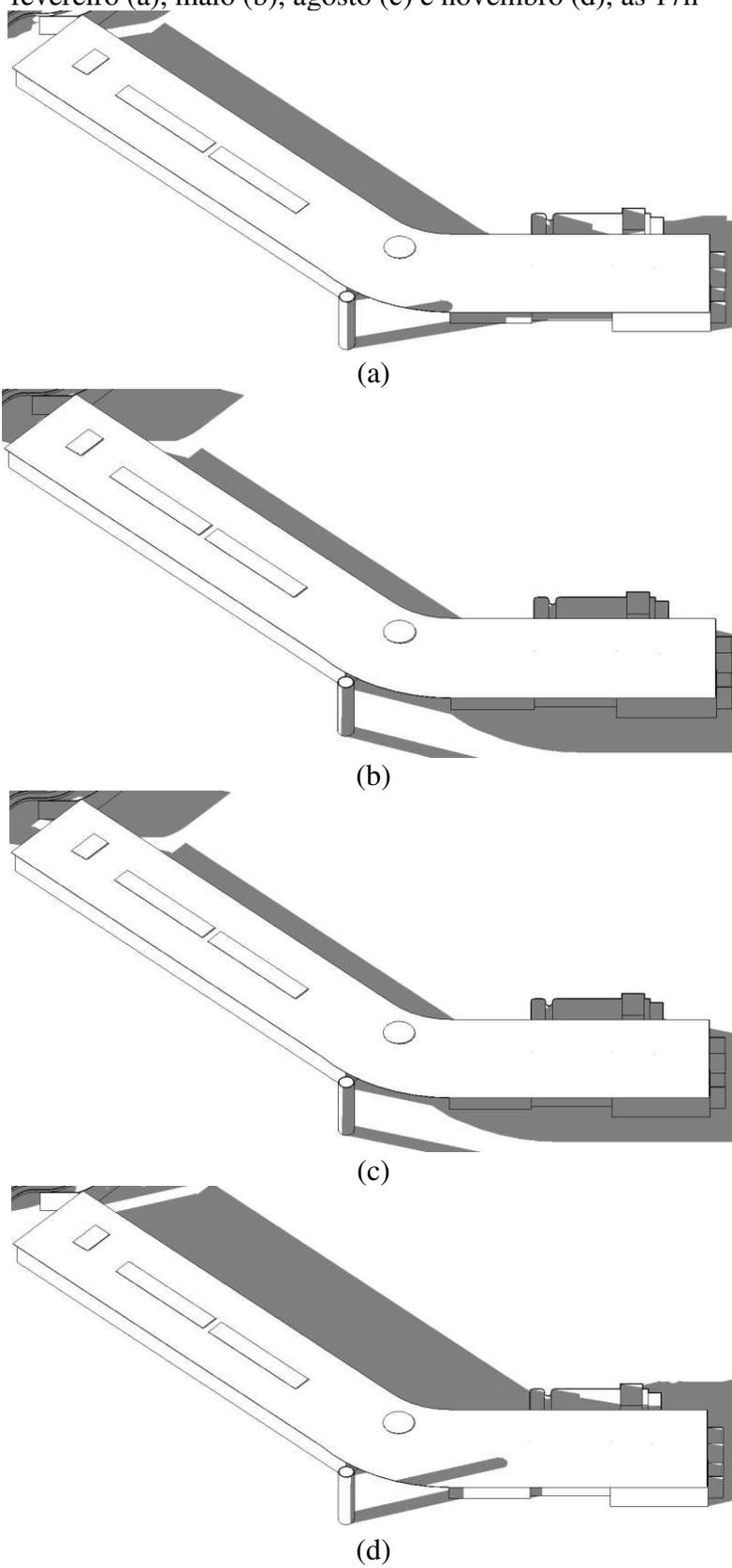
Figura 14 – Sombreamento sobre o ICA nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), em zênite



Fonte: o próprio autor

Semelhante ao caso do Centro de Convivência, por estar muito próximo à linha do equador, o sombreamento quando o Sol está em zênite é praticamente nulo.

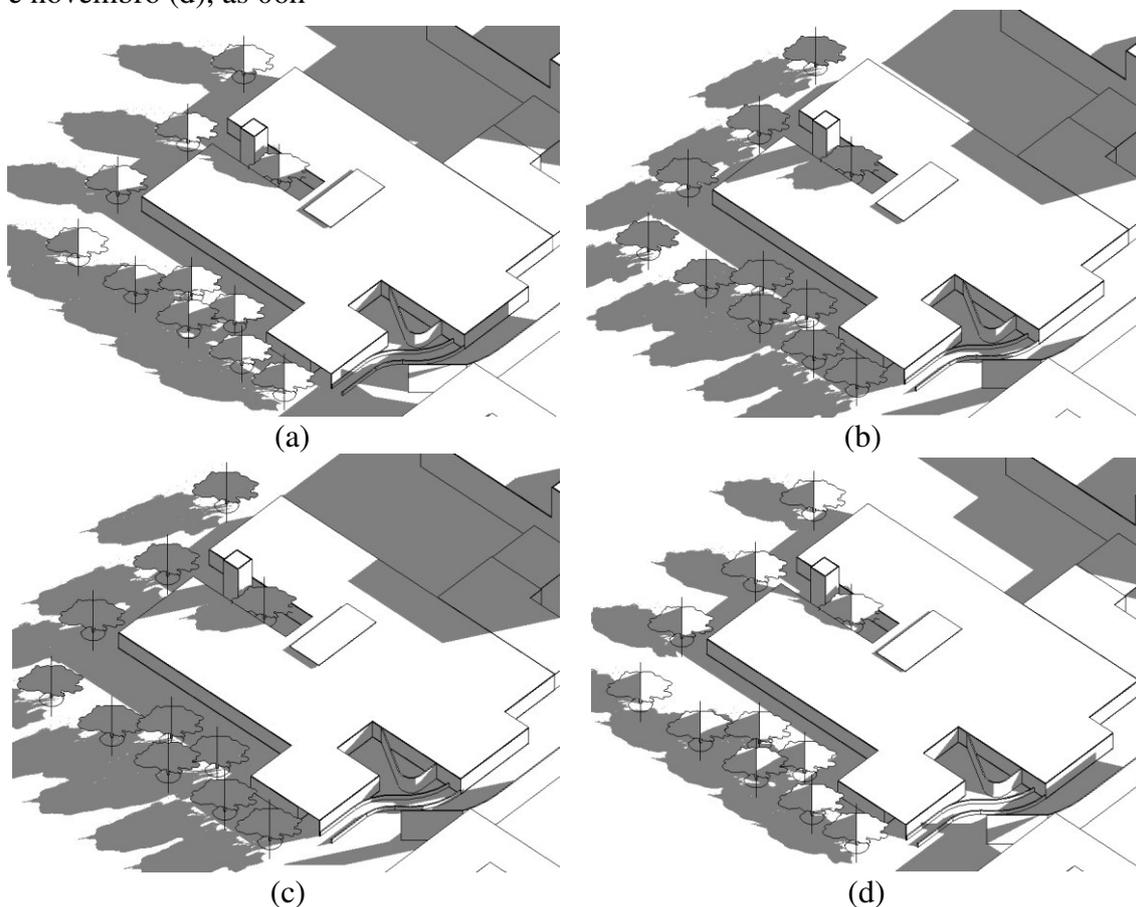
Figura 15 – Sombreamento sobre o ICA nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 17h



Fonte: o próprio autor

Percebe-se que, durante todo o ano, para o momento em que os painéis FV tem sua produção de energia elétrica consideravelmente reduzida, é ínfima a área de telhado afetada pela caixa d'água.

Figura 16 – Sombreamento sobre o RU nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 06h

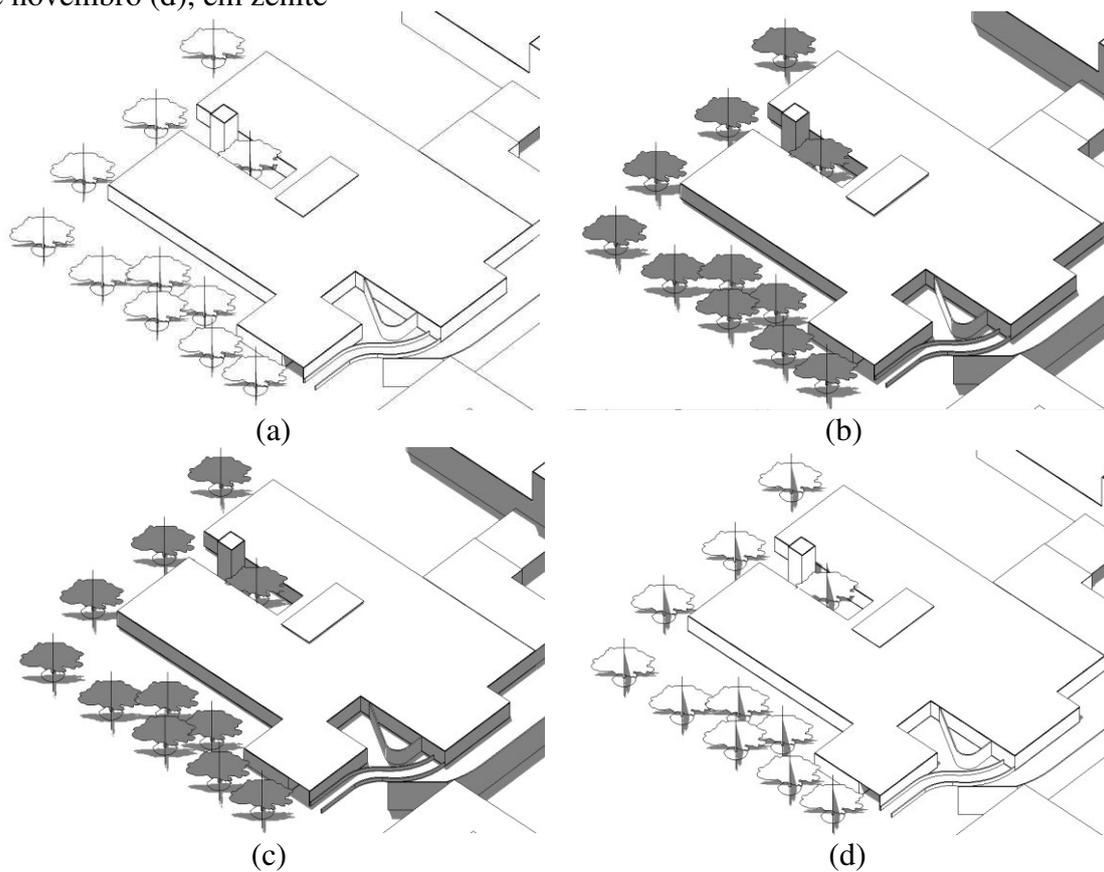


Fonte: o próprio autor

Pode-se perceber que, durante todo o ano, para o momento em que os painéis FV vão efetivamente produzir energia elétrica, parte de telhado é afetada pelo sombreamento proveniente das construções mais elevadas do Centro de Convivência e pela caixa d'água e uma árvore existentes no interior da região do RU.

De novembro à fevereiro, tem-se um sombreamento quase inexistente e de maio à agosto o ele é proveniente das árvores ao redor do RU e da construção mais alta do Centro de Convivência.

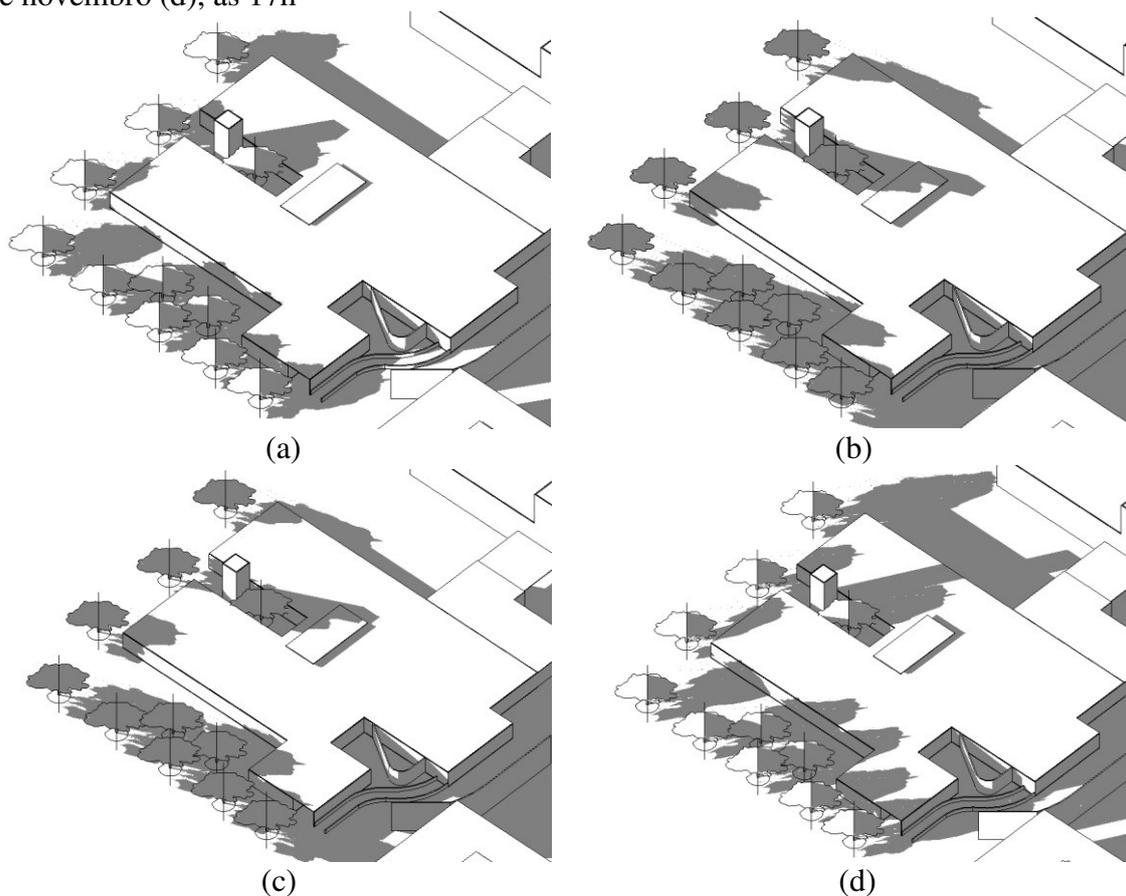
Figura 17 – Sombreamento sobre o RU nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), em zênite



Fonte: o próprio autor

Semelhante ao caso do Centro de Convivência e do ICA, por estar muito próximo à linha do equador, o sombreamento quando o Sol está em zênite é praticamente nulo.

Figura 18 – Sombreamento sobre o RU nos meses de fevereiro (a), maio (b), agosto (c) e novembro (d), às 17h



Fonte: o próprio autor

Como pode-se observar, não há sombreamento relevante para o RU, visto que a caixa d'água passaria a sombrear os painéis apenas em parte do ano e unicamente ao final do dia. Para o caso do Centro de Convivência há sombreamento durante todo o turno da manhã para uma considerável área. Para o RU, o sombreamento aparece principalmente no turno da tarde e devido às árvores ao redor do prédio.

Analisando os sombreamentos para os três horários diferentes e com intervalos de três meses cada em simulação, pode-se definir a área a ser retirada dos cálculos e, assim, a área efetiva de uso para a implantação dos painéis nos três blocos é:

a) Centro de Convivência  $\rightarrow 1.954 - 550 = 1404 \text{ m}^2$

b) ICA  $\rightarrow 6.683 \text{ m}^2$

c) RU  $\rightarrow 3.328 - 393 = 2.935 \text{ m}^2$

A partir desse ponto, pode-se fazer o dimensionamento da geração FV e definir quanto o sistema em cada construção poderá gerar de energia elétrica.

## 5 DIMENSIONAMENTO FOTOVOLTAICO

Considerando que o Campus do Pici da UFC tem apenas um ponto de medição de consumo de energia elétrica, não há como saber com total precisão o quanto cada ambiente está consumindo. Devido a esse fato, o dimensionamento se baseia na quantidade de energia que cada construção consegue gerar a partir dos módulos FV instalados em seus telhados.

Para encontrar tal valor, faz-se necessário o Fator de Capacidade Fotovoltaica ( $FC_{FV}$ ), que é a relação entre a produção efetiva de energia elétrica num dado período de tempo e a geração nominal dos painéis neste mesmo intervalo de tempo. A Tabela 3 apresenta os valores cedidos pelo LEA, os quais são os mais indicados, visto que os prédios analisados estão a poucos metros do LEA. Para tal, usou-se os valores do ano de 2017.

Tabela 3 – Fator de Capacidade do LEA

Mês	FC (%)
Jan/17	19,23
Fev/17	17,51
Mar/17	14,48
Abr/17	15,53
Mai/17	13,47
Jun/17	21,03
Jul/17	16,36
Ago/17	24,04
Set/17	25,69
Out/17	20,87
Nov/17	21,72
Dez/17	19,29
<b>Média</b>	<b>19,56</b>

Fonte: LEA – UFC

Para a estimativa de geração, definiu-se a média do equivalente a um ano de geração no LEA, usando os dados mais recentes disponíveis.

Além disso, a Tabela 4 caracteriza o módulo FV a ser aplicado no estudo, com valores obtidos para condições padrões de testes.

Tabela 4 – Dados do Módulo Utilizado Para Condições Padrões de Teste

Parâmetros	Modelo YL250P-29b
Potência Nominal	250 Wp
Tensão Nominal	29,8 V
Corrente Nominal	8,39 A
Tensão de Circuito Aberto	37,6 V
Corrente de Curto Circuito	8,92 A
Tensão Máx. do Sistema	1000 V
Dimensões	1650 x 992 x 35 mm

Fonte: Catálogo Yingli – YL250P-29b

O cálculo do dimensionamento dos módulos FV realizado foi proposto por (Carvalho, 2016) e é feito baseado no consumo de energia elétrica do local estudado, no fator capacidade FV ( $FC_{FV}$ ) e na potência do mesmo.

Inicialmente, obtém-se a área que cada módulo ocupa isoladamente:

$$\text{área do módulo} = 1,65 * 0,992 \approx 1,64 \text{ m}^2$$

A partir da Equação (1), pode-se estimar quantos painéis podem ser instalados no ambiente de acordo com a área efetiva de uso definida no capítulo de modelagem e com a área ocupada por cada módulo:

$$N^{\circ}_{\text{módulos}} = \frac{\text{área efetiva de uso}}{\text{área do módulo}} \quad (1)$$

Para o caso de valores não inteiros, utiliza-se o inteiro menor mais próximo do valor obtido.

Em seguida, calcula-se a potência nominal do sistema a partir do número de módulos encontrados e da potência nominal de cada painel, assim como na Equação (2):

$$P_{\text{sistema}} = P_{\text{módulo}} * N^{\circ}_{\text{módulos}} \quad (2)$$

A partir da potência do sistema, como a mesma é expressa como referência a quantidade de horas em um ano, que é de 8760 h, utiliza-se uma relação com esse número e com a energia nominal do mesmo, que é expressa em MWh, como mostrado na Equação (3):

$$E_{nominal} = P_{sistema} * 8760 \quad (3)$$

Com isso, ao relacionar a energia nominal obtida com a Equação (3) e o Fator de Capacidade ( $FC_{FV}$ ) disponibilizado pelo LEA, pode-se mensurar a energia elétrica gerada por cada bloco estudado. A Equação (4) apresenta a formulação:

$$E_{gerada} = FC_{FV} * E_{nominal} \quad (4)$$

Especificada a metodologia, pode-se aplicá-la para os três locais a serem estudados.

### 5.1 Centro de Convivência

Com uma área efetiva de uso de, 1.404 m<sup>2</sup>, e sabendo que a área do painel é 1,64 m<sup>2</sup>, pode-se estimar a quantidade de painéis a serem alocadas no Centro de Convivência.

$$N^{\circ}_{módulos} = \frac{1404}{1,64} = 856,1 \approx 856 \text{ módulos}$$

Em seguida, sabendo que a potência nominal de cada módulo é de 250 Wp, então a potência nominal do sistema é expressa por:

$$P_{sistema} = 250 * 856 = 214,0 \text{ kW}$$

Com a potência nominal do sistema obtida, aplica-se a relação com as horas de uso no ano e encontra-se a energia nominal do mesmo:

$$E_{nominal} = (214,0 * 10^3) * 8760 = 1.874,64 \text{ MWh/ano}$$

Para obter a energia total a ser gerada pelo Centro de Convivência, basta multiplicar o valor obtido para a energia nominal e multiplica-lo pelo  $FC_{FV}$  médio da Tabela 2. Assim:

$$E_{gerada} = 0,1956 * (1874,64 * 10^6) = 366,67 \text{ MWh/ano}$$

Assim, tem-se que o Centro de Convivência pode atender a uma demanda de 366,67 MWh ao ano, a partir da geração FV.

## 5.2 Instituto de Cultura e Arte

Com uma área efetiva de uso 6.683 de m<sup>2</sup>, e sabendo que a área do painel é 1,64 m<sup>2</sup>, pode-se estimar a quantidade de painéis a serem alocadas no ICA.

$$N^{\circ}_{módulos} = \frac{6683}{1,64} = 4.075 \text{ módulos}$$

Em seguida, sabendo que a potência nominal de cada módulo é de 250 Wp, então a potência nominal do sistema é expressa por:

$$P_{sistema} = 250 * 4075 = 1.018,75 \text{ kW}$$

Com a potência nominal do sistema obtida, aplica-se a relação com as horas de uso no ano e encontra-se a energia nominal do mesmo:

$$E_{nominal} = (1018,75 * 10^3) * 8760 = 8.924,25 \text{ MWh}$$

Para obter a energia total a ser gerada pelo ICA, basta multiplicar o valor obtido para a energia nominal e multiplica-lo pelo FC<sub>FV</sub> médio da Tabela 3. Assim:

$$E_{gerada} = 0,1956 * (8924,25 * 10^6) = 1.745,58 \text{ MWh/ano}$$

Assim, tem-se que o ICA pode atender a uma demanda de 1.745,58 MWh ao ano, a partir da geração FV.

### 5.3 Restaurante Universitário

Com uma área efetiva de uso 2.935 de m<sup>2</sup>, e sabendo que a área do painel é 1,64 m<sup>2</sup>, pode-se estimar a quantidade de painéis a serem alocadas no RU.

$$N^{\circ}_{módulos} = \frac{2935}{1,64} = 1789,6 \approx 1789 \text{ módulos}$$

Em seguida, sabendo que a potência nominal de cada módulo é de 250 Wp, então a potência nominal do sistema é expressa por:

$$P_{sistema} = 250 * 1789 = 447,25 \text{ kWh}$$

Com a potência nominal do sistema obtida, aplica-se a relação com as horas de uso no ano e encontra-se a energia nominal do mesmo:

$$E_{nominal} = (447,25 * 10^3) * 8760 = 3.917,91 \text{ MWh/ano}$$

Para obter a energia total a ser gerada pelo RU, basta multiplicar o valor obtido para a energia nominal e multiplica-lo pelo FC<sub>FV</sub> médio da Tabela 02. Assim:

$$E_{gerada} = 0,1956 * (3917,91 * 10^6) = 766,34 \text{ MWh/ano}$$

Assim, tem-se que o Restaurante Universitário pode atender a uma demanda de 655,86 MWh ao ano, a partir da geração FV.

Na Tabela 5, encontram-se os resultados do dimensionamento das 3 construções.

Tabela 5 – Resultados dos Dimensionamentos

Construções	Energia Gerada (MWh/ano)	Potência Nominal do Sistema (kWp)	Quantidade de Módulos
Centro de Convivência	366,67	214,0	856
ICA	1745,58	1018,75	4075
Restaurante Universitário	766,34	447,25	1789

Fonte: O próprio autor

#### 5.4 Dimensionamento do Inversor

Após definidos os parâmetros relacionados ao módulo fotovoltaico, necessita-se escolher qual inversor será utilizado em conjunto com os painéis para converter a energia elétrica gerada pelos painéis de Corrente Contínua (CC) para Corrente Alternada (CA).

O inversor selecionado é da marca PHB Solar, especificamente PHB5000D-NS, e possui as características listadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados do Inversor Utilizado

<b>Modelo</b>	<b>PHB5000D-NS</b>
<b>Dados da Entrada CC</b>	
Máx. Pot. Fotovoltaica	6500 W
Máxima Tensão	580 V
Tensão de Partida	120 V
Corrente Máxima	22,8 A
Nº de Strings	2/2
<b>Dados da Saida CA</b>	
Potência CA Nominal	5000 W
Máxima Potência	5000 W
Máxima Corrente	22,8 A
Saida Nominal	60 Hz; 220 Vca
Faixa de Operação	57.5~62 Hz; 176~242 Vca
THD	<5 %
Fator de Potência	0,95 cap / 0,95 ind
Conexão	Monofásica
<b>Eficiência</b>	
Máxima Eficiência	97,8 %
Eficiência MPPT	>99,9 %

Fonte: Catálogo PHB Solar – PHB5000D-NS

De acordo com o catálogo, o inversor selecionado suporta até duas *strings* em paralelo, em que uma *string* é formada por um conjunto de painéis conectados em série.

Como o estudo usa apenas um tipo de módulo, então as *strings* são iguais e, com isso, pode-se calcular a tensão presente em cada uma:

$$V_{string} = N_{painéis} * V_{painel} \quad (5)$$

Onde:

- a)  $V_{string}$  é a tensão da string;
- b)  $N_{painéis}$  é o número de painéis conectados em série;
- c)  $V_{painel}$  é a tensão de circuito aberto do painel;

Para propriamente definir o número de inversores a serem utilizados, bem como a quantidade de módulos por inversor, tem-se que:

$$N_{inversores} = \frac{P_{nominal\ FV}}{P_{MAXinversorCC}} \quad (6)$$

Onde:

- a)  $N_{inversores}$  é quantidade de inversores utilizados;
- b)  $P_{nominalFV}$  é potência nominal do sistema fotovoltaico;
- c)  $P_{MAXinversor}$  é a potência máxima do inversor.

Em seguida, pode-se encontrar a quantidade de painéis a serem alocados para cada inversor. Assim:

$$Painéis\ por\ inversor = \frac{N_{painéis}}{N_{inversores}} \quad (7)$$

#### 5.4.1 Inversores do Centro de Convivência

De acordo com a Equação (6), tem-se que:

$$N_{inversores} = \frac{P_{nominal\ FV}}{P_{MAXinversorCC}} = \frac{214 * 10^3}{6500} = 32,92 \approx 33\ inversores$$

Com isso, a quantidade de painéis por inversor será:

$$Painéis\ por\ inversor = \frac{N_{painéis}}{N_{inversores}} = \frac{856}{33} = 25,94 \approx 26\ painéis$$

Dessa forma, cada inversor terá 26 painéis conectados. Considerando que o inversor suporta até 2 *strings*, então cada uma terá 13 painéis conectados. Com isso, as máximas tensão e corrente características de cada *string* serão:

$$V_{string} = N_{paineis} * V_{painel} = 13 * 37,6 = 488,8 V$$

Sabendo que a corrente máxima de cada string será a corrente de curto circuito do painel, então  $I_{string} = 8,92 A$ . Como cada inversor possui 2 strings, então:

$$V_{inversor} = 488,8 V$$

$$I_{inversor} = 8,92 * 2 = 17,84 A$$

Considerando que a máxima tensão por *string* é de 580 V e que a máxima corrente é 22,8 A, então pode-se afirmar que os limites físicos de operação dos equipamentos no Centro de Convivência foram assegurados.

#### 5.4.2 Inversores do Instituto de Cultura e Arte

Assim como no item anterior, tem-se que:

$$N_{inversores} = \frac{P_{nominal\ FV}}{P_{MAXinversor}} = \frac{1.018,75 * 10^3}{6500} = 156,73 \approx 157\ inversores$$

Com isso, a quantidade de painéis por inversor será:

$$Paineis\ por\ inversor = \frac{N_{paineis}}{N_{inversores}} = \frac{4075}{157} = 25,95 \approx 26\ paineis$$

Dessa forma, cada inversor terá 26 painéis conectados. Considerando que o inversor suporta até 2 *strings*, então cada uma terá 13 painéis conectados. Com isso, as máximas tensão e corrente características de cada *string* serão:

$$V_{string} = N_{paineis} * V_{painel} = 13 * 37,6 = 488,8 V$$

Sabendo que a corrente máxima de cada string será a corrente de curto circuito do painel, então  $I_{string} = 8,92$  A. Como cada inversor possui 2 strings, então:

$$V_{inversor} = 488,8 V$$

$$I_{inversor} = 8,92 * 2 = 17,84 A$$

Considerando que a máxima tensão por *string* é de 580 V e que a máxima corrente é 22,8 A, então pode-se afirmar que os limites físicos de operação dos equipamentos no Instituto de Cultura e Arte foram assegurados.

#### 5.4.3 Inversores do Restaurante Universitário

De acordo com a Equação (6), tem-se que:

$$N_{inversores} = \frac{P_{nominal\ FV}}{P_{MAXinversor}} = \frac{447,25 * 10^3}{6500} = 68,81 \approx 69\ inversores$$

Com isso, a quantidade de painéis por inversor será:

$$Paineis\ por\ inversor = \frac{N_{paineis}}{N_{inversores}} = \frac{1789}{69} = 25,93 \approx 26\ paineis$$

Dessa forma, cada inversor terá 26 painéis conectados. Considerando que o inversor suporta até 2 *strings*, então cada uma terá 13 painéis conectados. Com isso, as máximas tensão e corrente características de cada *string* serão:

$$V_{string} = N_{paineis} * V_{painel} = 13 * 37,6 = 488,8 V$$

Sabendo que a corrente máxima de cada string será a corrente de curto circuito do painel, então  $I_{string} = 8,92$  A. Como cada inversor possui 2 strings, então:

$$V_{inversor} = 488,8 V$$

$$I_{inversor} = 8,92 * 2 = 17,84 A$$

Considerando que a máxima tensão por *string* é de 580 V e que a máxima corrente é 22,8 A, então pode-se afirmar que os limites físicos de operação dos equipamentos no Restaurante Universitário foram assegurados.

Na Tabela 7, encontram-se os resultados do dimensionamento dos inversores para as 3 construções.

Tabela 7 – Resultado do Dimensionamento dos Inversores

<b>Construções</b>	<b>Nº de Módulos</b>	<b>Nº de Inversores</b>	<b>Potência do Inversor (W)</b>	<b>Nº de Paineis por Inversor</b>	<b>Nº de Strings por Inversor</b>
Centro de Convivência	856	33	6500	26	2
ICA	4075	175	6500	26	2
Restaurante Universitário	1789	69	6500	26	2

Fonte: O próprio autor

## 6 VALORAÇÃO

### 6.1 Impacto na Fatura de Energia

Considerando os valores obtidos, pode-se fazer uma breve análise do quanto os módulos instalados podem compensar no consumo do Pici. A Tabela 8 mostra o consumo mensal do campus.

Tabela 8 – Consumo de energia elétrica no Pici de janeiro de 2016 - agosto de 2018 (kWh)

	2016	2017	2018
Janeiro	992.274	882.274	1.025.000
Fevereiro	1.094.274	1.132.274	899.274
Março	1.162.274	952.274	1.000.548
Abril	1.201.274	1.142.274	1.214.274
Mai	1.380.274	1.206.274	1.229.274
Junho	1.348.274	1.316.274	1.289.274
Julho	1.308.274	1.301.274	1.031.274
Agosto	1.160.274	1.064.274	-
Setembro	1.302.274	1.169.274	-
Outubro	1.312.274	1.442.274	-
Novembro	1.354.274	1.337.274	-
Dezembro	1.369.274	1.193.274	-
<b>MÉDIA</b>	<b>1.248.774</b>	<b>1.178.274</b>	<b>1.098.417</b>

Fonte: UFC INFRA - Faturas de Energia do Campus Pici

Considerando o somatório da geração dos três blocos, tem-se que:

$$G_{Total} = G_{CC} + G_{ICA} + G_{RU} \quad (5)$$

$$G_{Total} = \frac{366,67 * 10^6}{12} + \frac{1493,92 * 10^6}{12} + \frac{655,86 * 10^6}{12}$$

$$G_{Total} = 26,151 * 10^6 + 124,493 * 10^6 + 54,655 * 10^6$$

$$G_{Total} = 205,3 \text{ MWh ao mês}$$

Assim, caso o sistema já estivesse em funcionamento, os módulos estariam economizando mensalmente nas faturas de 2016 e 2017 uma média de:

$$Redução = \frac{G_{Total}}{MÉDIA} \quad (6)$$

$$Redução_{2016} = \frac{205,3 * 10^6}{1248,774 * 10^6} \approx 0,1644 = 16,44 \%$$

$$Redução_{2017} = \frac{205,3 * 10^6}{1178,274 * 10^6} \approx 0,1742 = 17,42 \%$$

$$Redução_{2017} = \frac{205,3 * 10^6}{1098,417 * 10^6} \approx 0,1869 = 18,69 \%$$

Com isso, pode-se perceber que a redução no consumo para os dois últimos anos poderia ter sido de 16,44 % e 17,42% do valor total consumido no Campus Pici apenas instalando os módulos no Centro de Convivência, no ICA e no RU.

## 6.2 Payback Fotovoltaico

Para a análise financeira, decidiu-se utilizar o RETScreen, um *software* lançado no ano de 1998 e com versão mais recente em 2016. O mesmo foi desenvolvido pelo governo do Canadá e possui reconhecimento internacional. Baseado no Excel, aquele auxilia na análise de viabilidade técnica e financeira quando se trata de projetos que lidam com energias renováveis. Na Figura 19 é apresentada a interface inicial do programa.

Figura 19 – Interface Inicial do RETScreen

<b>Informação sobre o projeto</b>		<a href="#">Veja banco de Dados do projeto</a>
Nome do Projeto	Sistema Fotovoltaico Centro de Convivência	
Localização do Projeto	Fortaleza - CE	
Preparado para	UFC	
Preparado por	Breno Bezerra Freitas	
Tipo de projeto	Produção de eletricidade	
Tecnologia	Fotovoltaica	
Tipo de grid	Rede Central	
Tipo de análise	Método 2	
Poder calorífico de referência	Poder calorífico superior (PCS)	
Ver parâmetros	<input checked="" type="checkbox"/>	
Idioma	Portuguese - Português	
Manual do usuário	English - Anglais	
Moeda	Brasil	
Unidades	Unidades métricas	

---

<b>Condições de Referência do site</b>		<a href="#">Selecionar local de dados climáticos</a>
Localização dos dados climáticos	Fortaleza	

Fonte: O próprio autor

Para realizar a análise financeira, inicia-se com a inserção dos dados de geolocalização e alocação da base de dados de acordo com a localização escolhida. Na Figura 20 são apresentados os dados geográficos, climáticos do local e os níveis de radiação solar diária média para cada mês do ano.

Figura 20 – Dados de geolocalização e climáticos para a região estudada

	Localização dos dados climáticos		Localização do Projeto	
	Unidade			
Latitude	'N	-3,8	-3,8	
Longitude	'E	-38,6	-38,6	
Elevação	m	26	26	
Temperatura para projeto de aquecimento	°C	23,1		
Temperatura para projeto de refrigeração	°C	32,1		
Amplitude da Temperatura do Solo	°C	4,6		

Mês	Temperatura do Ar °C	Humidade relativa %	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Pressão Atmosférica kPa	Velocidade do Vento m/s	Temperatura do Solo °C	Graus-dia para aquecimento °C-d	Refrigeração °C-d
Janeiro	27,3	78,0%	5,33	101,2	3,7	27,8	0	536
Fevereiro	26,7	79,0%	5,14	101,2	3,1	27,9	0	468
Março	26,3	84,0%	4,67	101,2	2,6	27,9	0	505
Abril	26,5	85,0%	4,53	101,2	2,9	27,9	0	495
Mai	26,3	82,0%	5,03	101,3	3,7	27,7	0	505
Junho	25,9	80,0%	5,00	101,4	5,1	27,3	0	477
Julho	25,7	80,0%	5,69	101,5	5,6	27,3	0	487
Agosto	26,1	75,0%	6,19	101,5	6,3	28,1	0	499
Setembro	26,6	74,0%	6,25	101,4	6,7	28,4	0	498
Outubro	27,0	73,0%	6,47	101,3	6,3	28,8	0	527
Novembro	27,2	74,0%	6,36	101,2	5,8	28,7	0	516
Dezembro	27,3	76,0%	6,06	101,2	4,6	28,3	0	536
<b>Anual</b>	26,6	78,3%	5,56	101,3	4,7	28,0	0	6.050
Medido a	m				10,0	0,0		

Fonte: O próprio autor

### 6.2.1 Validação do Modelo Energético com o RETScreen

Nesta etapa, define-se a tecnologia utilizada para os painéis, suas respectivas características e os dados de dimensionamento tanto dos painéis como dos inversores para cada local estudado.

Para os três blocos, foi padronizado um sistema de posicionamento solar fixo, inclinação de 15° e azimut de 180°.

Na Figura 21 é indicado o sistema de eletricidade para o estudo de caso.

Nas Figuras 22, 23 e 24 são apresentados, respectivamente, os dados inseridos para os casos do Centro de Convivência, do ICA e do Restaurante Universitário.

Figura 21 – Dados do Sistema de Eletricidade para o Estudo de Caso

Tipo de análise  Método 1  Método 2

**Avaliação de recursos**  
Sistema de posicionamento solar  
Inclinação  
Azimut

Fixo
15,0
180,0

Mostrar dado

Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m <sup>2</sup> /d	Preço eletricidade exportada BRL/MWh	Eletricidade exportada p/ rede MWh
Janeiro	5,33	4,84	814,2	27,46
Fevereiro	5,14	4,84	1.036,2	24,93
Março	4,67	4,57	878,2	26,29
Abril	4,53	4,61	1.042,2	25,57
Mai	5,03	5,35	1.114,2	30,42
Junho	5,00	5,44	1.199,2	29,93
Julho	5,69	6,19	1.192,2	34,95
Agosto	6,19	6,50	976,2	36,50
Setembro	6,25	6,22	1.073,2	33,93
Outubro	6,47	6,11	1.320,2	34,35
Novembro	6,36	5,75	1.229,2	31,22
Dezembro	6,06	5,38	1.095,2	30,26
<b>Anual</b>	<b>5,56</b>	<b>5,49</b>	<b>1088,79</b>	<b>365,80</b>

Radiação Solar anual - horizontal MWh/m<sup>2</sup> 2,03  
Radiação Solar anual - inclinado MWh/m<sup>2</sup> 2,00

Fonte: O próprio autor

Figura 22 – Dados do Sistema Fotovoltaico para o Centro de Convivência

**Fotovoltaica**

Tipo poly-Si

Potência elétrica kW 214,00

Fabricante Yingli Solar

Modelo poly-Si - YL250P-32b 856 unidade(s)

Eficiência % 15,3%

Temperatura de operação normal da célula °C 45

Coefficiente de Temperatura % / °C 0,40%

Área do coletor solar m<sup>2</sup> 1.399

Perdas diversas % 2,0%

**Inversor**

Eficiência % 97,8%

Capacidade kW 214,5

Perdas diversas % 2,0%

**Resumo**

Fator de Utilização % 19,5%

Eletricidade exportada p/ rede MWh 365,80

Fonte: O próprio autor

Figura 23 – Dados do Sistema Fotovoltaico para o ICA

**Fotovoltaica**

Tipo poly-Si

Potência elétrica kW 1.018,75

Fabricante Yingli Solar

Modelo poly-Si - YL250P-32b 4075 unidade(s)

Eficiência % 15,3%

Temperatura de operação normal da célula °C 45

Coefficiente de Temperatura % / °C 0,40%

Área do coletor solar m<sup>2</sup> 6.658

Perdas diversas % 2,0%

**Inversor**

Eficiência % 97,8%

Capacidade kW 214,5

Perdas diversas % 2,0%

**Resumo**

Fator de Utilização % 19,5%

Eletricidade exportada p/ rede MWh 1.741,4

Fonte: O próprio autor

Figura 24 – Dados do Sistema Fotovoltaico para o Restaurante Universitário

<b>Fotovoltaica</b>		
Tipo		poly-Si
Potência elétrica	kW	447,25
Fabricante		Yingli Solar
Modelo		poly-Si - YL250P-32b
Eficiência	%	15,3%
Temperatura de operação normal da célula	°C	45
Coefficiente de Temperatura	% / °C	0,40%
Área do coletor solar	m²	2.923
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Inversor</b>		
Eficiência	%	97,8%
Capacidade	kW	214,5
Perdas diversas	%	2,0%
<b>Resumo</b>		
Fator de Utilização	%	19,5%
Eletricidade exportada p/ rede	MWh	764,50

Fonte: O próprio autor

Após os dados inseridos, o programa retornou os valores de 365,8 MWh para o Centro de Convivência, 1741,4 MWh para o ICA e 764,5 MWh para o Restaurante Universitário, exportados para a rede elétrica, o que confirma os valores encontrados via dimensionamento anteriormente, assim como apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado da Análise dos Modelos Energéticos

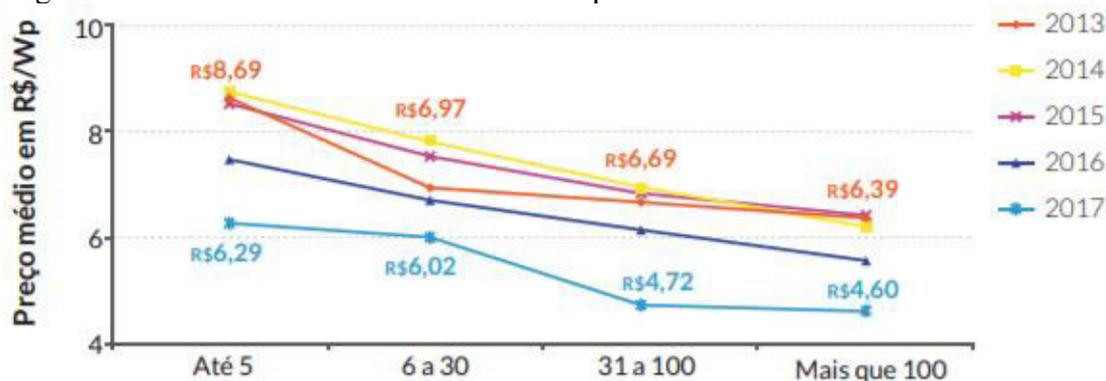
	Dimensionamento (MWh)	RETScreen (MWh)
<b>Centro de Convivência</b>	366,67	365,8
<b>ICA</b>	1745,58	1741,4
<b>Restaurante Universitário</b>	766,34	764,5

Fonte: O próprio autor

### 6.2.2 Análise de Custos

Finalizada a etapa de definição do modelo energético, faz-se necessário entrar com os dados relativos ao custo do projeto envolvendo todas as etapas. O valor usado para tal foi obtido através da edição de 2018 do estudo “O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica” do Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL) e é exposto na Figura 25, que apresenta a relação entre o preço médio e o kWp instalado. Usou-se o ano de 2017 como referência.

Figura 25 – Custo de Sistemas Fotovoltaicos por Faixa de Potência



Fonte: IDEAL, 2017

Com isso, na Figura 26 é apresentada a parte de análise de custos para o preço médio de R\$ 4600,00 para 1 kWp.

Figura 26 – Análise de Custos para o Centro de Convivência

Análise de Custos RETScreen - Projeto produção de Eletricidade

Opções						
<input checked="" type="radio"/> Método 1	<input checked="" type="radio"/> Notas/faixa	Notas/faixa	Nenhum			
<input type="radio"/> Método 2	<input type="radio"/> Segunda moeda	Notas/faixa				
	<input type="radio"/> Alocação de custo					
Custos iniciais (créditos)	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Quantidade	Custos relativos	
<b>Estudo de viabilidade</b>						
Estudo de viabilidade	custo	0	BRL -	BRL -	-	0,0%
Subtotal				BRL -	-	0,0%
<b>Desenvolvimento</b>						
Desenvolvimento	custo	0	BRL -	BRL -	-	0,0%
Subtotal				BRL -	-	0,0%
<b>Engenharia</b>						
Engenharia	custo	0	BRL -	BRL -	-	0,0%
Subtotal				BRL -	-	0,0%
<b>Sistema de produção de eletricidade</b>						
Fotovoltaica	kW	214,00	BRL 4.600	BRL 984.400	-	-
Construção de estrada	km			BRL -	-	-
Linha de Transmissão	km			BRL -	-	-
Subestação	projeto			BRL -	-	-
Ações de Eficiência energética	projeto			BRL -	-	-
Definido pelo usuário	custo			BRL -	-	-
Subtotal				BRL 984.400	984.400	100,0%
<b>Balanco do sistema e misc.</b>						
Peças de reposição	%			BRL -	-	-
Transporte	projeto			BRL -	-	-
Treinamento & Comissionamento	p-d			BRL -	-	-
Definido pelo usuário	custo			BRL -	-	-
Contingências	%		BRL 984.400	BRL 984.400	-	-
Juros durante a construção				BRL -	-	-
Subtotal				BRL 984.400	984.400	0,0%
<b>Total de custos de investimento</b>				<b>BRL 984.400</b>	<b>984.400</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: O próprio autor

Como o estudo tem foco apenas na produção de energia, os custos envolvidos no estudo de viabilidade, nos processos de engenharia e no balanço do sistema foram desconsiderados. De forma análoga, como o ICA e o RU apresentam potência maior que 100 kW, o preço médio aplicado a ambos também é de R\$ 4600,00/kWp. Dessa forma, o valor total de investimento para os três casos é dado na Tabela 10.

Tabela 10 – Investimento Total por Construção

	<b>Investimento Total</b>
<b>Centro de Convivência</b>	R\$ 984.400,00
<b>ICA</b>	R\$ 4.686.250,00
<b>Restaurante Universitário</b>	R\$ 2.057.350,00

Fonte: O próprio autor

### 6.2.3 Análise Financeira

Para esta etapa, o programa requer algumas taxas, em que a de inflação para 2018 é de 6,2% a.a. (IBGE, 2017) e a taxa de desconto é de 11% a.a. (NAKABAYASHI, 2014), pois é equivalente à taxa de juros para títulos públicos. Além disso, definiu-se o tempo de vida útil do projeto para 25 anos. Todos definidos na Figura 27, que apresenta os dados inseridos.

Figura 27 – Parâmetros Financeiros

<b>Parâmetros financeiros</b>		
<b>Geral</b>		
Reajuste do custo do combustível	%	0,0%
Taxa de inflação	%	6,2%
Taxa de desconto	%	11,0%
Vida do projeto	ano	25

Fonte: O próprio autor

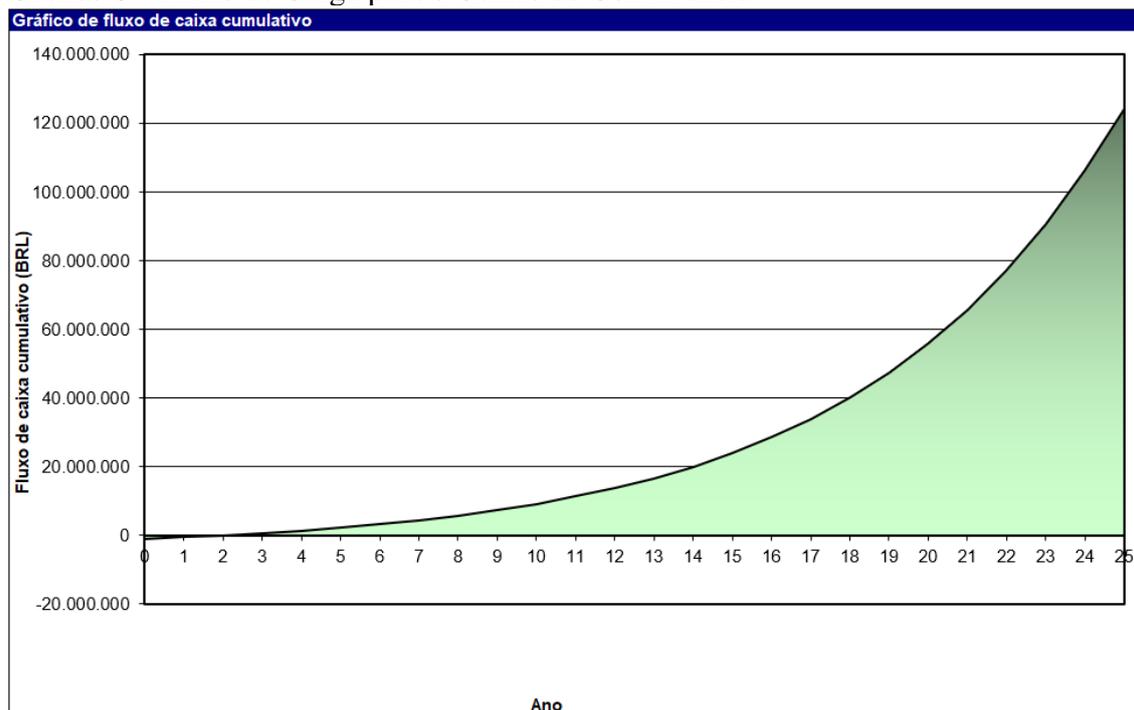
Com isso, a Tabela 11 e o Gráfico 6 mostram a viabilidade financeira e o fluxo para o Centro de Convivência, respectivamente.

Tabela 11 – Viabilidade Financeira para o Centro de Convivência

<b>TIR antes impostos-capital próprio</b>	%	63,6
<b>TIR antes impostos – ativos</b>	%	63,6
<b>TIR após impostos – capital</b>	%	63,6
<b>TIR após impostos – ativos</b>	%	63,6
<b>Retorno simples</b>	ano	2,5
<b>Retorno do capital próprio</b>	ano	2,0
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	BRL	18.842.641
<b>Economia anual no ciclo de vida</b>	BRL/ano	398.277
<b>Razão custo benefício (C-B)</b>	-	20,14
<b>Custo da Geração de energia</b>	BRL/MWh	54,06
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	398.277

Fonte: O próprio autor

Gráfico 6 – Fluxo de Carga para o Centro de Convivência



Fonte: O próprio autor

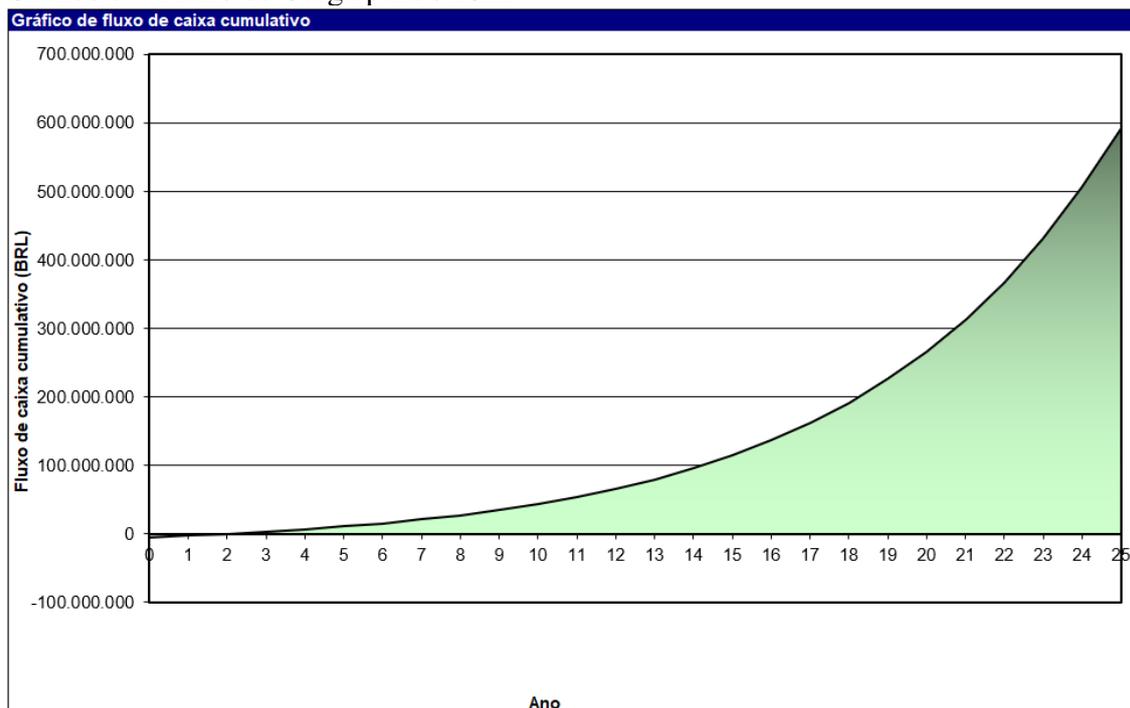
A Tabela 12 e o Gráfico 7 mostram a viabilidade financeira e o fluxo para o ICA, respectivamente.

Tabela 12 – Viabilidade Financeira para o ICA

<b>TIR antes impostos-capital próprio</b>	%	63,6
<b>TIR antes impostos – ativos</b>	%	63,6
<b>TIR após impostos – capital</b>	%	63,6
<b>TIR após impostos – ativos</b>	%	63,6
<b>Retorno simples</b>	ano	2,5
<b>Retorno do capital próprio</b>	ano	2,0
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	BRL	89.700.658
<b>Economia anual no ciclo de vida</b>	BRL/ano	10.651.078
<b>Razão custo benefício (C-B)</b>	-	20,14
<b>Custo da Geração de energia</b>	BRL/MWh	54,06
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	1.896.005

Fonte: O próprio autor

Gráfico 7 – Fluxo de Carga para o ICA



Fonte: O próprio autor

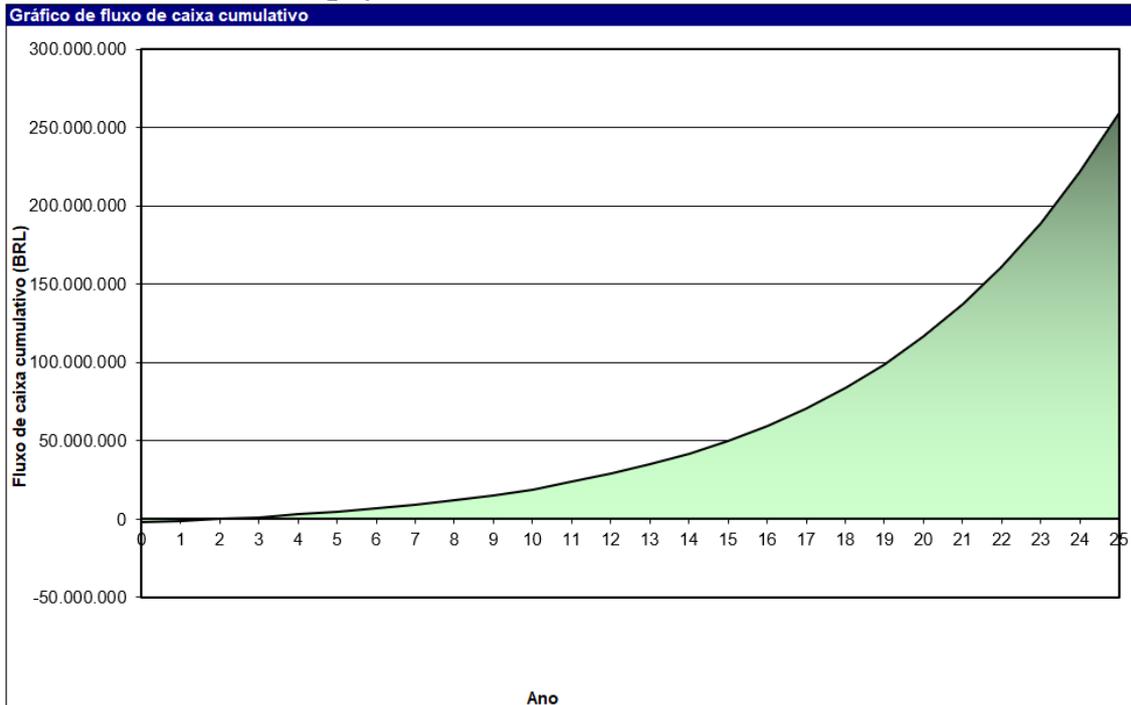
A Tabela 13 e o Gráfico 8 mostram a viabilidade financeira e o fluxo para o Restaurante Universitário, respectivamente.

Tabela 13 – Viabilidade Financeira para o Restaurante Universitário

<b>TIR antes impostos-capital próprio</b>	%	63,6
<b>TIR antes impostos – ativos</b>	%	63,6
<b>TIR após impostos – capital</b>	%	63,6
<b>TIR após impostos – ativos</b>	%	63,6
<b>Retorno simples</b>	ano	2,5
<b>Retorno do capital próprio</b>	ano	2,0
<b>Valor Presente Líquido (VPL)</b>	BRL	39.389.240
<b>Economia anual no ciclo de vida</b>	BRL/ano	4.676.019
<b>Razão custo benefício (C-B)</b>	-	20,14
<b>Custo da Geração de energia</b>	BRL/MWh	54,06
<b>Total de economia e receita anual</b>	BRL	832.381

Fonte: O próprio autor

Gráfico 8 – Fluxo de Carga para o Restaurante Universitário



Fonte: O próprio autor

### 6.3 Valoração em BIM

A integração da análise de viabilidade em projetos que utilizam BIM cria novas possibilidades em termos de valoração. Nesse sentido, a moeda não precisa obrigatoriamente ter “valor monetário”. A prova disso é a valoração em BIM, que permite que esse referencial seja atrelado a outro tipo.

Nesse caso, a referência são os créditos de carbono, que, de acordo com o Protocolo de Kyoto, são certificados emitidos a uma empresa, pessoa ou instituição que reduziu sua emissão de gases do efeito estufa (GEE).

A conversão convencional é que cada tonelada de dióxido de carbono corresponde a um crédito de carbono.

#### 6.3.1 Equivalência da Redução de CO<sub>2</sub> usando Geração Fotovoltaica

A equivalência da redução de CO<sub>2</sub> com a geração distribuída fotovoltaica (E<sub>CO2</sub>) é dada pela quantidade reduzida de CO<sub>2</sub> lançado na atmosfera em quilogramas com a utilização da geração distribuída fotovoltaica para geração de eletricidade em kWh.

A Equação (7) apresenta o cálculo para tal, sendo o fator de emissão de CO<sub>2</sub> médio anual para o Brasil de 0,0927 kgCO<sub>2</sub>/kWh no ano de 2017 (MCTIC, 2018). Devido à forte presença da fonte hídrica na matriz energética brasileiro, esse fator tem valor abaixo da média mundial.

$$E_{CO_2} = 0,0927 * (\text{geração fotovoltaica}) \quad (7)$$

Analisando para o caso do Centro de Convivência:

$$E_{CO_2} = 0,0927 * 366670$$

$$E_{CO_2} = 33990,31 \text{ kg} \approx 33,99 \text{ toneladas}$$

Para o caso do ICA:

$$E_{CO_2} = 0,0927 * 1745580$$

$$E_{CO_2} = 161815,27 \text{ kg} \approx 161,81 \text{ toneladas}$$

E para o caso do Restaurante Universitário:

$$E_{CO_2} = 0,0927 * 766340$$

$$E_{CO_2} = 71039,72 \text{ kg} \approx 71,04 \text{ toneladas}$$

Assim, o total de CO<sub>2</sub> reduzido é:

$$E_{CO_2total} = 33,99 + 161,81 + 71,04 = 266,84 \text{ toneladas}$$

Considerando a equivalência de uma tonelada reduzida na emissão de CO<sub>2</sub> para cada crédito de carbono dada na Equação (8), então:

$$\frac{1 \text{ tolenada}}{1 \text{ crédito}} = \frac{266,81}{x} \rightarrow x = 266,81 \text{ créditos de carbono ao ano}$$

Com isso, percebe-se que o projeto proposto nesse TCC tem a capacidade de gerar 266 créditos de carbono em um ano.

## 7 CONCLUSÕES

Com o uso do *software* Revit, a análise de sombreamento pode ser integrada diretamente à modelagem das construções. A disponibilidade de ajuste na modelagem enquanto o simulador estava ativo facilitou um estudo preciso sobre o impacto de árvores e outras construções nos blocos estudados, o que garantiu a qualidade da análise. Para o caso do ICA, não houve sombreamento a ser considerado, visto que a caixa d'água existente produzia sombra numa ínfima parte do telhado em poucas horas ao dia e por apenas poucos meses ao ano. Para o Centro de Convivência, o sombreamento se deu devido à parte da construção mais elevada influenciar na menos elevada. Para o caso do Restaurante Universitário, o sombreamento foi causado pela existência de muitas árvores de grande porte ao redor do mesmo.

Pela análise de sombreamento, obteve-se uma área efetiva de uso de 6.683 m<sup>2</sup> para o ICA, 1.404 m<sup>2</sup> para o Centro de Convivência e 2.935 m<sup>2</sup> para o RU, pois nos espaços desconsiderados, os níveis de geração são muito reduzidos.

Após as áreas efetivas de uso definidas, calculou-se a quantidade de módulos FV a serem instalados em cada construção e obteve-se 4075 para o ICA, 856 módulos para Centro de Convivência e 1789 para o RU, sendo, respectivamente, 175, 33 e 69 inversores a serem instalados em cada construção. O que significa um total de 6720 módulos FV e 277 inversores instalados.

A partir disso, o dimensionamento FV apresentou uma capacidade instalada de 1.018,75 kWp para o ICA, 214 kWp para o Centro de Convivência e 447,25 kWp para o RU, acarretando numa geração ao ano de 1745,58 MWh, 366,67 MWh e 766,34 MWh, respectivamente. O que representa 2.878,59 MWh gerados ao ano nas três construções.

Considerando que a média anual das faturas de 2016 é de 1.248.774 kWh, a de 2017 é 1.178.274 kWh e a de 2018 é 1.098.417 kWh, a redução média de consumo em cada ano seria de 16,44 % para 2016, 17,42 % para 2017 e 18,69 % para 2018.

Ao utilizar o *software* RETScreen, pode-se fazer a validação dos cálculos desenvolvidos, visto que os valores obtidos em simulação foram 1741,4 MWh para o ICA, 365,8 MWh para o Centro de Convivência e 764,5 para o RU, confirmando que o equacionamento anterior está correto, pois, respectivamente, 4,18 MWh, 0,87 MWh e 1,84 MWh ao ano são valores bem reduzidos, considerando o montante.

Também de acordo com o RETScreen, encontrou-se o valor que deve ser investido para a implantação do sistema em cada um dos blocos, sendo R\$ 984.400,00 para o Centro

de Convivência, R\$ 4.686.250,00 para o ICA e R\$ 2.057.350,00 para o Restaurante Universitário, em que, para os três casos, o tempo de retorno do investimento é de dois anos e meio.

Além disso, devido ao uso da metodologia BIM, excedeu-se à tradicional análise financeira, fazendo uso de uma valoração usando como referência créditos de carbono, em que obteve-se um total mais de 266 créditos de carbono ao ano.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se alguns temas para futuros trabalhos a serem desenvolvidos na mesma linha de pesquisa:

- 1) O uso de um *datalogger* para aferir com precisão o consumo de cada construção e, com isso, calcular o impacto total que o sistema FV teria em cada bloco;
- 2) Estudo de interpolação matemática entre as áreas sombreadas em cada mês do ano para o cálculo da área desconsiderada, como uma metodologia para estudos de sombreamento;
- 3) Aplicação da metodologia BIM para os demais centros da UFC;

## REFERÊNCIAS

- 10º Smart Grid Fórum. **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica no Brasil**, 2017. Disponível em: <[http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2017/rodrigo\\_lopes\\_sauaia.pdf](http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2017/rodrigo_lopes_sauaia.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2018, 13:43:25.
- ABNT. **Norma Brasileira Regulamentadora ISO 12006-2:2010**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010.
- ADECE. **Atlas Solarimétrico do Ceará 1963-2008**. Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará. 2011
- 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.
- ANEEL. **Resolução Normativa Nº 786, de 17 de Outubro de 2017**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2017.
- BARRETO, S. C. **Estudo de Viabilidade para Implementação de uma Planta Fotovoltaica Integrada em um Shopping Center de Fortaleza**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, 2017.
- BRITO, M. C. **Meio Século de História Fotovoltaica**. 2006. Dissertação (Doutorado em Física) – Centro de Física da Matéria Condensada, Universidade de Lisboa, 2006.
- CARVALHO, Paulo Cesar Marques de. **Dimensionamento de planta FV conectada à rede elétrica**. Fortaleza: UFC, 2016. 18 slides, color.
- CBIM. **Câmara Brasileira de BIM**, 2018. Disponível em: <<http://cbim.com.br/>>. Acesso em: 09 dez. 2018, 16:05:43.
- 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 (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, 2017.
- COSTA, D. A. C. **Estimativa do Potencial de Geração Fotovoltaica do Campus do Pici da UFC**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2018.
- EBES. **Energia Solar Fotovoltaica: origem e importância para os dias atuais**, 2018. Disponível em: <<http://ebes.com.br/energia-solar-fotovoltaica-origem-e-importancia-para-os-dias-atuais/>>. Acesso em: 09 dez. 2018, 15:56:23.

ECO. **Crise Hídrica Começou em 2012**, 2015. Disponível em: <<https://www.oeco.org.br/reportagens/crise-hidrica-comecou-em-abril-de-2012-mostram-dados-de-satelite/>>. Acesso em: 20 out. 2018, 15:56:23.

Elysia Energia Solar. **História da energia solar: como surgiu essa tecnologia revolucionária**, 2018. Disponível em: <<http://www.elysia.com.br/blog/historia-da-energia-solar/>>. Acesso em: 20 set. 2018, 12:11:32.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2017 – Ano base 2016: Relatório Final**. 2017.

FREITAS, B. B.; CAVALCANTE, A. P. de H.; ALENCAR, C. M. S. de. **Diagnóstico para a Disciplina de Modelagem da Informação e da Construção na Universidade Federal do Ceará**. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 2017.

GBC Brasil. **Empreendimentos LEED**, 2018. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/graficos-empreendimentos.php>>. Acesso em: 20 out. 2018, 12:23:03.

Global Market Outlook. **For Solar Power / 2018 -2022**. Solar Power Europe. 2018

IDEAL. **O Mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica – Edição 2018**, 2018. Disponível em: <<http://institutoideal.org/o-mercado-brasileiro-de-geracao-distribuida-fotovoltaica-edicao-2018/>>. Acesso em: 20 out. 2018, 15:24:35.

IBGE. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 09 dez. 2018, 16:11:12.

KASSEM, M. *Development and application of a novel and integrated performance driven approach for assessing, benchmarking and improving BIM Competency of Qatar's construction industry practitioners*. Artigo – *National Priorities Research Program*. 2016.

MAKEBIM. **Normas Brasileiras Sobre BIM**, 2017. Disponível em: <<https://www.makebim.com/wp-content/uploads/2017/05/NORMAS-BIM-BRASIL.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018, 15:53:16.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2014.

ONS. **Reservatórios**. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/energia-agora/reservatorios>>. Acesso em: 20 out. 2018, 15:23:45.

PHB Solar. **Catálogo Inversor Solar Fotovoltaico**, 2017. Disponível em: <<https://www.energiasolarphb.com.br/pdf/catalogo-inversores-monofasicos-linha-nf.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018, 14:16:43.

Portal BIM Paraná. **Difusão do BIM no Brasil**, 2016. Disponível em: <<http://www.bim.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=22>>. Acesso em: 09 dez. 2018, 16:08:41.

Protocolo de Kyoto. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: <<http://protocolo-de-kyoto.info/>>. Acesso em: 20 set. 2018, 12:18:56.

RABELO, A. D. S. **Estudo de Sujidade em Planta Fotovoltaica Localizada em Zona Urbana**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, 2017.

ROCHA FILHO, J. I. do C. **Sistema de Seguimento Solar de um Eixo com Diferentes Estratégias de Seguimento para Módulos Fotovoltaicos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2016.

SAEPRO. **Breve Histórico do BIM**, 2018. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/saepr/saepr-2/conheca-o-projeto/breve-historico-do-bim/>>. Acesso em: 20 out. 2018, 15:45:29.

SEMINÁRIO BIM. **Manual de Obras Públicas – Edificações**. Ministério do Planejamento. 2016.

SOLARGIS. *Bankable solar data for better decisions*, 2018. Disponível em: <<https://solargis.com/>>. Acesso em: 09 out. 2018, 16:09:39.

SOUSA, L. H. C. H. **A Modelagem Espacial da Informação no Auxílio da Gestão de Patrimônio do Bloco 717**. Resumo – Encontros Universitários. Universidade Federal do Ceará. 2017.

Yingli. **Catálogo Módulo Fotovoltaico**, 2016. Disponível em: <[http://www.yinglisolar.com/static/assets/uploads/products/downloads/DS\\_YGE60CELL%20SERIES%20%20BS-29b\\_35mm\\_US\\_EN\\_20170821\\_V04.pdf](http://www.yinglisolar.com/static/assets/uploads/products/downloads/DS_YGE60CELL%20SERIES%20%20BS-29b_35mm_US_EN_20170821_V04.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2018, 14:13:35.