



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB  
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS  
Curso: Engenharia Civil

LUNARA ALVES FONSECA MARTINS

**ANÁLISE DE UM MODELO DE FERRAMENTA DE APOIO EM  
SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM BRASÍLIA –  
DF**

Brasília  
2018

LUNARA ALVES FONSECA MARTINS

**ANÁLISE DE UM MODELO DE FERRAMENTA DE APOIO EM  
SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM BRASÍLIA –  
DF**

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientadora: Eugênia Cornils Monteiro da Silva, Msc.

Brasília  
2018

LUNARA ALVES FONSECA MARTINS

**ANÁLISE DE UM MODELO DE FERRAMENTA DE APOIO EM  
SISTEMAS DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA EM BRASÍLIA –  
DF**

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientadora: Eugênia Cornils Monteiro da Silva, Msc.

Brasília, 06 de dezembro 2018.

**Banca Examinadora**

---

MSc.Eng<sup>a</sup>. : Eugênia Cornils Monteiro da Silva  
Orientadora

---

MSc.Eng<sup>a</sup>.: Erika Regina Castro  
Examinador Interno

---

PhD Eng<sup>o</sup>. : Maria Vitória Duarte Ferrari  
Examinador Externo

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, autor do meu destino, pelo dom da vida e por todas as bênçãos a mim concedidas durante toda a minha caminhada.

Ao meu pai Gerciro Martins, *in memoriam*, pela determinação e luta na minha formação como ser humano.

À minha mãe Máгда Martins, por sempre estar ao meu lado, me apoiando e me incentivando, com seu amor incondicional, carinho e cumplicidade, e ainda por ser a minha base, me fazendo acreditar que sou capaz de alcançar meus objetivos.

Ao meu melhor amigo e companheiro Silvio Moreira, por me apoiar em todos os momentos, me ajudando a construir e finalizar essa etapa da minha vida, com imenso carinho e paciência.

A todos meus amigos que me incentivaram e me apoiaram em todos os momentos e circunstâncias.

A professora Maria Vitória por toda contribuição durante meu processo acadêmico, por ser a maravilhosa profissional e pessoa que é além de uma inspiração que sempre soube me motivar.

À minha orientadora Eugênia Cornils Monteiro da Silva, por toda a paciência e ensinamentos, acadêmicos e profissionais, sempre disposta a ajudar e me encaminhar da melhor forma possível.

Por fim, agradeço a todo o corpo docente do Centro Universitário de Brasília, por todo o aprendizado adquirido e formação profissional, e por todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram e fizeram parte desta etapa decisiva em minha vida.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

## RESUMO

No contexto nacional e global o setor energético está situado em ampla procura por diversificar a matriz energética. A demanda por energia elétrica é crescente, sendo necessário expandir a consciência ambiental em busca de fontes alternativas para a geração de eletricidade. O recurso solar aliado aos investimentos em tecnologia são uma maneira de buscar a garantia do crescimento energético fundamentado na sustentabilidade. Este trabalho visa analisar por meio de simulações um modelo de ferramenta de apoio à tomada de decisão para implantação de sistemas de geração solar distribuída em Brasília – DF. A metodologia utilizada foi simular e comparar os resultados obtidos pela ferramenta de apoio em Brasília – DF com os resultados alcançados no *software* fotovoltaico *PVsys*. Além disso, o *software Analysis SOLAR* foi utilizado para a obtenção da carta solar da latitude especificada. Os dados solarimétricos de Brasília encontrados foram satisfatórios aproximando-se dos resultados do modelo teórico. As configurações dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no empreendimento do PISAC, foram simuladas alcançando resultados aproximados, sendo possível obter otimizações com base no modelo teórico da ferramenta desenvolvida.

**Palavras-chave:** Modelo Energético. Energia Solar. Eficiência Energética. Simulação.

## ABSTRACT

*In the national and global context the energy sector is located in a wide search to diversify the energy matrix. The demand for electrical energy is increasing, and it is necessary to expand the environmental awareness in search of alternative sources for the generation of electricity. The solar resource allied to investments in technology are a way to seek the guarantee of energy growth based on sustainability. This work aims to analyze by means of simulations a model of decision support tool for the implementation of distributed solar generation systems in Brasília - DF. The methodology used was to simulate and compare the results obtained by the support tool in Brasília - DF with the results achieved in PVsyst photovoltaic software. In addition, Analysis SOL-AR software was used to obtain the solar chart of the specified latitude. The solarimetric data of Brasilia found were satisfactory, approaching the results of the theoretical model. The configurations of grid-connected photovoltaic systems in the PISAC project were simulated with approximate results, and it was possible to obtain optimizations based on the theoretical model of the developed tool.*

**Keywords:** *Energy Model. Solar Energy. Energy Efficiency. Simulation.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1: Produção de eletricidade em 2014 (3900 TWh).....	19
Figura 3-2: Sistema Furnas de Geração e Transmissão.....	21
Figura 3-3: Princípio de funcionamento de dispositivo de coluna de água oscilante para aproveitamento da energia das ondas <i>onshore</i> . ....	23
Figura 3-4: Exemplo de dispositivo de coluna de água oscilante para aproveitamento da energia das ondas <i>nearshore</i> .....	24
Figura 3-5: Exemplo de dispositivo offshore de galgamento para aproveitamento da energia das ondas.....	24
Figura 3-6: Principais componentes de um aerogerador.....	26
Figura 3-7: Funcionamento do sistema solar fotovoltaico conectado à rede.....	29
Figura 3-8: Célula de silício monocristalino.....	32
Figura 3-9: Célula de silício policristalino. ....	33
Figura 3-10: Filme fino, silício amorfo. ....	33
Figura 3-11: Célula orgânica fotovoltaica. ....	35
Figura 3-12: Célula solar sensibilizada a corante.....	36
Figura 3-13: Módulo composto por multijunção, concentrado (CPV). ....	37
Figura 3-14: Sistema de Transmissão (Horizonte 2017). ....	39
Figura 3-15: Irradiação solar total diária no plano inclinado na latitude. Média anual. (adaptado).....	41
Figura 4-1: Esquema metodológico.....	44
Figura 5-1: Renderização do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.....	47
Figura 5-2: Informações sobre a placa Canadian Solar CS6K – 270 P.....	49
Figura 5-3: Orientação do painel fotovoltaico. ....	49
Figura 5-4: Quatro edifícios que compõem o Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.....	50
Figura 5-5: <i>Layout</i> do software PVsyst 6.7.5.....	52
Figura 5-6: Valores de latitude e longitude de Brasília – DF. ....	52
Figura 5-7: Inserção das informações geográficas do local desejado. ....	53
Figura 5-8: Balanço de carbono do prédio da recepção do PISAC.....	61
Figura 5-9: Interface do software <i>Analysis SOL-AR</i> 6.2. ....	63
Figura 5-10: Localização do UniCEUB <i>campus</i> Asa Norte. ....	70

Figura 5-11: Termovisor FLIR I3. ....	71
Figura 5-12: Imagens termográficas dos painéis fotovoltaicos do UniCEUB. ....	72
Figura 5-13: Informações sobre a placa Canadian Solar CS6P-265P. ....	73
Figura 5-14: Câmera FLIR A325. ....	74
Figura 5-15: Imagem termográfica do sistema solar fotovoltaico. ....	75
Figura 5-16: Sistema solar fotovoltaico do UniCEUB <i>campus</i> Asa Norte (lado direito). .....	76
Figura 5-17: Sistema solar fotovoltaico do UniCEUB <i>campus</i> Asa Norte (lado esquerdo). ....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1: Projeção ANEEL e crescimento real dos sistemas de micro e minigeração distribuída. ....	31
Gráfico 5-1: <i>Payback</i> simples.....	58
Gráfico 5-2: <i>Payback</i> descontado. ....	58
Gráfico 5-3: <i>Payback</i> simples <i>versus</i> <i>payback</i> descontado. ....	59
Gráfico 5-4: Trajetória solar de Brasília – DF. ....	62
Gráfico 5-5: Gráfico de temperaturas e trajetória solar de Brasília – DF (até 21 de junho). ....	64
Gráfico 5-6: Gráfico de temperaturas e trajetória solar de Brasília – DF (após 21 de junho). ....	65
Gráfico 5-7: Gráfico de radiação global horizontal de Brasília – DF (até 21 de junho). .....	66
Gráfico 5-8: Gráfico de radiação global horizontal de Brasília – DF (após 21 de junho). ....	67
Gráfico 5-9: Gráfico de radiação direta normal de Brasília – DF (até 21 de junho)...	68
Gráfico 5-10: Gráfico de radiação direta normal de Brasília – DF (após 21 de junho). .....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 5-1: Ângulo de inclinação recomendado para painéis fotovoltaicos. ....	48
Quadro 5-2: Custos do Sistema Solar Fotovoltaico otimizado. ....	56
Quadro 5-3: Vida útil dos equipamentos. ....	56
Quadro 5-4: Especificações do Termovisor FLIR I3. ....	71
Quadro 5-5: Especificações do painel Canadian Solar CS6P-265P. ....	73
Quadro 5-6: Especificações da câmera FLIR A325. ....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1: Irradiação solar diária média mensal. Cálculo no Plano Inclinado, Município: Brasília, DF - BRASIL. ....	50
Tabela 5-2: Número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta. ....	51
Tabela 5-3: Otimização do número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta. ....	54
Tabela 5-4: Dimensionamento dos inversores. ....	55
Tabela 5-5: Custo mensal pela eletricidade no PISAC.....	57

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVOS .....	18
2.1 <i>Objetivo geral</i> .....	18
2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. <i>Geração de energia elétrica e os recursos renováveis</i> .....	20
3.1.1. Hidrelétrica .....	20
3.1.2. Biomassa .....	22
3.1.3. Oceânica .....	23
3.1.4. Eólica .....	25
3.1.5. Solar .....	27
3.2. <i>Energia solar fotovoltaica</i> .....	28
3.2.1. Crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil .....	29
3.2.2. Gerações da tecnologia solar fotovoltaica .....	31
3.2.3. Regulação do setor elétrico e da geração solar distribuída .....	38
3.2.4. Energia solar fotovoltaica no Distrito Federal.....	40
4. METODOLOGIA .....	43
4.1 <i>Referencial Teórico</i> .....	44
4.2 <i>Simulações</i> .....	45
4.3 <i>Sistema solar fotovoltaico no Centro Universitário de Brasília</i> .....	45
5. ANÁLISES E RESULTADOS.....	46
5.1. <i>Simulações</i> .....	47
5.2. <i>Sistema solar fotovoltaico no UniCEUB</i> .....	69
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	78
6.1 <i>Conclusões</i> .....	78
6.2 <i>Sugestões para pesquisas futuras</i> .....	79

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
APÊNDICE .....	90
<i>Apêndice A: Análise de investimento do projeto.</i> .....	90
<i>Apêndice B: Relatórios de simulação.</i> .....	91
<i>Apêndice C: Simulação do painel solar Canadian Solar CS6K-270P</i> .....	95
<i>Apêndice D: Ferramenta de apoio para tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída.</i> .....	96
<i>Apêndice E: Simulação dos edifícios do PISAC.</i> .....	97
<i>Apêndice F: Simulações do Balanço de Carbono para os edifícios do PISAC.</i>	101
ANEXOS .....	103
<i>Anexo A: Tarifas de energia elétrica do mês de novembro.</i> .....	103

# 1. INTRODUÇÃO

A composição preponderante da matriz energética brasileira se mantém com a produção de eletricidade a partir das hidrelétricas, com um crescente consumo energético, saturando este modelo que predomina. Em longo prazo, estima-se que haja a expansão do acesso às energias renováveis como uma alternativa para a redução da poluição por carbono do setor energético aliado à diversificação da matriz (EPE, 2015).

A estrutura principal de geração de energia elétrica é suscetível a lapsos em seu sistema de transmissão e sensível a acidentes meteorológicos diante da sua extensão, como a interrupção de transmissão de energia elétrica em novembro de 2009 ocorrida na usina de Itaipu (ONS, 2012).

Com o intuito de conduzir o setor energético brasileiro a um patamar mais confiável no fornecimento de eletricidade, a diversificação na geração de energia elétrica se faz necessária. O aproveitamento adequado dos recursos naturais, maximizando o potencial energético é o que guia o país ao desenvolvimento sustentável, tornando seguro o fornecimento de eletricidade às gerações futuras (Carrillo-Hermosilla, Konnola; 2009).

A geração descentralizada de energia elétrica advinda do recurso solar sucederia na atenuação da sobrecarga do sistema hidráulico, principalmente em períodos de estiagem, além de contribuir para a complementação da matriz energética do país. Esta é uma maneira de facilitar o acesso da população ao conhecimento de soluções sustentáveis inseridas no setor elétrico (Greenpeace, 2010).

Os microgeradores de energia solar, com a tecnologia fotovoltaica, são sistemas de geração elétrica de pequena capacidade, comumente instalados para fornecer energia elétrica. A implantação de um microgerador nas residências tornou possível a geração de energia elétrica a partir do recurso solar. Com esse sistema ocorre a integração das unidades consumidoras e, ou produtoras de energia elétrica à rede (ANEEL, 2012).

No Brasil determinados locais ainda não dispõem de um sistema para interligação, com comunidades do interior do país carentes de atendimento energético. A ausência de abastecimento de eletricidade dessas áreas está associada às características particulares da classe rural, como pequenas vilas

isoladas, falta de infraestrutura apropriada, baixa densidade demográfica e renda inferior à média (ANEEL, 2011).

A microgeração de eletricidade é apontada como um modo de fornecer energia elétrica para comunidades isoladas, obtendo nos últimos anos incentivos para a geração distribuída, proporcionando a sua propagação para as áreas urbanas (ANEEL, 2012).

O conceito sustentabilidade inserido no setor elétrico compreende gerar energia elétrica de uma forma limpa objetivando o máximo aproveitamento do potencial energético de fontes de energia renováveis e a racionalização de consumos. O investimento em eficiência energética, com aplicação de tecnologias, colabora para o progresso e consequente suficiência energética (EREC, 2010).

Em virtude do compromisso mundial de redução das emissões de gases poluentes para a atmosfera, o emprego de fontes de energia renováveis configura-se em crescente desenvolvimento. Foi estimado que a geração solar distribuída fotovoltaica, em particular, crescesse aproximadamente mais de 300% até o final do ano de 2017, com hipótese de ritmo acelerado no progresso do setor com o decorrer dos anos (IDEAL, 2017).

De acordo com a Conferência das Partes, o Brasil comprometeu-se a diminuir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em 37% para 2025, com ano base em 2005. A intenção brasileira é de que, até 2030 haja a redução de 43% das emissões de GEE, utilizando a mesma base de comparação (COP 21, 2016).

De acordo com o cenário de geração elétrica atual do Brasil, o presente trabalho visa simular e modelar a utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída, com uso da tecnologia fotovoltaica nos sistemas conectados à rede elétrica.

Os dados empregados nas simulações serão do estudo de caso no Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído (PISAC), a ser implantado na Universidade de Brasília, que foi utilizado para o desenvolvimento da ferramenta. A ferramenta em uma árvore de decisão nos contextos técnico, econômico e socioambiental, que consiste em tomadas de decisão na implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede, sendo este um trabalho inicial desenvolvido pela autora.

Considerando que ações voltadas para a pesquisa tecnológica e inovação no setor de construção são fundamentais no desenvolvimento de tecnologias

sustentáveis, o PISAC que será edificado na Universidade de Brasília em parceria com o Laboratório do Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade (Lacis FAU/CDS/FGA) e apoio financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), uma forma de potencializar o desenvolvimento sustentável, alinhando processos produtivos em harmonia com o meio ambiente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Analisar um modelo de ferramenta de apoio à tomada de decisão para implantação de sistemas de geração solar distribuída em Brasília – DF, por meio de simulações.

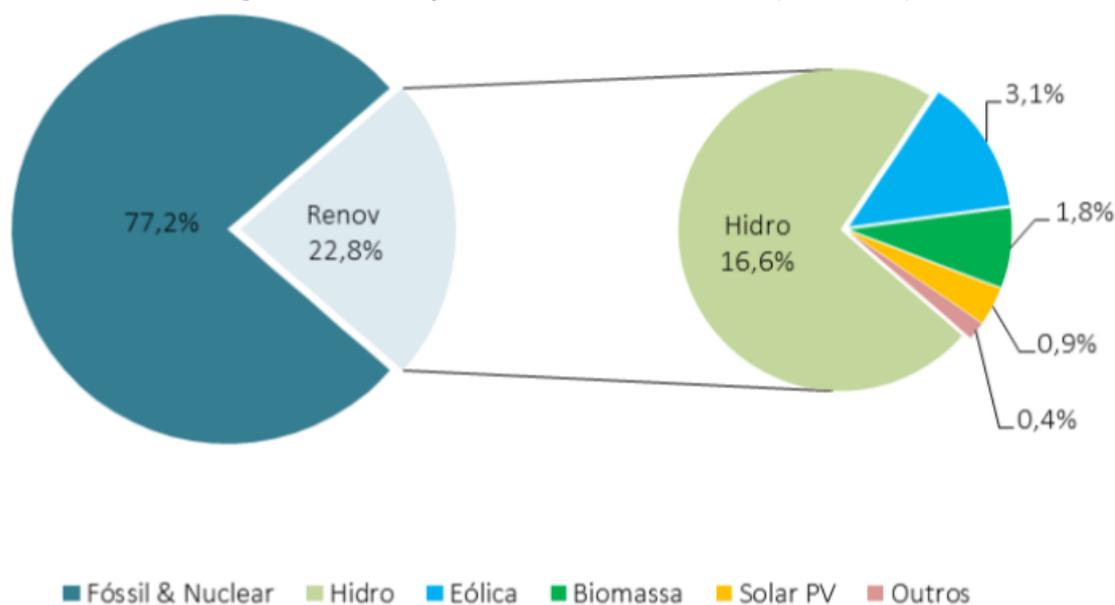
### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar o cenário da energia solar fotovoltaica no Distrito Federal;
- ✓ Comparar os resultados obtidos na aplicação da ferramenta com simulações em *softwares* utilizando dados de Brasília – DF;
- ✓ Analisar os dados solarimétricos do sistema fotovoltaico do *campus* Asa Norte do UniCEUB a fim de realizar aferições com os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta;
- ✓ Propor pesquisas futuras buscando melhorias nas aplicações da ferramenta em dimensionamentos de sistemas de geração solar fotovoltaica conectada à rede.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma produção global de 3900 TWh foi estimada no ano de 2014, no qual 77,2% é fóssil e nuclear e 22,8% de fontes renováveis. Na composição do total de energias renováveis, 16,6% é de hidrelétricas, 3,1% de eólica, 1,8% de biomassa, 0,9% de solar fotovoltaica e 0,4% de outras fontes (Figura 3-1) (REN21, 2015).

**Figura 3-1:** Produção de eletricidade em 2014 (3900 TWh).



**Fonte:** Renewables 2015, Global Status Report.

A matriz elétrica brasileira é capaz de se tornar 93% renovável até o ano de 2050, resultando em perspectivas positivas relativas ao crescimento do país. A taxa de consumo e de geração de energia elétrica seria ampliada a um nível maior em relação aos anos anteriores (GREENPEACE, 2010).

O futuro nacional e mundial está na dependência do redirecionamento dos subsídios, que eram destinados a fontes convencionais e combustíveis fósseis que são potencialmente poluentes, além de finitos, para fontes renováveis. É necessário que haja uma revolução energética em prol da sustentabilidade nos contextos social, ambiental e econômico (PNUMA, 2012).

É necessário o planejamento de expansão da energia elétrica do País fundamentado na utilização das energias renováveis para o suprimento energético. É vital orientar as ações e decisões dos agentes que atuam no setor no sentido de estimular a geração de eletricidade em bases técnica e ambientalmente sustentável (TOLMALQUIM, 2016).

### **3.1. Geração de energia elétrica e os recursos renováveis**

O aproveitamento elétrico das fontes hidráulica, eólica, solar e biomassa no Brasil, vêm apresentando para cada uma seu potencial de geração de energia elétrica e complementação da matriz energética. Privilegiar essas tecnologias e investir em eficiência energética é primordial para o desenvolvimento limpo do país.

Mundialmente, a expectativa é de que as energias renováveis mudem o cenário de geração de energia elétrica, substituindo de maneira gradativa a utilização de fontes fósseis. No âmbito nacional, estima-se que as energias eólica, solar e de biomassa apresentem maior e crescente participação na matriz elétrica brasileira (GREENPEACE, 2010).

#### **3.1.1. Hidrelétrica**

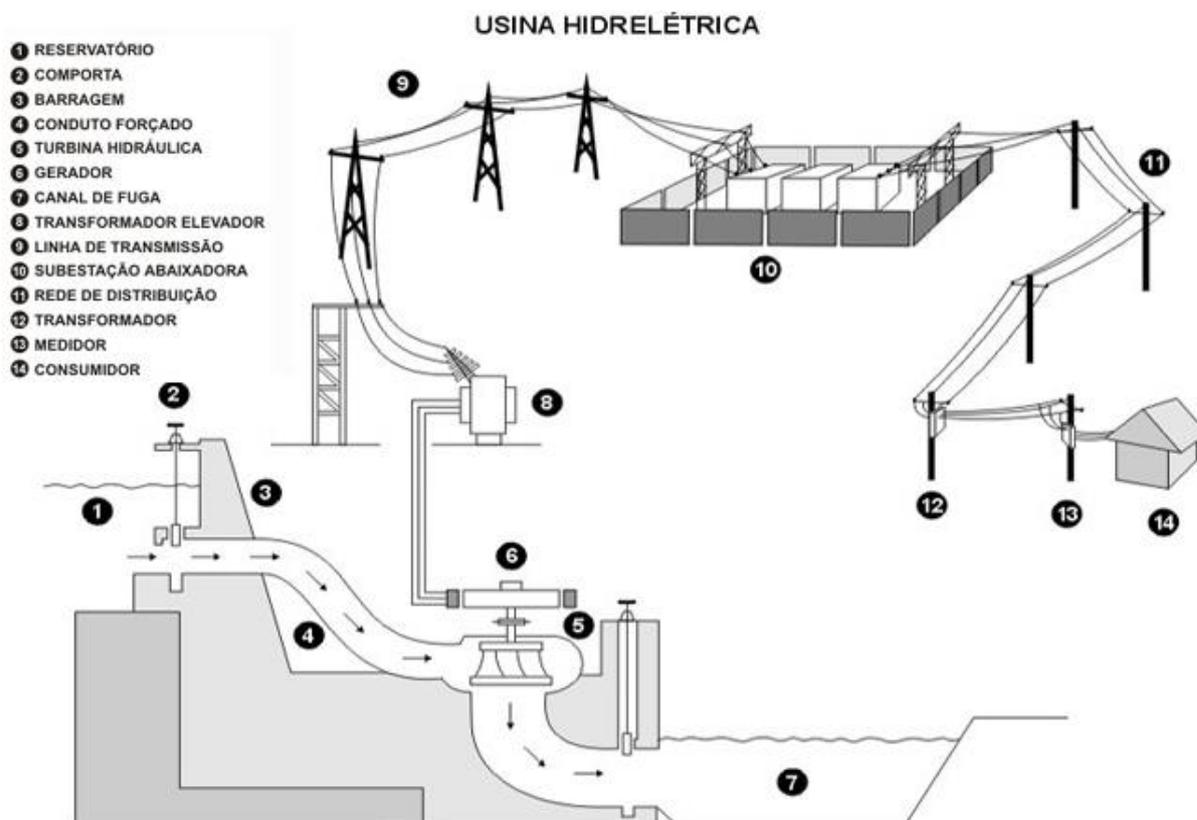
A geração de energia elétrica a partir do recurso hidráulico é principal fonte de geração que compõem a matriz elétrica do Brasil. A abundância deste recurso energético a nível nacional tornou essa fonte a mais explorada durante muito tempo no país, além de existir confiabilidade há a vantagem em relação às emissões de gases poluentes e efeito estufa, sendo uma fonte renovável de geração (REN21, 2015).

O funcionamento das usinas hidrelétricas é definido como a transformação de energia hidráulica, por meio do aproveitamento hidráulico de um rio, em energia elétrica a partir de um conjunto de obras e equipamentos. O potencial para a geração de eletricidade é proporcionado pela vazão do rio e a concentração dos desníveis ao longo do curso de água (ELETROBRÁS, 2001).

As usinas hidrelétricas possuem a capacidade de fornecer diversos serviços auxiliares, como o controle de tensão e de frequência, fatores fundamentais na segurança de atendimento da demanda de eletricidade com o padrão de qualidade desejado.

Basicamente, as partes que constituem uma usina hidrelétrica são a barragem, os sistemas de captação e adução de água, a casa de força e o sistema de restituição de água a leito natural do rio. Cada componente compõem um conjunto de obras e instalações que são projetadas de forma proporcional para conduzir a operação com eficiência (Figura 3-2).

**Figura 3-2:** Sistema Furnas de Geração e Transmissão.



Fonte: ELETROBRÁS (Furnas).

A disponibilidade do recurso hídrico em uma perspectiva futura pode ser afetada com o aquecimento global, gerando problemas de desertificações até enchentes. Dessa forma, alterações na disponibilidade deste recurso atingem pontualmente a produção de energia elétrica pelas hidrelétricas, diante da diminuição de vazão dos rios (PNUMA, 2012).

Com o crescimento do consumo de energia e o crescimento populacional, as pressões sobre o sistema terrestre aceleram, provocando a intensificação de mudanças às funções que sustentam a vida da sociedade e seu bem-estar. Algumas consequências graves já estão presentes com destaque para as enchentes, as secas, as mudanças de temperaturas e, conseqüente, o aumento do nível do mar (PNUMA, 2012).

Fomentar novas tecnologias como a solar, eólica e biomassa são alternativas promissoras quanto à diversificação da matriz energética, tendo em vista que grandes usinas hidrelétricas causam impactos significativos no ambiente e na sociedade. Alguns impactos que se destacam são os deslocamentos de comunidades, inundação de setores habitáveis, além da extinção da biodiversidade

local, bem como a limitação da utilização do potencial hidrelétrico (EREC, 2010; Greenpeace, 2010).

### **3.1.2. Biomassa**

O aproveitamento energético da biomassa foi primordial para o progresso da sociedade. Os próprios meios de obtenção dos recursos e uso pelo ser humano progrediram concomitantemente, como a lenha coletada para realizar a cocção de alimentos, proteção e aquecimento antigamente, e as práticas de produção no setor agropecuário e industrial, de transformação e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade na atualidade (TOLMASQUIM, 2016).

Há inúmeras vias tecnológicas para obtenção de energia elétrica a partir da biomassa. Consistem na conversão da matéria-prima em um produto intermediário que será utilizado em uma máquina motriz, que posteriormente produz a energia mecânica que aciona o gerador de eletricidade (ANEEL, 2008).

Os principais biocombustíveis brasileiros e que mais se destacam são o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar e o biodiesel produzido a partir da soja, mamona e sebo bovino. Além do biogás, proveniente de aterros sanitários, que também é um tipo de biomassa (ANP, 2018).

A biomassa é uma das fontes para produção de energia elétrica com grande potencial de crescimento futuro. A principal fonte de biomassa utilizada no Brasil para geração de eletricidade é o bagaço de cana de açúcar. Sua participação tem sido crescente no Brasil, como consequência do desenvolvimento da indústria do etanol e do açúcar (ANP, 2018).

No Brasil, uma das políticas que causaram impacto significativo no cenário de inserção dos biocombustíveis no mercado nacional foi o Programa Nacional de Álcool (Proálcool), criado em 1975. A indústria sucroenergética brasileira foi firmada e desenvolvida, resultando em uma referência mundial (GORDINHO, 2010).

O Proálcool é apontado como um programa precursor dos biocombustíveis, com o objetivo central de produzir um combustível alternativo para o país. Sua criação foi impulsionada pela ocorrência dos choques do petróleo em 1973 e 1979, que geraram o aumento de preços deste produto e seus derivados, causando fortes impactos no mercado de combustíveis (EPE, 2015).

O emprego dos biocombustíveis na matriz energética consiste em uma solução em prol da redução do consumo de fontes fósseis, principalmente no setor de

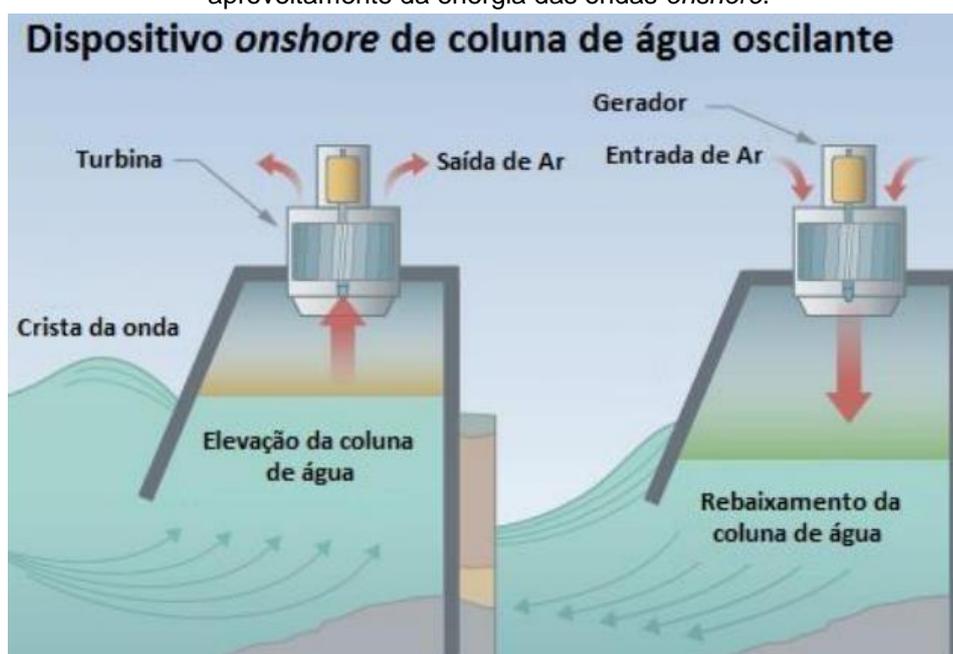
transportes. Entretanto, há o envolvimento de os problemas sociais e ambientais do país com a sua utilização. O etanol, se produzido dentro de rigorosos padrões socioambientais, possui capacidade de evoluir e expandir sua participação no setor de transportes como combustível alternativo (ÚNICA, 2007).

### 3.1.3. Oceânica

O oceano pode ser conceituado como um amplo reservatório que armazena energia térmica e mecânica. Contudo, em razão da baixa qualidade do calor presente no meio marinho, entropia (grau de desordem de um sistema) elevada, com o nível contemporâneo de desenvolvimento tecnológico, é possível que somente a energia mecânica seja aproveitada de forma eficiente (TOLMASQUIM, 2016).

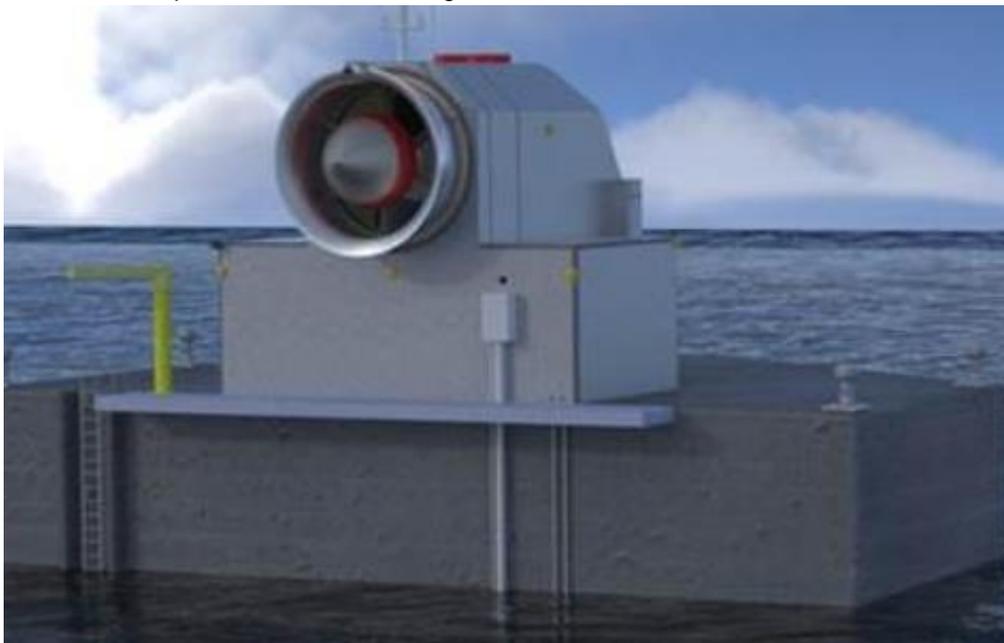
Existem vários dispositivos e distintas concepções para a conversão da energia das ondas em energia elétrica. Essa diversidade se dá em virtude do desenvolvimento específico para potencializar o aproveitamento em função das características locais e do regime de ondas. Os dispositivos podem estar situados na linha de costa (*onshore*), em regiões de águas rasas (*nearshore*) e em regiões oceânicas (*offshore*).

**Figura 3-3:** Princípio de funcionamento de dispositivo de coluna de água oscilante para aproveitamento da energia das ondas *onshore*.



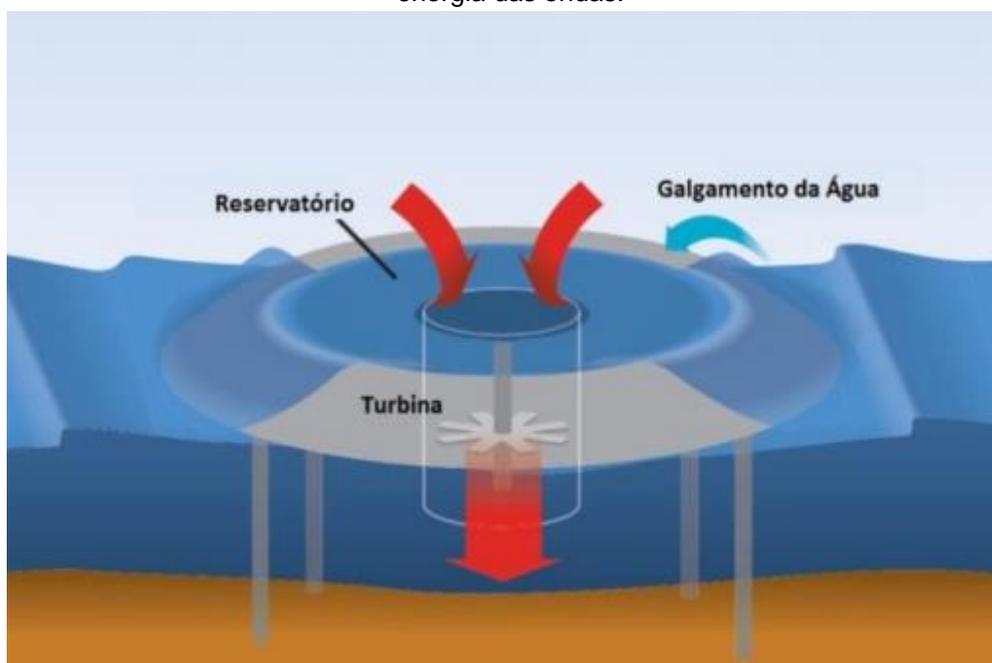
Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

**Figura 3-4:** Exemplo de dispositivo de coluna de água oscilante para aproveitamento da energia das ondas *nearshore*.



Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

**Figura 3-5:** Exemplo de dispositivo offshore de galgamento para aproveitamento da energia das ondas.



Fonte: TOLMASQUIM, 2016.

A geração de energia elétrica advinda dos oceanos é considerada limpa, de elevada densidade energética e com distribuição mundial. Futuramente, é uma fonte com perspectivas positivas de grande representatividade na matriz energética mundial. Além disso, há o potencial quanto à proximidade entre os centros de

geração e os de consumo, gerando ganhos consideráveis na redução das perdas pelas linhas de transmissão (COSTA, 2004).

Para ser possível tornar o preço da energia dos oceanos economicamente viável é necessário eliminar a barreira tecnológica existente. Neste contexto, os incentivos atuais estão direcionados às políticas nacionais de governo e P&D, uma vez que essa fonte energética não se encontra madura suficiente.

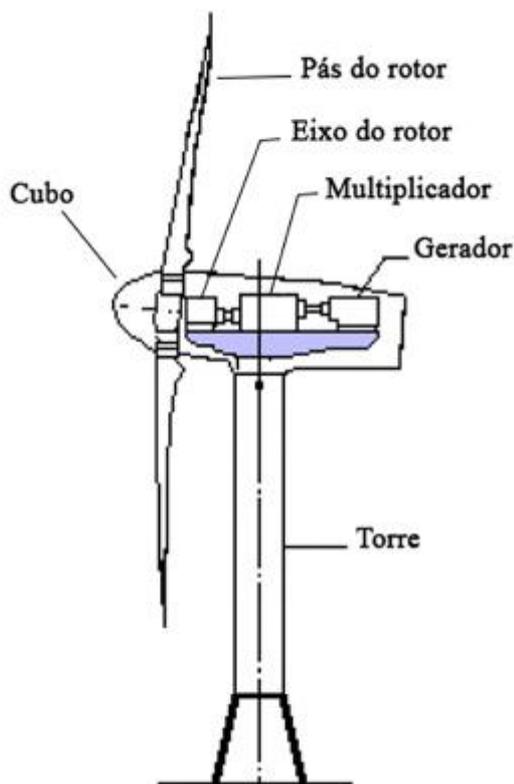
No caso do Brasil, o potencial de aproveitamento das marés para a geração de eletricidade está majoritariamente localizado no litoral dos estados do Maranhão, Pará e Amapá. Esse assunto ainda possui poucos estudos no país, sendo um fator limitante juntamente com o fato de estas regiões possuírem elevada relevância ambiental/turística (COPPE/UFRJ; *Seahorse Wave Energy*, 2013).

#### **3.1.4. Eólica**

As fontes renováveis intermitentes vêm sendo retratadas como possibilidades aos problemas de segurança energética, principalmente para países dependentes de combustíveis fósseis. Além disso, de maneira substancial, é uma alternativa em prol do atendimento à demanda dizimando as emissões de gases de efeito estufa, sobretudo nos países em que o potencial hidrelétrico já foi explorado o máximo possível.

O aproveitamento da energia eólica para geração de energia elétrica tem crescido exponencialmente no mundo nos últimos anos. O seu funcionamento consiste na conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, em que as massas de ar em movimento (vento) são o recurso renovável utilizado. Para a rotação são empregadas as turbinas eólicas (aerogeradores), para a geração de energia elétrica, ou cataventos (moinhos), utilizados, por exemplo, no bombeamento de água (ANEEL, 2017).

**Figura 3-6:** Principais componentes de um aerogerador.



**Fonte:** F. Hernández García, 2004.

As primeiras tentativas com projetos para a geração de eletricidade surgiram no final do século XIX. Entretanto, apenas um século depois, com a ocorrência da crise internacional do petróleo na década de 1970, é que decorreu o entusiasmo para investir no desenvolvimento e aplicação da energia eólica (CEPEL, 2017).

No Brasil, a participação da energia eólica na geração de energia elétrica ainda é pequena. Contudo, a geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas vem sendo evidenciada como uma alternativa para diversos níveis de demanda, despertando o interesse dos empreendedores, principalmente devido aos incentivos, com destaque para o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas (PROINFA).

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi criado em 2002, instituído pela Lei nº 10.438/2002. O seu objetivo foi impulsionar a diversificação da matriz energética nacional, com o intuito de viabilizar a segurança no abastecimento de eletricidade, além de enaltecer as características e potencialidades do país, a fim de gerar empregos, capacitação e formação de mão-de-obra e redução de emissão de gases de efeito estufa (BRASIL, 2002).

Há a possibilidade de complementaridade entre a geração hidrelétrica e a geração eólica, em que o maior potencial eólico está situado na região Nordeste,

com maiores aproveitamentos durante o período de menor disponibilidade hídrica. Com isso, há a diversificação da matriz elétrica brasileira e maior segurança quanto ao atendimento da demanda por energia elétrica (CEPEL, 2017).

Atualmente, no Brasil, há um total de 542 usinas eólicas em operação, com capacidade de geração considerável, em que a potência instalada medida se encontra em 13.311.243 kW. A maioria preponderante das usinas está situada na região nordeste do Brasil, avaliada com o maior potencial eólico nacional para a exploração e aproveitamento elétrico (BIG, 2018).

### **3.1.5. Solar**

A energia solar fotovoltaica ainda representa uma pequena parcela na matriz energética global, de quase 1%, entretanto possui destaque por suas perspectivas positivas. A utilização do sol, aliada às tecnologias para a geração elétrica vem conquistando o mercado da energia e introduzindo novos desafios ao sistema elétrico (REN21, 2015).

A energia solar fotovoltaica dirige-se a uma nova era, em que é evidenciado um considerável aumento na sua capacidade dentro das energias renováveis, com superioridade em relação à eólica e hidráulica, em um período dos próximos cinco anos. Esta é uma previsão otimista com o impulso advindo do decréscimo dos custos em relação à tecnologia e políticas de mercado (IEA, 2014).

Certamente, as empresas devem acompanhar as alterações no setor energético de modo simultâneo às alterações no ambiente, adaptando as estratégias do mercado competitivo ao cenário atual, assegurando suprimento de energia de forma sustentável (IRENA, 2017).

A pesquisa em energia solar fotovoltaica foi iniciada a partir da década de 1950, visando o desenvolvimento de células de silício cristalino e, mais tarde, os filmes finos (PINHO; GALDINO, 2014).

A intensificação da energia solar ocorreu em meados de 1970, com o aparecimento de inúmeros pesquisadores com estudo direcionado à tecnologia fotovoltaica, bem como o desenvolvimento de aplicações no campo das telecomunicações e em sistemas de bombeamento de água (TOLMASQUIM, 2016).

Na década de 1990, a tecnologia fotovoltaica começou a ser introduzida como uma solução para a falta de atendimento elétrico em locais isolados, com a criação pelo Ministério de Minas e Energia do PRODEEM – Programa de Desenvolvimento

Energético de Estados e Municípios, quatro anos depois. Possuía o objetivo de promover a eletrificação das zonas rurais por meio da fotovoltaica (MME, 1994).

Atualmente, há no Brasil 77 milhões de unidades consumidoras de eletricidade. De acordo com estimativas da EPE, no ano de 2016, a compensação de energia excedente gerada por sistemas de compensação de solar fotovoltaica atingiu 53,6 GWh com potência instalada de 56,9 MW (EPE, 2017).

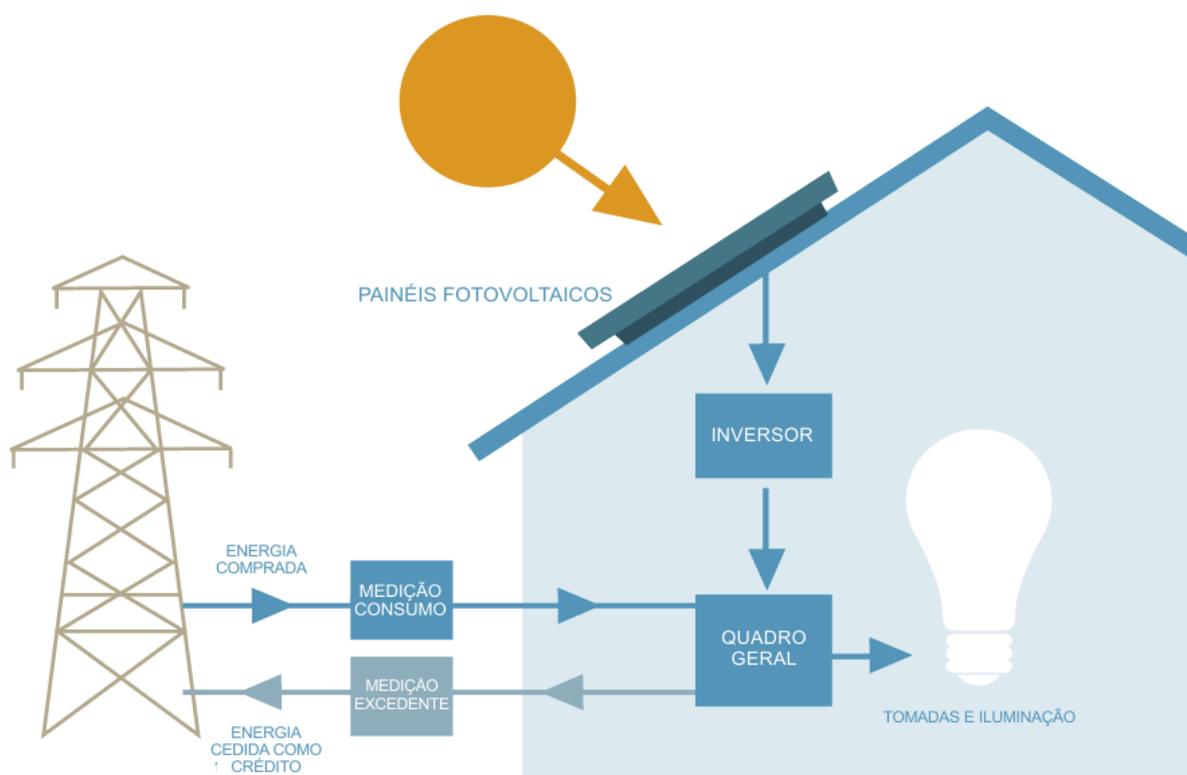
O território nacional está situado em região tropical com incidência vertical dos raios solares, tal condição que favorece elevados índices de irradiação solar em praticamente todo o país. Além disso, devido à proximidade à linha do equador há pouca variação na incidência solar durante o ano. Assim, mesmo no inverno é possível existir níveis de irradiação favoráveis (ANEEL, 2015).

### **3.2. Energia solar fotovoltaica**

O Sistema de geração solar distribuída fotovoltaica possui como princípio a captação da energia solar e posteriormente a conversão em eletricidade. É empregada no suprimento da rede elétrica, podendo ser em pequena escala, no caso de residências (uso doméstico), ou grande escala, nas usinas solares (uso comercial) (EPE, 2012).

Para a geração distribuída ocorrem dois tipos, o com a geração de energia conectada à rede (*on-grid*), e o segundo tipo denominado composto de um sistema isolado da rede elétrica (*off-grid*). Os sistemas conectados à rede elétrica dispensam o uso de baterias para armazenamento de energia. É a rede que possui o papel de suprir a necessidade energética em momentos de maior demanda e menor produção, em que este processo é integralmente dependente da rede (Figura 3-7) (ANEEL, 2004).

**Figura 3-7:** Funcionamento do sistema solar fotovoltaico conectado à rede.



**Fonte:** Smartly, Energia Sustentável.

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCRs) configuram-se de maneira padrão que contam com os painéis fotovoltaicos, o inversor de frequência e um medidor bidirecional que opera medindo o fluxo de energia elétrica que entra e sai da unidade geradora e ou consumidora.

O medidor bidirecional é encarregado de registrar a quantidade de energia elétrica gerada que é injetada na rede e pelo registro da eletricidade consumida pela unidade, ambas em kWh. No caso da microgeração, a distribuidora é incumbida de instalar e manter o sistema de medição de geração e consumo de eletricidade, além da operação e manutenção com possíveis custos de substituição contidos (ANEEL, 2016).

### 3.2.1. Crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil

Dentre os fatores responsáveis pelo crescimento do mercado solar fotovoltaico, há destaque para o conhecimento da sociedade perante os benefícios do emprego da energia solar principalmente em suas residências, a isenção de impostos e financiamentos aos motivados em instaurar o sistema, além das ocorrências dos

rações que torna necessária a redução dos gastos com energia elétrica (ANEEL, 2008).

Em um cenário de evolução, o custo da tecnologia que compõe o sistema solar fotovoltaico sofreu queda em torno de mais de 100 vezes desde 1950, superando a diminuição de custo qualquer outra tecnologia durante esse período. O resultado disto reflete no aumento da facilidade de acesso da população a esta tecnologia (GTM RESEARCH, 2016).

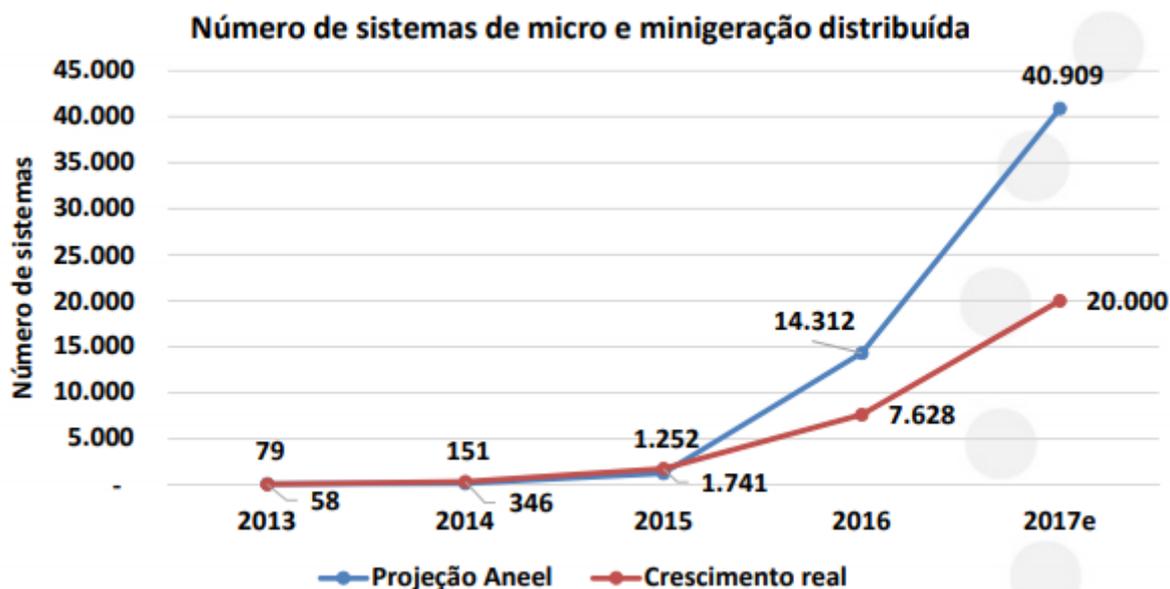
A energia solar fotovoltaica, quando conectada à rede de distribuição, fornece eletricidade a regiões que dependeriam e fariam uso do sistema de transmissão de alta voltagem. Com a produção energética descentralizada atenua-se a perda de eletricidade pelas extensas linhas de transmissão, que partem das usinas hidrelétricas até os centros consumidores (RÜTHER, 2004, p.7).

A ausência de abastecimento de energia elétrica no Brasil é um dos principais motivos da existência do baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da população de comunidades isoladas. Uma alternativa promissora é o emprego de recursos naturais para a produção de eletricidade com a aplicação de uma tecnologia (BERMANN, 2008).

A energia solar fotovoltaica é a maior geradora de empregos renováveis do mundo, em que em torno de 25 a 30 empregos diretos são gerados para cada MW instalado por ano. Sobressaem os setores de fabricação, instalação, desenvolvimento de projetos e vendas e distribuição (IRENA, 2017).

Até outubro de 2017, o total de sistemas de microgeração e minigeração distribuída fotovoltaica operacionais alcançou 16.000, representando apenas 0,02% das unidades consumidoras do país. No Gráfico 3-1 é apresentada uma comparação entre a projeção dos número dos sistemas no setor solar fotovoltaico e o crescimento real, com base nos dados de 2013 a 2017 da ANEEL.

**Gráfico 3-1:** Projeção ANEEL e crescimento real dos sistemas de micro e minigeração distribuída.



Fonte: ANEEL, 2017.

A complementariedade do abastecimento energético nacional conta com as fontes renováveis para compor e diversificar a matriz de energia elétrica. As hidrelétricas compõem a base da matriz, com as outras fontes associadas, configuram um cenário positivo para a segurança energética futura do país.

### 3.2.2. Gerações da tecnologia solar fotovoltaica

Dentre as variadas tecnologias existentes no cenário de módulos fotovoltaicos, considerando seus níveis de eficiência, os módulos fotovoltaicos de silício (Si) são os mais utilizados nos sistemas de geração distribuída. A eficiência de conversão das células fotovoltaicas é indicada pela proporção da radiação solar que incide sobre a superfície da célula que é convertida em eletricidade (GREEN et al., 2000).

Estes módulos podem ser formados por cristais monocristalinos, policristalinos ou amorfos. O processo de fabricação consiste no material semicondutor que se transforma de fato em uma célula fotovoltaica para que possa ser conectada em módulos (CEMIG, 2012).

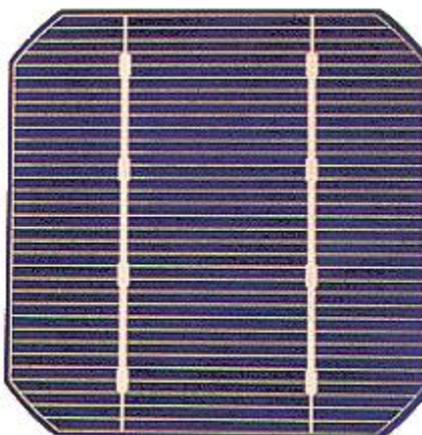
Alguns setores da indústria fotovoltaica classificam três tipos de gerações desta tecnologia. A primeira geração compreende as células de silício cristalino, a segunda o silício amorfo dos filmes finos inorgânicos e a terceira engloba as tecnologias orgânicas, os pontos quânticos, as células tandem/multi-junção, as células de

portadores quentes, células solares sensibilizadas por corantes e tecnologias de *upconversion* (ELY; SWART, 2014).

### 3.2.2.1. Primeira Geração

O silício monocristalino é o material mais empregado na constituição dos módulos fotovoltaicos, compreendendo em torno de 60% do mercado. A estrutura molecular cristalina é uniforme, e é ideal a utilização de um cristal único para maximizar o efeito fotovoltaico. Em geral, as células monocristalinas são as que apresentam as maiores eficiências, entretanto o processo de fabricação deste tipo de tecnologia é considerado dispendioso (CRESESB, 2008).

**Figura 3-8:** Célula de silício monocristalino.

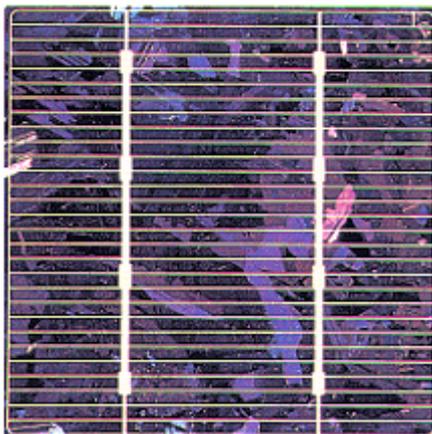


**Fonte:** CRESESB – CEPEL (2008).

As células constituídas de silício policristalino são menos onerosas do que as de silício monocristalino. O motivo é por demandarem um processo menos rigoroso de preparação das células. Porém, a eficiência é menor em relação às células de silício monocristalino (CRESESB, 2008).

As técnicas envolvidas no processo de fabricação das células de silício policristalino são iguais às utilizadas na fabricação das células de silício monocristalino, a diferença se encontra na necessidade de critérios de controle menos exigentes, que reflete no valor final de cada material.

**Figura 3-9:** Célula de silício policristalino.



Fonte: CRESESB – CEPEL (2008).

### 3.2.2.2. Segunda Geração

O silício amorfo apresenta custo relativamente menor, entretanto desenvolve eficiência inferior em comparação às de silício monocristalino e policristalino. A vantagem da célula amorfa é a sua flexibilidade para aplicações em superfícies curvas, sem que haja redução da potência gerada com o aumento da temperatura de operação, sendo viável a sua aplicação no Brasil, que apresenta elevadas temperaturas (CEMIG, 2012).

Os fatores positivos que tornam a tecnologia amorfa atrativa e positiva são o seu processo de fabricação que é relativamente simples e pouco oneroso, a possibilidade de fabricação de células em áreas amplas e o baixo consumo de energia elétrica na produção de seus módulos (CRESESB, 2008).

**Figura 3-10:** Filme fino, silício amorfo.



Fonte: solarparts.

A tecnologia de painéis de filmes finos utiliza o material composto de silício amorfo. Há a deposição de materiais semicondutores em suportes que geram em economia de material, atribuindo flexibilidade à célula. Os materiais dos suportes podem ser de vidro, polímeros, alumínio e aço (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Com o propósito de inovar nas tecnologias dos sistemas de geração de energia elétrica a partir de energias renováveis, mais especificadamente nos sistemas fotovoltaicos, estudos em busca de avanços tecnológicos são crescentes, explorando-se novos materiais e técnicas na área (CEMIG, 2012).

Os painéis de filmes finos podem ser divididos em três tipos de cadeias produtivas, sendo elas o silício amorfo, disseleneto de cobre e índio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe). Esta geração no cenário solar vem sendo difundida gradativamente e já representa em torno de 12% das instalações solares no mundo (PINHO; GALDINO, 2014).

### **3.2.2.3. Terceira Geração**

A terceira geração ainda está em fase de pesquisa e desenvolvimento, que em que pesquisadores buscam alcançar altos níveis de eficiência, utilizando como base a primeira e segunda geração. O emprego de materiais não tóxicos e abundantes compreendem as propostas desta geração, possibilitando grandes escalas de produção.

Alguns métodos estão disponíveis comercialmente, outros se apresentam em fase experimental. Mesmo sendo recente, a terceira geração apresenta potencial de alcançar eficiências maiores que as duas gerações anteriores a menores custos (BAXTER, 2012).

- **Tecnologias orgânicas**

Células orgânicas fotovoltaicas são constituídas com a multijunção de dois materiais orgânicos (molecular ou polimérico). Comercialmente, o interesse é alto em produzir células com essa tecnologia, entretanto as eficiências demonstradas até então são baixas inviabilizando a competição no mercado fotovoltaico (CSEM BRASIL, 2017).

**Figura 3-11:** Célula orgânica fotovoltaica.



**Fonte:** CSEM Brasil.

Nas edificações, a aplicação das células orgânicas fotovoltaicas é promissora na perspectiva industrial, devido ao fato de apresentarem a característica de semi transparência e de adequar bem na construção.

- **Células solares sensibilizadas por corante**

As células solares sensibilizadas a corantes (DSSC), também chamadas de células solares de *Grätzel*, compõem o grupo das células solares de filmes finos. Destacam-se pelo seu baixo custo e por empregarem materiais abundantes e não tóxicos em sua composição. Em comparação com as células de silício amorfo, a eficiência apresentada pela tecnologia DSSC é baixa, além da estabilidade que é um fator que deve ser otimizado (PATHAK, 2014).

**Figura 3-12:** Célula solar sensibilizada a corante.



**Fonte:** Solarquotes.

Pesquisadores vêm desenvolvendo estudos no ramo de descobertas de sensibilizadores naturais para a cadeia produtiva da energia solar, como o betacianina, antocianina e a clorofila. Esses insumos contam com um processo de fabricação simplificado, incluindo características de baixo custo, não toxicidade e biodegradação. O objetivo central é a melhoria da eficiência com base comparativa das células de silício (KIM; CHUNG, 2013).

- **Células solares de pontos quânticos**

Com o intuito de aprimorar os níveis de eficiência das células solares sensibilizadas a corante foi desenvolvida a célula solar a pontos quânticos (QDSSCs). Apresentam características de múltipla geração de éxcitons, estabilidade e possibilidade de controle da energia de banda proibida, por meio do ajuste do tamanho dos pontos quânticos, possibilitando a absorção do espectro solar do da banda do visível ao infravermelho (KOUHNAVARD, 2014).

- **Células tandem/multi-junção**

As células multijunção, também chamadas de tandem, são compostas de células solares que empilhadas umas sobre as outras maximizam a captação da luz solar. O princípio de funcionamento se baseia em múltiplas camadas com diferentes níveis energéticos (MARKVART; CASTAÑER, 2006).

**Figura 3-13:** Módulo composto por multijunção, concentrado (CPV).



Fonte: *Green Optimistic*.

As multijunções configuram uma oportunidade de exploração nos estudos de concepção das células fotovoltaicas, com potencialização de sua eficiência utilizando materiais com índices elevados de sensibilidade espectral e absorção sem perdas consideráveis.

- **Células de portadores quentes**

As células de portadores quentes foram criadas com o objetivo de reduzir as perdas de energia no que concerne à refrigeração do portador, além de aperfeiçoar as condições de seletividade do portador para os contatos seletivos e o desempenho do dispositivo macroscópico (KÖNIG et al., 2010).

Os portadores são excitados a níveis superiores por meio do fenômeno da absorção. Quando atingem esse estado são conhecidos como portadores quentes. Os portadores são resfriados pelo processo de resfriamento (termalização) com

duração de picosegundos, Este processo ocorre muito rápido, o que impede que haja a coleta de elétrons e buracos pelos contatos, sendo que assim há o aumento da eficiência dos dispositivos fotovoltaicos.

Mesmo apresentando desafios no contexto de desenvolvimento da célula solar de portador quente, é evidente a perspectiva promissora de crescimento envolvendo a maior eficiência dentre todas as tecnologias que compõem a terceira geração na energia solar fotovoltaica (GREEN, et al., 2010).

- **Tecnologias de *upconversion***

A tecnologia de *upconversion*, também chamada de princípio ascendente espectral, consiste na conversão ascendente de fótons para as células solares. O processo ocorre com a presença de dois fótons de baixa energia que são absorvidos e convertidos em um único fóton, mas contendo energia superior a inicial. Assim, é possível alcançar a camada de condução excitando um par elétron-hole e aumentando a eficiência da célula solar (SMETS et al., 2016).

Recomenda-se posicionar as camadas de conversão ascendente na parte traseira, com o intuito de impossibilitar que elas sejam irradiadas por fótons de alta energia, levando a redução da sua vida útil. Além disso, se as camadas fossem colocadas na frente da célula solar ocorreria a absorção parasita, trazendo prejuízo ao material.

### **3.2.3. Regulação do setor elétrico e da geração solar distribuída**

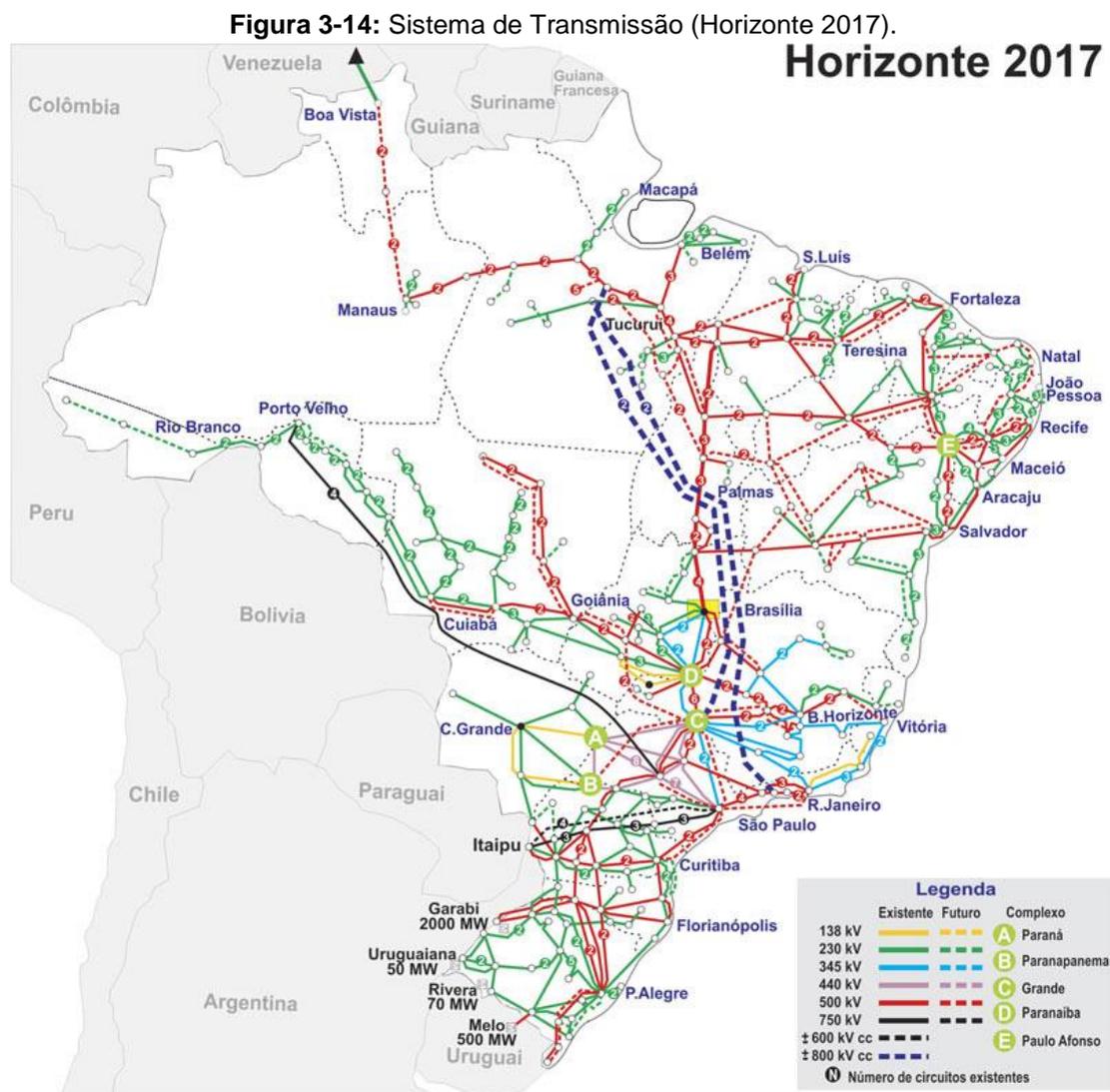
As orientações para o uso e exploração dos serviços da área de energia elétrica do Governo Federal são de responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Compete à ANEEL estabelecer parâmetros de qualidade para o atendimento e a segurança de cada região do país, de forma a suprir as necessidades técnicas, econômicas e ambientais. Aliado a isso, é essencial que haja o uso eficaz e eficiente da energia elétrica, bem como proporcionar a livre concorrência no mercado (ANEEL, 2015).

A regulação técnica de distribuição brasileira é coordenada pela Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição – SRD. Há 114 distribuidoras de energia elétrica, sendo 63 concessionárias e 38 permissionárias, e outras 13 são as cooperativas de eletrificação rural, que ainda estão em processo para se tornarem concessionárias ou permissionárias (ANEEL, 2015).

No planejamento e programação da operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é quem atua, com regulação e fiscalização realizada pela ANEEL (ONS, 1998).

O conjunto de instalações e de equipamentos que tornam possível o suprimento de energia elétrica nas regiões do país é o denominado Sistema Interligado Nacional. Os sistemas são interligados eletricamente, de acordo com a Resolução Normativa ANEEL nº 622 de 19 de agosto de 2014 (ANEEL, 2017).

O SIN é um sistema de geração e transmissão de energia elétrica, que engloba as cinco regiões do Brasil. A coordenação e controle pertencem à ONS, e já a ANEEL é quem deve definir os procedimentos e os requisitos necessários à realização da regulação e fiscalização (ONS, 2017).



Fonte: ONS, 2017.

A Resolução Normativa da ANEEL nº 482 de 2012 consiste na criação da regulamentação dos créditos de energia solar que compõem o Sistema de Compensação. O funcionamento é o seguinte, a energia elétrica gerada é “emprestada” à distribuidora que compensa a unidade geradora e consumidora sobre o seu consumo de eletricidade por meio de créditos de energia, ambos em *Watts* (ANEEL, 2012).

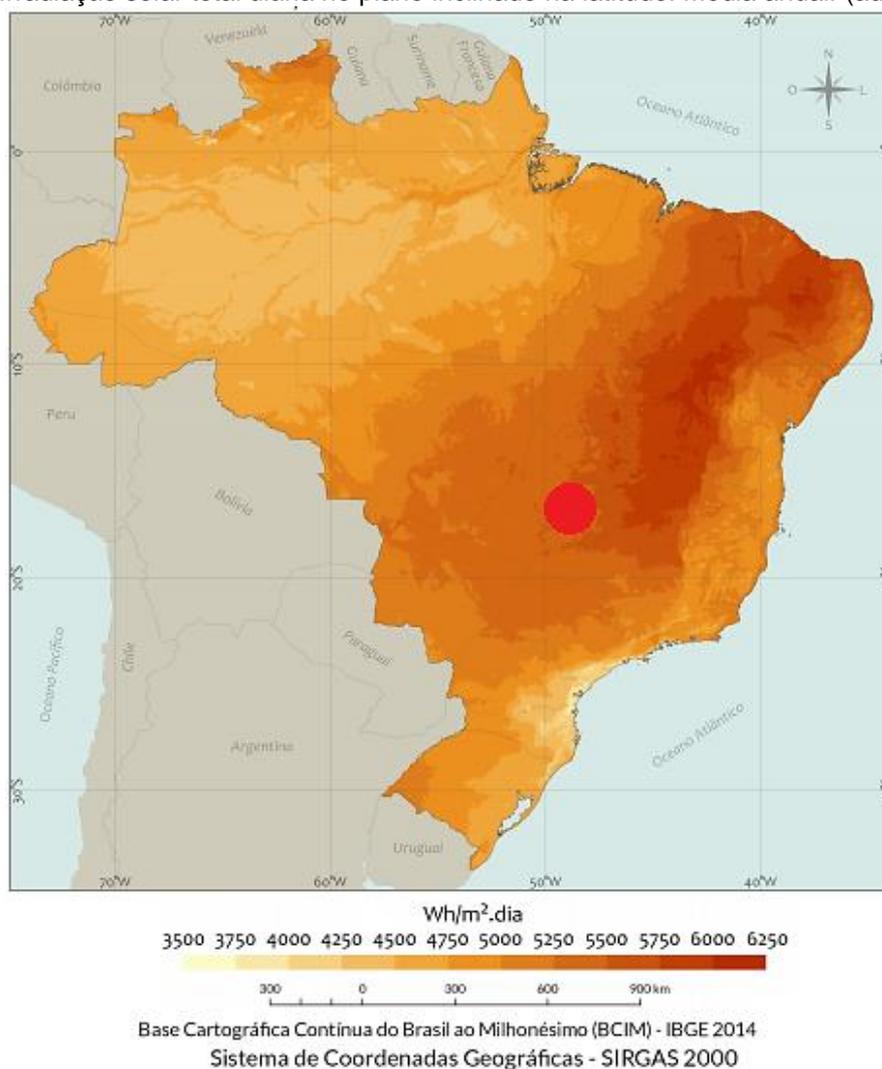
O aproveitamento da fonte solar se tornou mais relevante com a criação da Resolução Normativa nº 482/2012 pela ANEEL. Tornou possível que todo e qualquer cidadão utilizasse o seu telhado para instalar o sistema solar fotovoltaico para a autoprodução de energia elétrica e obtenção de descontos no consumo de eletricidade. Esse incentivo impulsionou a energia solar no país para a geração distribuída (ANEEL, 2012).

### **3.2.4. Energia solar fotovoltaica no Distrito Federal**

A capital federal Brasília possui amplo potencial de geração de energia elétrica a partir do recurso solar aliado à tecnologia fotovoltaica. Dentre os fatores que favorecem a geração em território brasiliense destaca-se a sua localização geográfica com elevada taxa de irradiação em uma pequena extensão territorial.

A irradiação de Brasília é considerada excelente na região Centro-Oeste e até mesmo no Brasil, semelhando-se à capacidade de aproveitamento identificado no Sudeste e Nordeste. A capital federal possui mais de seis meses de seca durante o ano o que caracteriza maior aptidão para o desenvolvimento da energia solar no local (MATHYAS; SHAYANI, 2016).

**Figura 3-15:** Irradiação solar total diária no plano inclinado na latitude. Média anual. (adaptado)



**Fonte:** Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Edição.

A localização do Distrito Federal e as suas características climáticas favorecem a aplicação da energia solar fotovoltaica como mostra a Figura 3-15. Em relação ao plano inclinado, em que ocorre o máximo de aproveitamento, a média anual de irradiação solar apresentada é de 5,28 kWh/m<sup>2</sup> (CRESESB, 2018).

O Distrito Federal detém 5.780 km<sup>2</sup> de área territorial, em que apenas 24 km<sup>2</sup> seriam suficientes para a geração de eletricidade demandada. Em referência percentual, 0,41% da área do DF seria suficiente para a implantação dos sistemas fotovoltaicos a fim de gerar energia elétrica para atender à demanda de consumo da Capital Federal (MATHYAS; SHAYANI, 2016).

A parcela majoritária de eletricidade auferida por Brasília é advinda das hidrelétricas situadas em locais distantes do Distrito Federal. A Usina Hidrelétrica de Furnas abastece em torno de 80% de energia elétrica, e os outros 20% são

provenientes da Usina de Itaipu. Estima-se risco futuro de fornecimento energético em virtude das irregularidades de vazão já manifestadas pelas usinas hidrelétricas, tornando necessária a diversificação na matriz elétrica brasileira (FCPC, 2015).

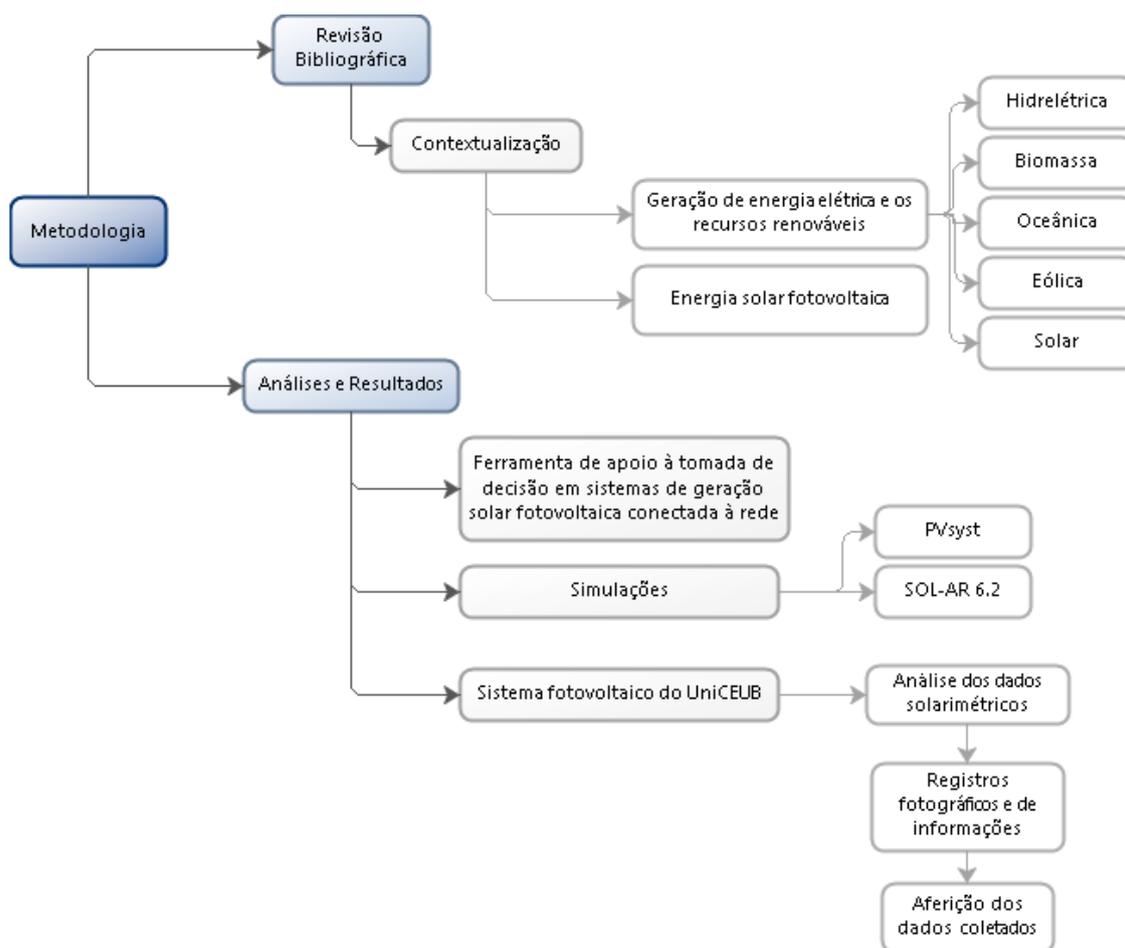
O governo de Brasília, junto à Política Distrital de Mudanças Climáticas, tem como meta a atenuação das emissões de gases de efeito estufa, em debate com os setores organizados da sociedade. A criação e implantação do Programa Energia para o Desenvolvimento Sustentável e o Programa Brasília Solar compreendem parte de um projeto estratégico de geração de energia elétrica descentralizada (SEMA, 2016).

O objetivo geral deste trabalho é analisar por meio de simulações um modelo de ferramenta de apoio à tomada de decisão para implantação de sistemas de geração solar distribuída em Brasília – DF.

## 4. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos neste Trabalho de Conclusão de Curso, foram necessários os seguintes passos metodológicos:

- Fundamentar o referencial teórico com caracterização dos cenários de geração de energia elétrica a partir do recurso solar;
- Caracterizar do cenário da energia solar distribuída fotovoltaica no Distrito Federal;
- Simular utilizando os *softwares PVsyst e Analysis Solar 6.2* os dados de Brasília-DF e do PISAC e comparar os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta de apoio à tomada de decisão em sistemas de geração solar fotovoltaica no PISAC;
- Analisar os dados solarimétricos do sistema fotovoltaico conectado à rede implantado no Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) *campus* Asa Norte a fim de realizar aferições com os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta.



**Figura 4-1:** Esquema metodológico.  
**Fonte:** autora, 2018.

## 4.1 Referencial Teórico

A fundamentação teórica foi realizada a partir do levantamento de dados secundários em plataformas de pesquisa, como o Google Acadêmico, Portal Periódico CAPES, pesquisas em livros, pesquisas em sites institucionais como a Agência Nacional de Energia Elétrica, Operador Nacional do Sistema Elétrico, Eletrobrás, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, Ministério do Meio Ambiente, Ministério de Minas e Energia, Organização das Nações Unidas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, e periódicos. O armazenamento da bibliografia utilizada para a realização deste trabalho foi organizada com o auxílio da ferramenta *Mendeley*, facilitando tanto na formatação quanto no manuseio dos documentos.

## 4.2 Simulações

As simulações realizadas neste trabalho foram executadas no *software* fotovoltaico *PVsyst* versão 6.7.5. É uma ferramenta que permite ao usuário analisar com precisão diferentes configurações, e avaliar os resultados e identificar a melhor solução possível. Os dados utilizados para as simulações foram do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.

Além disso, o *software Analysis SOL-AR* foi utilizado para a obtenção da carta solar da latitude especificada. Esta ferramenta auxilia no projeto de proteções solares por meio da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação. Este software foi utilizado para realizar uma análise comparativa dos dados solarimétricos de Brasília-DF empregados na aplicação da ferramenta de apoio com os dados simulados.

## 4.3 Sistema solar fotovoltaico no Centro Universitário de Brasília

O sistema solar fotovoltaico instalado no Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) *campus* Asa Norte foi utilizado como metodologia de comparação de dados por meio de visitação com registros fotográficos, coleta de dados solarimétricos e de funcionamento do sistema e comparação com a literatura. Para identificar a radiação local em comparação foram coletados dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB).

Para esta avaliação foram realizadas visitas de campo ao sistema solar fotovoltaico conectado à rede no UniCEUB no mês de setembro de 2018 no período vespertino.

Com o objetivo de identificar possíveis melhorias no sistema instalado foram realizadas inspeções visuais, registros fotográficos e questionamentos aos funcionários do sistema.

## 5. ANÁLISES E RESULTADOS

O capítulo de análises e resultados foi dividido em duas partes: simulações no *software PVsyst* utilizando os dados do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído (PISAC) localizado na Universidade de Brasília (UnB), com comparações dos resultados alcançados utilizando a ferramenta em modelo teórico e com o *software*, e o sistema solar fotovoltaico no UniCEUB *campus* Asa Norte como laboratório para a realização de testes reais para obter aferições dos dados solarimétricos e funcionamento do sistema.

Uma ferramenta de apoio à tomada de decisão em sistemas de geração solar distribuída com a tecnologia fotovoltaica foi desenvolvida pela autora em um trabalho inicial pela Universidade de Brasília intitulado Desenvolvimento de Ferramenta de Apoio para Dimensionamento de Sistema de Geração Fotovoltaica Para Construção Sustentável.

Foram considerados os critérios técnicos de dimensionamento do sistema e de perspectiva financeira visando à implantação do sistema solar fotovoltaico no local desejado. Para a definição da ferramenta foram mapeados os vários processos inerentes ao projeto de execução.

A metodologia de auxílio *Balanced ScoreCard* foi aplicada na composição do trabalho inicial. Consiste em uma metodologia de medição e gestão de desempenho desenvolvida por Robert Kaplan e David Norton (KAPLAN; NORTON, 1997).

Para a construção da árvore de decisões foi utilizado o *software Bizage Modeler* a fim de proporcionar a configuração desejada da ferramenta para sistemas de geração solar distribuída.

O desenvolvimento da ferramenta foi realizado no Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído (PISAC) como estudo de caso, baseado no referencial teórico.

O PISAC é um projeto que recebe apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e é resultado de uma parceria que envolve o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTIC), a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o *Building Research Establishment* (BRE/UK), a Universidade de Brasília (UnB), por meio do Laboratório do

Ambiente Construído, Inclusão e Sustentabilidade (Lacis FAU/CDS/FGA), que coordena o projeto no âmbito do convênio UnB e FINEP, com o apoio do Centro de Excelência Comunidades Integradas Sustentáveis da BRE TRUST/UnB (BLUMENSCHNEIN et. al, 2017).

O PISAC é um parque com investimento em tecnologia e inovação, localizado em um ambiente de ensino e aprendizado (Universidade de Brasília), promovendo a integração de agentes e soluções por meio da inclusão da infraestrutura de pesquisa no país.

**Figura 5-1:** Renderização do Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.



**Fonte:** PISAC, UnB (2018).

O desenvolvimento da ferramenta visa à aplicação geral em sistemas de geração solar distribuída (Apêndice D). Alterações nas informações e dados pertinentes ao PISAC para a aplicação da ferramenta de apoio não inviabiliza a sua validação, tendo em vista a tomada de decisão em um aspecto amplo.

Serão comparados os resultados obtidos no modelo teórico com simulações em softwares utilizando dados de Brasília. Por fim, serão apontadas propostas de melhorias na ferramenta de dimensionamentos de sistemas de geração solar fotovoltaica.

## 5.1. Simulações

Este capítulo aborda as simulações no *software PVsyst* envolve análises com precisão de diferentes configurações, avaliação dos resultados e identificação da melhor solução possível. Além disso, foram otimizadas as configurações buscando melhorias no desempenho do sistema.

É importante examinar durante o processo de pré-instalação a melhor localização do gerador fotovoltaico. Recomenda-se que os painéis fotovoltaicos sejam instalados o mais próximo possível do local de uso da eletricidade para evitar as perdas devido à queda de tensão nos cabos em casos de sistemas *off-grid* e em locais de boa incidência de radiação solar, sendo avaliado o efeito de sombreamento provocado pela sombra das placas nas adjacentes (CEPEL-CRESESB, 2004).

A inclinação do módulo fotovoltaico para o melhor aproveitamento da incidência solar deve ser orientada em função da latitude do local onde ele será instalado, como mostra o Quadro 5-1. Não se recomenda a instalação com ângulos de inclinação inferiores a 10° para evitar acúmulo de poeira sobre as placas fotovoltaicas.

**Quadro 5-1:** Ângulo de inclinação recomendado para painéis fotovoltaicos.

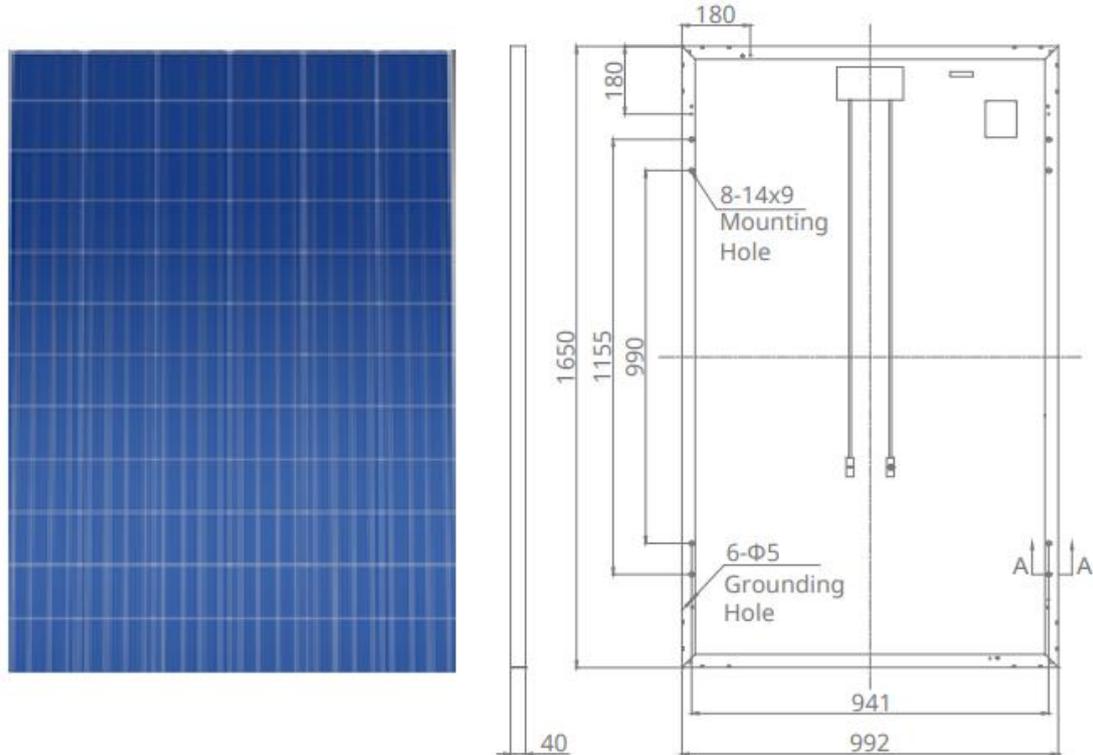
<b>Latitude do local</b>	<b>Ângulo de inclinação recomendado</b>
0° a 10°	10°
11° a 20°	Latitude
21° a 30°	Latitude + 5°
31° a 40°	Latitude + 10°
> 41°	Latitude + 15°

**Fonte:** *Installation and Safety Manual of the Bosch Solar Modules.*

Os painéis solares dimensionados para este projeto serão instalados com inclinação igual à latitude (15°) voltados para o norte geográfico, tendo em vista e que a latitude da Universidade de Brasília é 15° 45' 45,6" S

O painel estipulado para o projeto foi o *Canadian Solar CS6K – 270 P*. O tipo de célula é policristalino com um total de 60 células e conector T4-1000V ou PV2 séries.

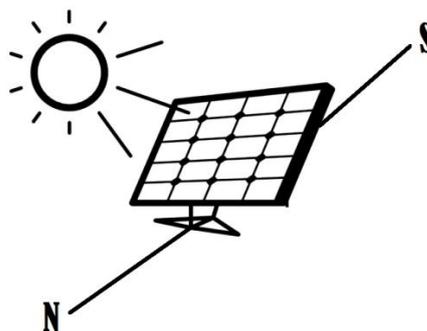
**Figura 5-2:** Informações sobre a placa Canadian Solar CS6K – 270 P.



Fonte: Canadian Solar.

Para o melhor aproveitamento da incidência solar, a maneira mais apropriada para instalar um módulo solar de modo fixo no Brasil é orientá-lo com sua face voltada para o Norte geográfico, como mostrado na Figura 5-3 (CRESESB, 2006).

**Figura 5-3:** Orientação do painel fotovoltaico.



Por meio da posição geográfica da instalação das células fotovoltaicas é possível obter a irradiação solar, em kWh/m<sup>2</sup>.dia, correspondente às diárias médias mensais para os 12 meses do ano, para os locais em estudo.

Considerando as coordenadas geográficas da Universidade de Brasília como ponto de referência, obteve-se o gráfico da irradiação solar, de acordo com a Tabela 5-1.

**Tabela 5-1:** Irradiação solar diária média mensal. Cálculo no Plano Inclinado, Município: Brasília, DF - BRASIL.

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	5,4	5,74	5,05	5,1	4,8	4,7	5	5,77	5,7	5,59	5,08	5,44	5,28
Ângulo igual a latitude	16° N	5	5,5	5,1	5,5	5,6	5,6	5,8	6,47	5,9	5,45	4,75	4,98	5,47
Maior média anual	18° N	4,9	5,45	5,08	5,5	5,6	5,7	5,9	6,53	5,9	5,41	4,69	4,9	5,47
Maior mínimo mensal	5° N	5,3	5,7	5,1	5,2	5,1	5	5,3	6,03	5,8	5,58	5	5,32	5,37

Fonte: CRESESB, *sundata* (2018).

As placas fotovoltaicas devem ser distribuídas entre os quatro edifícios que compõem o PISAC, conforme a sua área disponível (Figura 5-4).

**Figura 5-4:** Quatro edifícios que compõem o Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído.



Fonte: DE MELO CESAR, 2018.

De acordo com as áreas disponíveis de cada edifício foi elaborada a

Tabela 5-2 com a distribuição do número de placas que cada área de cobertura comporta.

**Tabela 5-2:** Número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta.

Edifícios	Área Total de cobertura (m <sup>2</sup> )	Espaçamento (m)	Área Utilizada (m <sup>2</sup> )	Nº de strings	Nº de strings utilizados	Nº de painéis	Nº de painéis utilizados	Placas totais
Recepção	370,440	0,512	214,843	11	7	13	13	91
Auditório	733,320	0,512	475,200	10	8	29	25	200
Escritórios	601,750	0,512	478,691	11	10	22	20	200
Áreas molhadas	612,360	0,512	429,792	10	9	24	20	180
								<b>671</b>

**Fonte:** autora, 2018.

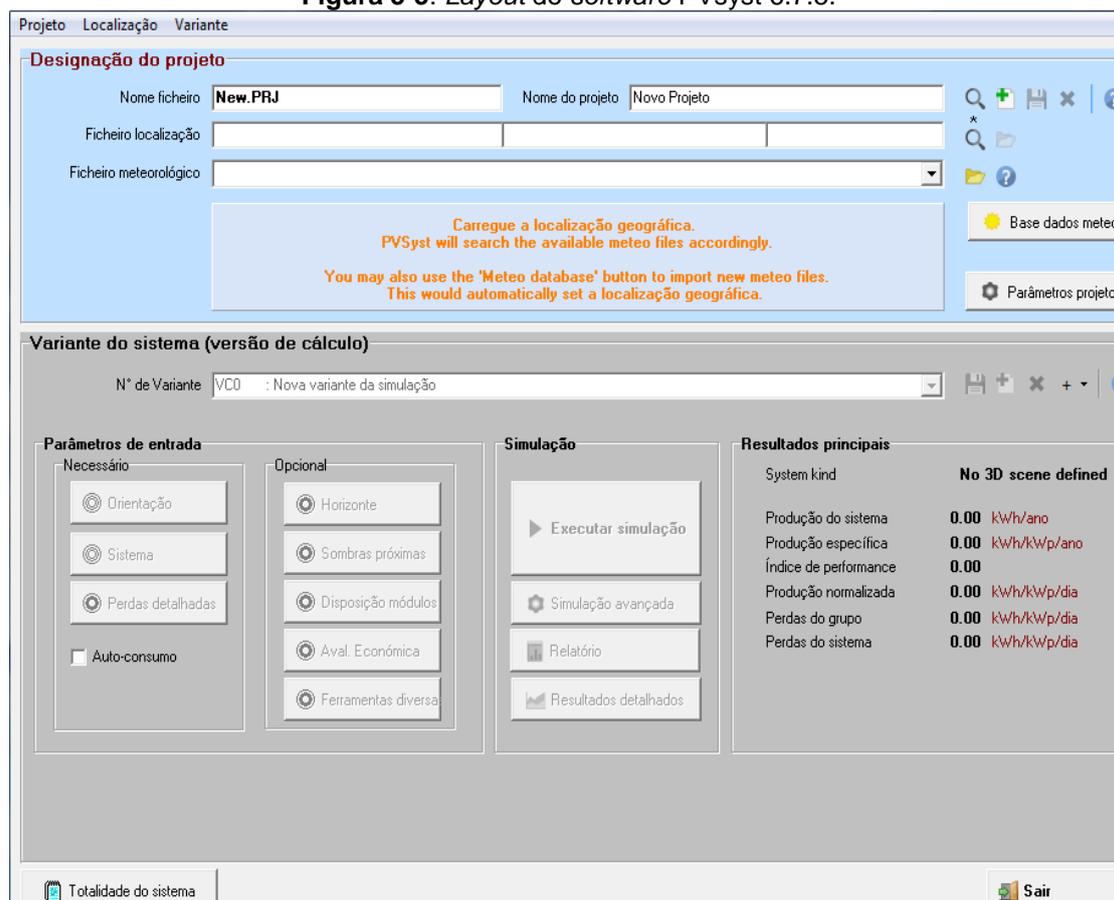
Com a utilização da ferramenta *Power-One Aurora Stringsizer* foi realizado inicialmente o *design* do sistema fotovoltaico para os quatro edifícios. Com o intuito de otimizar a configuração buscando potencializar o sistema foi utilizado o *software PVsyst* obtendo uma nova tabela com a distribuição do número de placas.

O *PVsyst* apresenta os resultados na forma de um relatório completo, gráficos e tabelas específicos, e os dados podem ser exportados para uso em outro *software*. Esta ferramenta permite ao usuário analisar com precisão diferentes configurações e avaliar os resultados e identificar a melhor solução possível.

Ele inclui um *menu* de auxílio contextual que esclarece os procedimentos e modelos que são utilizados e disponibiliza uma abordagem amigável com o guia para desenvolver um projeto. O *PVsyst* é capaz de importar dados *meteo* de várias fontes diferentes, bem como dados pessoais.

O *layout* do *software*, na Figura 5-5, exibe o painel principal para a realização das simulações. A inserção dos dados da localização geográfica é feita por meio da base de dados interna do programa. A interface do *software* possui diversas ferramentas educacionais e possibilita a comparação da simulação com resultados medidos.

Figura 5-5: Layout do software PVsyst 6.7.5.



Fonte: PVsyst.

A base de dados é capaz de importar as informações locais como latitude, longitude e altitude. Os valores identificados pelo *software* coincidem com a literatura, com -15,78 de latitude e -47,93 de longitude.

Figura 5-6: Valores de latitude e longitude de Brasília – DF.



Fonte: Google Maps.

A capital federal Brasília no Distrito Federal localiza-se em 15° 46' 48" Sul e 47° 55' 45" Oeste (latitude: -15.7801, longitude: -47.9292). A altitude de Brasília é de 1.130 m apresentando clima tropical com estação seca (Classificação climática de Köppen-Geiger).

As coordenadas geográficas são identificadas pelo *software* de maneira automática a partir de uma base de dados interna. A localização utilizada é a de Brasília no Brasil inserido na região da América do Sul.

**Figura 5-7:** Inserção das informações geográficas do local desejado.

Geographic site parameters for Brasília (Pvsyst original database)

Geographical Coordinates | Meteorologia mensal | Mapa interativo

**Local**

Localização: Brasília

País: Brasil | Região: América do Sul

**Coordenadas geográficas**

Trajétórias do sol

	Decimal	Deg.	min.	
Latitude	-15.78	-15	47	(+ = Norte, - = Hemisf. Sul)
Longitude	-47.93	-47	56	(+ = Este, - = Oeste de Greenwich)
Altitude	1158	M acima do nível do mar		
Fuso horário	-3.0	Correspondente a uma diferença média		
Tempo legal   Tempo solar = 0h 12m				

**Importar meteorologia**

Meteorom 7.2  
 NASA-SSE

**Importar**

**Tabelas I/O (folha de cálculo)**

**Importar**

**Exportar a linha**

**Exportar a tabela**

**Ver mapa**

Fonte: Pvsyst.

As simulações dos quatro edifícios foram realizadas buscando a configuração mais adequada e viável. O *software* permite a inserção do painel fotovoltaico escolhido no projeto executivo, o inversor e a disposição do arranjo do sistema, sendo demonstrada a área utilizada, o número de módulos fotovoltaicos e a potência instalada.

Esta ferramenta de projeto possibilita um estudo detalhado e o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, sendo escolhido o tipo do sistema entre conectado à rede ou autônomo. As configurações estão demonstradas no Apêndice E.

Com a simulação no *PVsyst* foi possível otimizar a instalação, buscando aproveitar a melhor área disponível com arranjos viáveis na configuração mais adequada. O número de placas expandiu de 671 para 738, com aumento de 67 painéis.

**Tabela 5-3:** Otimização do número de placas fotovoltaicas que cada edifício comporta.

Edifícios	Área Total de cobertura (m <sup>2</sup> )	Espaçamento	Área Utilizada	Número de strings	Número de strings utilizadas	Número de painéis	Número de painéis utilizados	Placas totais
Recepção	370,440	0,512	214,843	11	7	13	13	91
Auditório	733,320	0,512	494,261	10	9	29	23	207
Escritórios	601,750	0,512	529,056	11	11	22	20	220
Áreas molhadas	612,360	0,512	527,366	10	10	24	22	220
								<b>738</b>

**Fonte:** autora, 2018.

Cada edifício deve possuir um inversor instalado para exercer a função de inverter a corrente da energia elétrica gerada pelos painéis de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Além disso, também são capazes de garantir a segurança do sistema e medir a energia elétrica produzida.

Para o dimensionamento dos inversores é necessário estabelecer os parâmetros da placa fotovoltaica. O número de placas deve ser multiplicado pela potência de uma placa para determinar a potência instalada em cada edifício, sendo que cada um deve possuir seu inversor.

Na Tabela 5-4 são estabelecidos os inversores da ABB e suas respectivas potências de entrada, sendo definidos os valores de potência instalada dos quatro edifícios do Parque.

**Tabela 5-4:** Dimensionamento dos inversores.

<b>Dimensionamento dos inversores</b>					
Edifício	Número de placas	Potência da placa (W)	Potência Instalada (kW)	Potência de entrada do inversor (kW)	Modelo do inversor
Recepção	91	270	24,570	27,6	ABB – TRIO 27.6 – TL.OUTD
Auditório	207	270	55,890	60	ABB – TRIO 60.0 – TL.OUTD
Escritórios	220	270	59,400	60	ABB – TRIO 60.0 – TL.OUTD
Áreas molhadas	220	270	59,400	60	ABB – TRIO 60.0 – TL.OUTD

**Fonte:** autora, 2018.

De forma mais conservadora a potência do inversor pode ser especificada igual ou superior à potência instalada. Além disso, o dimensionamento do sistema deve ser realizado de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potências demasiadamente abaixo da nominal, nem seja sobrecarregado. Selecionando um método conservador o sistema foi dimensionado com uma potência do inversor igual ou superior a potência do gerador fotovoltaico.

A análise de custos da implantação do sistema solar fotovoltaico no PISAC visa apresentar uma estimativa do valor de investimento para a instalação do sistema proposto. Realizou-se uma cotação dos preços de mercado referente aos equipamentos necessários para montar um sistema solar fotovoltaico conectado à rede e gerar energia elétrica. São apresentados os valores aproximados de itens referentes ao projeto no Quadro 5-2, que sofreram alterações diante da otimização do sistema.

**Quadro 5-2:** Custos do Sistema Solar Fotovoltaico otimizado.

<b>PLANILHA DE CUSTOS DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO</b>					
<b>Placa Solar</b>	<b>Modelo</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Unitário</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Link de acesso</b>
Painel fotovoltaico	<i>Canadian Solar CS6K-270 P</i>	738	R\$ 830,00	R\$ 612.540,00	<a href="https://atacadosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian-solar-cs6k-270p-270-wp.html">https://atacadosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-canadian-solar-cs6k-270p-270-wp.html</a>
Inversor	<i>ABB-TRIO 27.6-TL.OUTD</i>	1	R\$ 36.896,33	R\$ 36.896,33	<a href="https://lojavirtual.bioenergysolutions.com.br/produto/inversor-solar-abb-276kwp-trio-27-6-tl-outd/">https://lojavirtual.bioenergysolutions.com.br/produto/inversor-solar-abb-276kwp-trio-27-6-tl-outd/</a>
Inversor	<i>ABB-TRIO 60.0-TL.OUTD</i>	3	R\$ 58.939,62	R\$ 176.818,86	<a href="https://lojavirtual.bioenergysolutions.com.br/produto/trio-60-0-tm-outd/">https://lojavirtual.bioenergysolutions.com.br/produto/trio-60-0-tm-outd/</a>
Instalação e montagem	Sistema fotovoltaico	15%	15%	R\$ 123.938,28	
<b>TOTAL: R\$ 950.193,47</b>					

Fonte: autora, 2018.

A instalação e a montagem foram estimadas em 15% do valor total do projeto. Os equipamentos auxiliares como os cabos e conexões, além da engenharia necessária para a adequação dos componentes do sistema estão inseridos nesse percentual.

A vida útil dos painéis fotovoltaicos é estimada entre 20 e 30 anos, com garantia de produção com pelo menos 80% da capacidade, e corresponde a aproximadamente 65% do custo total do sistema. Já os inversores possuem vida útil de 10 anos, e representam em torno de 20% do custo total.

**Quadro 5-3:** Vida útil dos equipamentos.

<b>Equipamento</b>	<b>Vida útil</b>
Painel fotovoltaico	20 a 30 anos
Inversor	10 anos

Fonte: EPE, 2011.

Os valores dos custos de operação e manutenção encontram-se em torno de 1 a 2% do investimento total do sistema fotovoltaico, tendo em vista

que os equipamentos possuem longa vida útil e a única atividade que deve ser realizada é a limpeza dos painéis para evitar o acúmulo de sujeira (Quadro 5-3).

As cotações dos equipamentos realizadas anteriormente sofreram aumento nos preços, tornando o custo de implantação do sistema solar fotovoltaico mais dispendioso, além do aumento do número de painéis em 67 unidades.

Com a obtenção desses dados foi possível identificar as principais condicionantes envolvidas, para assim analisar a viabilidade e também o retorno financeiro e ambiental do investimento, considerando que os painéis possuem um tempo de vida médio de 25 anos.

O consumo médio mensal estimado de energia elétrica do Parque foi de 15.757,1 kWh/dia. De acordo com o valor da tarifa de energia, dada pela CEB para o mês de novembro de 2018 (Anexo A), no valor de 0,74 R\$/kWh foi encontrado o valor estimado da fatura mensal a ser pago pela energia elétrica no valor de R\$ 11.660,25 (Tabela 5-5).

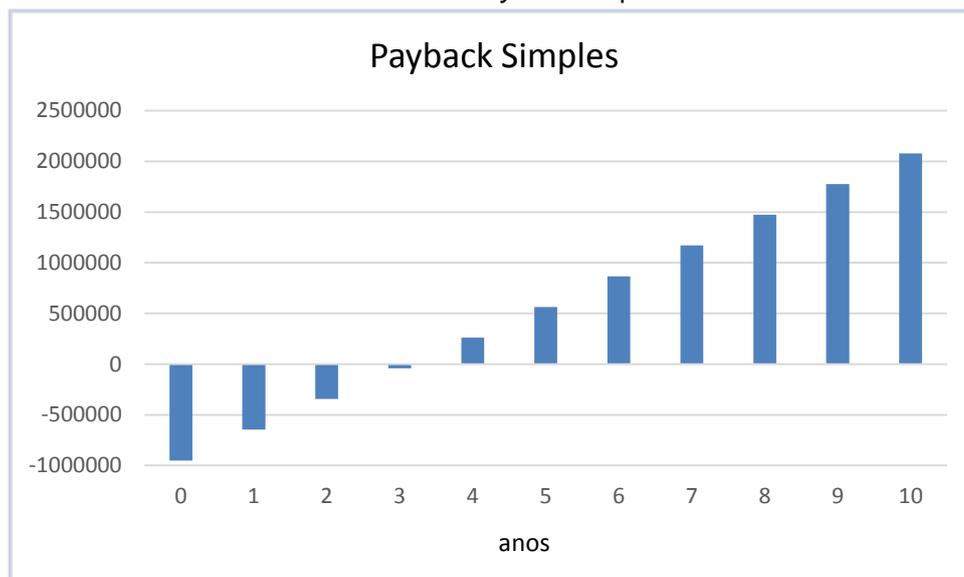
**Tabela 5-5:** Custo mensal pela eletricidade no PISAC.

<b>CUSTO MENSAL (R\$)</b>	
Consumo Geral Mensal	15757,1 kWh
Custo	0,74 R\$/kWh
<b>TOTAL</b>	<b>11.660,25</b>

Fonte: autora, 2018.

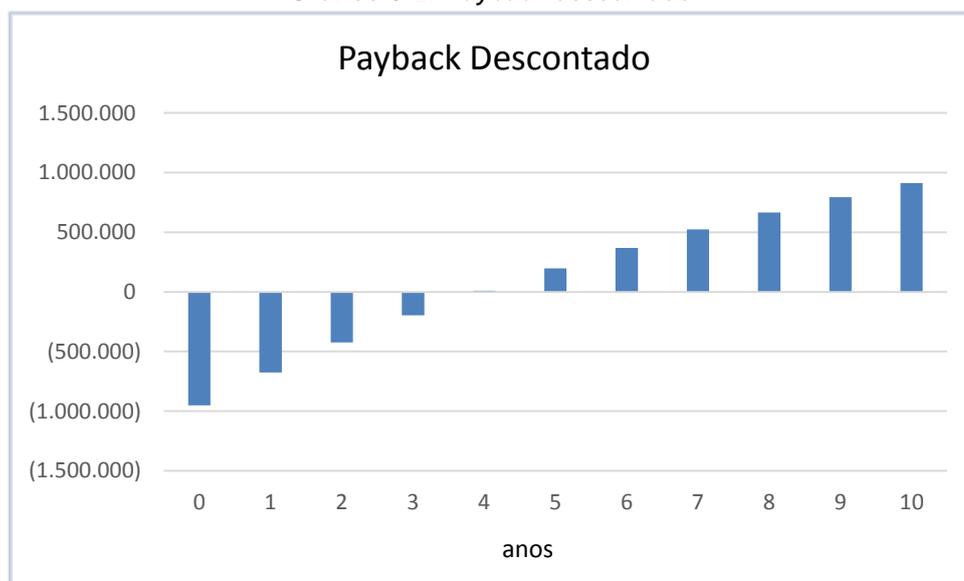
Com a nova configuração simulada no *PVsyst* foi realizada a análise de investimento, com dados demonstrados no Apêndice A. Foram estimados os tempos de retorno do investimento de maneira simples e descontado, além da Taxa Interna de Retorno por ano e Valor Líquido Presente.

O *payback* simples encontrado inicialmente contava com o retorno do investimento do sistema em quatro anos, 11 meses e 29 dias. O período de tempo foi estipulado de acordo com o a vida útil do inversor de dez anos. Para o sistema otimizado e com valor de tarifa corrigido foi encontrado o retorno em três anos, um mês e 19 dias (Gráfico 5-1).

**Gráfico 5-1: Payback simples.**

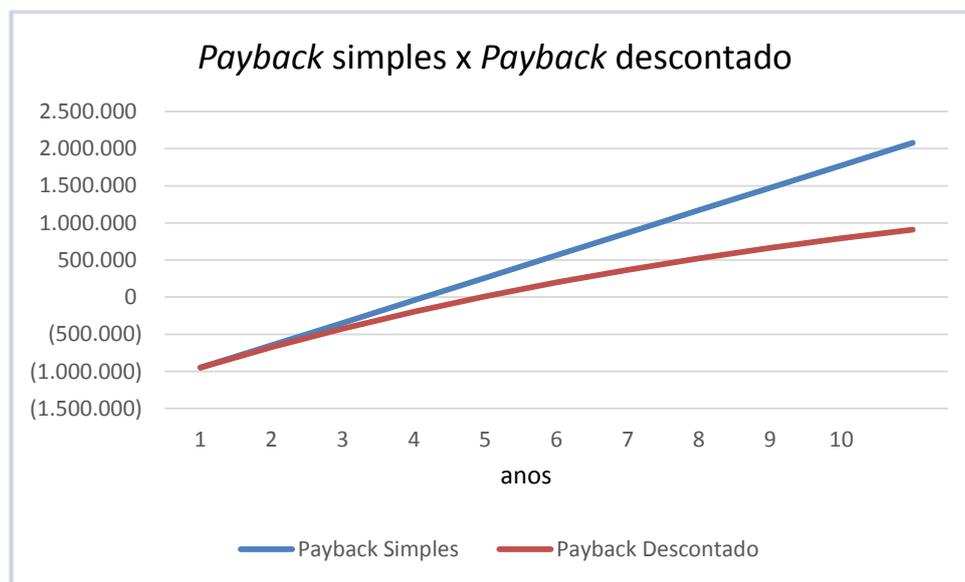
Fonte: autora, 2018.

O *payback* descontado é capaz de demonstrar o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial considerando o valor do dinheiro no tempo aplicando uma taxa de desconto. O período de retorno foi dado em sete anos, três meses e oito dias para a configuração inicial, em que foi alterado para três anos, 11 meses e 13 dias (Gráfico 5-2).

**Gráfico 5-2: Payback descontado.**

Fonte: autora, 2018.

O *payback* simples não considera o valor do dinheiro no tempo como o descontado demonstra, sendo este o motivo do aumento do tempo de retorno no *payback* descontado que analisa o prazo de recuperação do capital investido com remuneração (Gráfico 5-3).



**Gráfico 5-3:** *Payback* simples versus *payback* descontado.

**Fonte:** autora, 2018.

O valor encontrado para a TIR foi de 29,5% anual, valor maior que a taxa de desconto (Taxa Mínima de Atratividade) de 10%, expressando que o investimento do projeto é economicamente atrativo.

De acordo com os cálculos e análises gráficas verifica-se que o tempo de retorno foi menor que a vida útil estabelecida para o projeto, com VPL positivo e TIR maior que a taxa mínima de atratividade.

Dessa forma, a inserção do projeto solar fotovoltaico no PISAC conclui em um investimento economicamente viável, de custo inicial alto, mas com obtenção de lucros em longo prazo, aliado a atração pelos benefícios apresentados.

No *software* PVsyst há a ferramenta Balanço de Carbono que permite identificar a economia nas emissões de CO<sub>2</sub> estimadas para a instalação do sistema solar fotovoltaico. É estipulado um período de tempo para realizar a análise do balanço de carbono dentro do sistema implantado.

A base deste cálculo são as chamadas emissões do ciclo de vida (*Life Cycle Emissions – LCE*), que representam as emissões de CO<sub>2</sub> associadas a

um determinado componente ou quantidade de energia. Os valores incluem o ciclo de vida total de um componente ou quantidade de energia, incluindo produção, operação, manutenção, descarte, entre outros.

A ferramenta de Balanço de Carbono funciona com o raciocínio de que a eletricidade produzida pela instalação de energia fotovoltaica irá substituir a mesma quantidade de eletricidade na rede existente. Se a pegada de carbono da instalação fotovoltaica, por kWh, for menor do que a da produção de eletricidade da rede haverá uma economia líquida de emissões de dióxido de carbono.

Os valores anuais são calculados ao longo de toda a vida útil, levando em consideração a degradação anual. Existem quatro valores para o resultado:

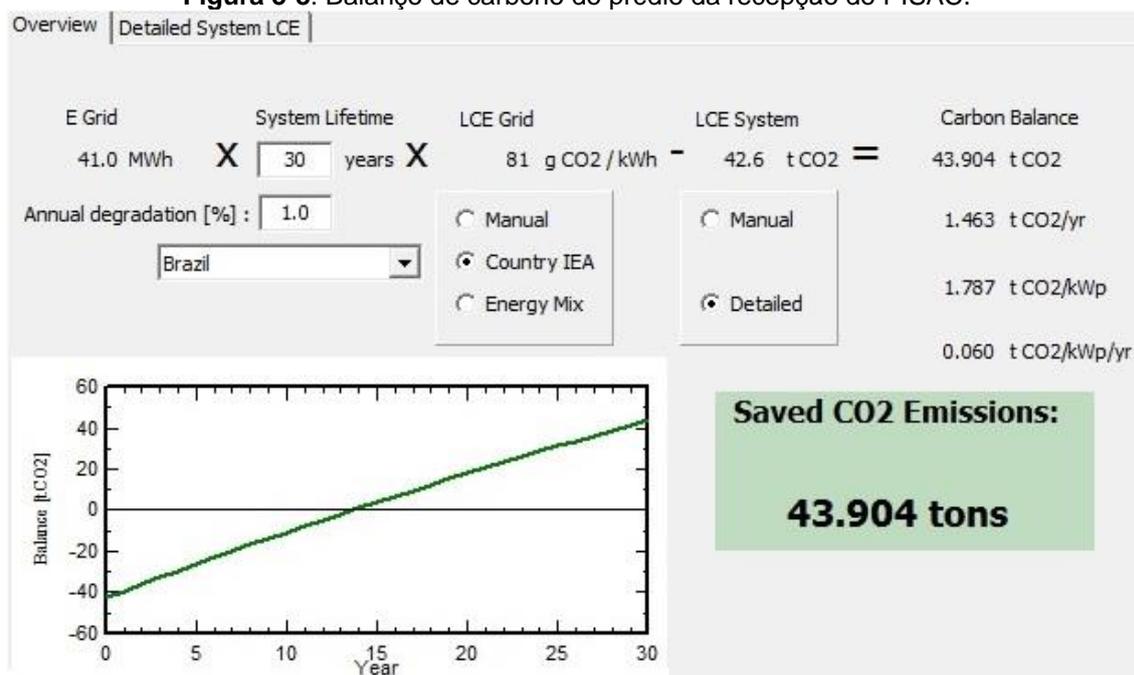
- A poupança total de emissões de CO<sub>2</sub> em toneladas de CO<sub>2</sub> durante o tempo de vida esperado da instalação fotovoltaica;
- A economia anual de emissões de CO<sub>2</sub> em tCO<sub>2</sub> / ano;
- A economia de emissões de CO<sub>2</sub> por potência instalada, dada em tCO<sub>2</sub> / kWp;
- A economia anual de emissões de CO<sub>2</sub> por potência instalada, dada em tCO<sub>2</sub> / kWp / ano.

O balanço total de carbono para uma instalação fotovoltaica é a diferença entre emissões de CO<sub>2</sub> produzidas e salvas, e depende de quatro fatores principais:

- *E\_Grid*: A produção do sistema, ou rendimento energético, da instalação do sistema fotovoltaico durante um ano, conforme calculado pela simulação do sistema fotovoltaico.
- Vida Útil do Sistema: É a vida útil da instalação, em anos. Determina, junto com *E\_Grid*, a quantidade total de energia elétrica que será substituída pela instalação.
- LCE da rede: É fornecido em gCO<sub>2</sub> / kWh e representa a quantidade média de emissões de CO<sub>2</sub> por unidade de energia para a eletricidade produzida pela rede.
- Sistema LCE: É dado em tCO<sub>2</sub> e representa a quantidade total de emissões de CO<sub>2</sub> causadas pela construção e operação da instalação.

Foi simulado o balanço de carbono para os quatro prédios do PISAC, com base em uma perspectiva de tempo de vida de 30 anos, e degradação anual de 1%. Na Figura 5-8 é apresentado o balanço de carbono para o edifício da recepção do Parque, em que o *layout* para a inserção dos dados são mostrados.

**Figura 5-8:** Balanço de carbono do prédio da recepção do PISAC.

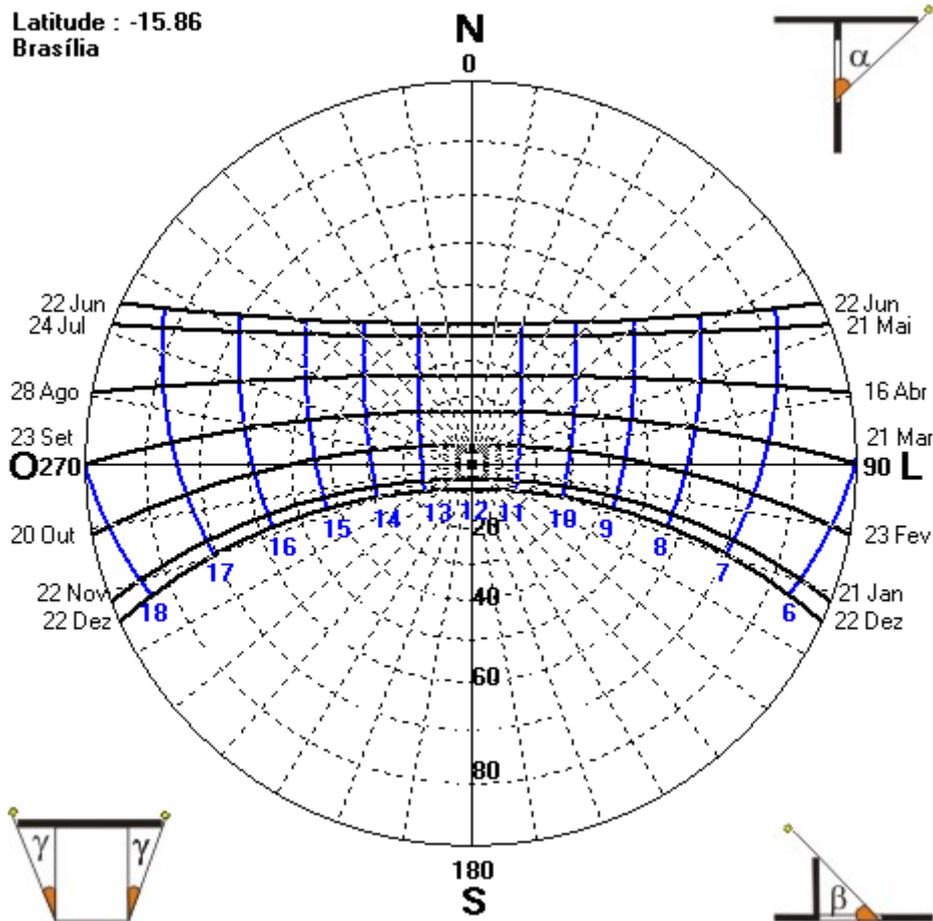


Fonte: autora, 2018.

No apêndice F encontram-se as demais simulações para os outros três prédios com os gráficos tCO<sub>2</sub> x anos e os valores do balanço de carbono para o sistema.

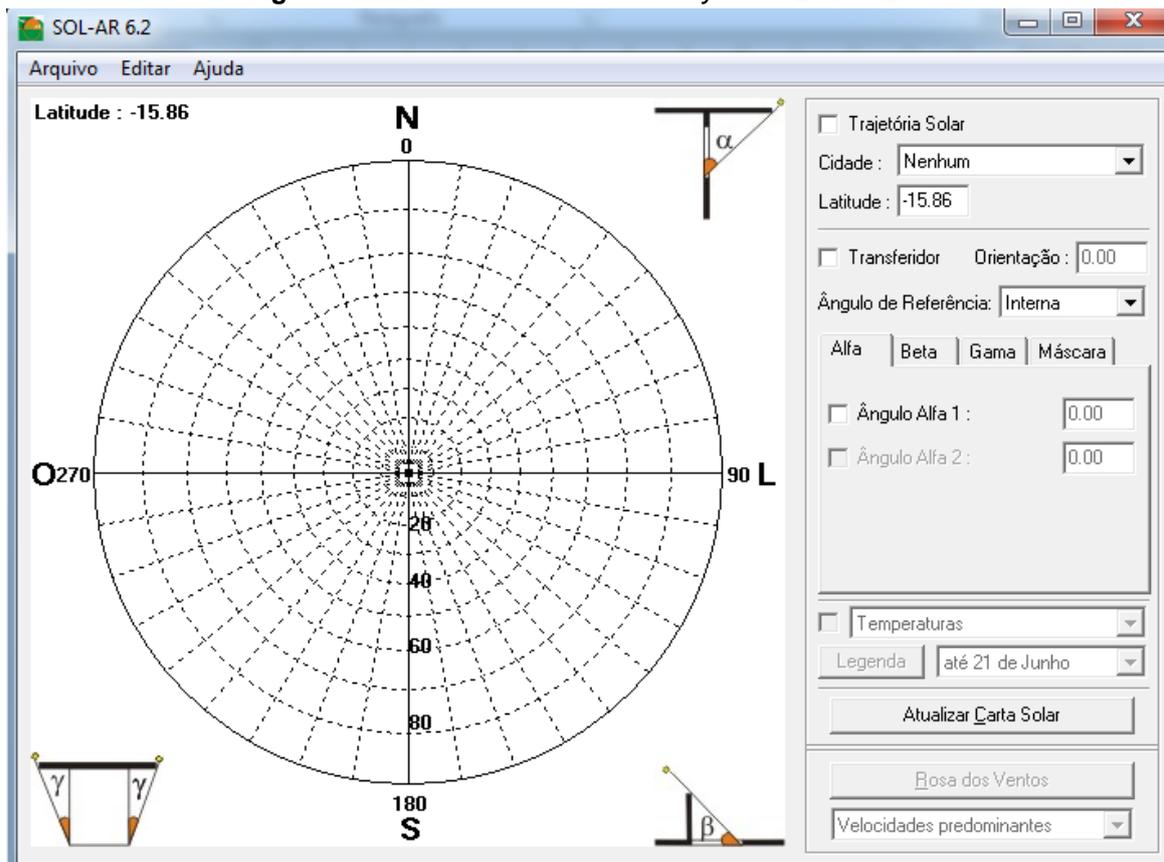
Para a obtenção da carta solar da latitude especificada foi utilizado o *software Analysis SOL-AR 6.2*. No Gráfico 5-4 é demonstrada a trajetória solar de Brasília – Distrito Federal.

Gráfico 5-4: Trajetória solar de Brasília – DF.



A interface do *software* é demonstrada na Figura 5-9, em que é possível obter a carta com os locais já adicionados no banco de dados como também é possível inserir a latitude do local desejado, caso não exista no banco de dados interno do sistema.

Figura 5-9: Interface do software *Analysis SOL-AR 6.2*.

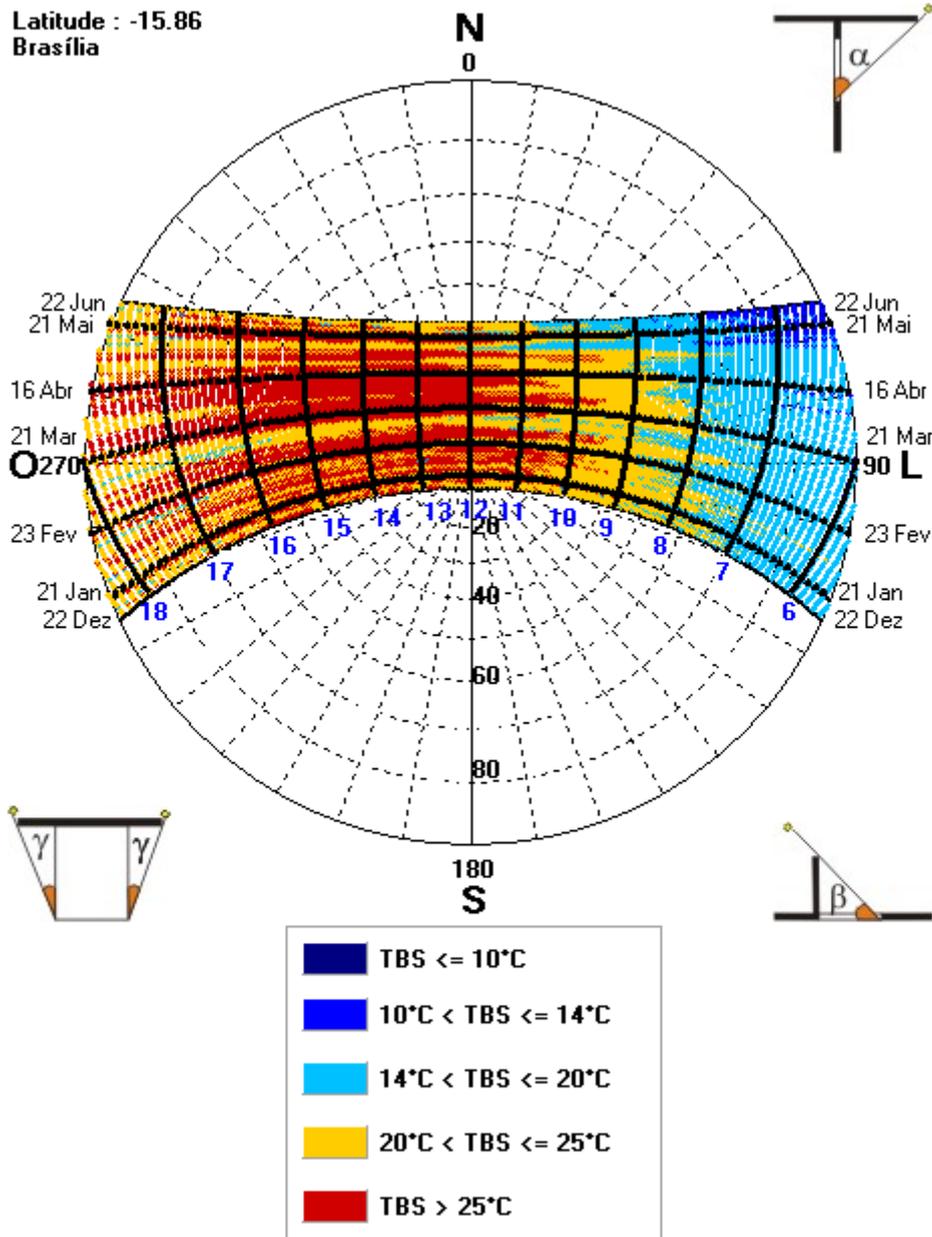


Fonte: Analysis SOL-AR.

É relevante o estudo a respeito da carta solar no dimensionamento de sistemas solares fotovoltaicos, visto que é uma ferramenta prática para a conquista dos conhecimentos básicos para analisar a penetração solar, sombras projetadas pelo entorno, e assim ser possível identificar a orientação adequada da edificação.

Foi possível simular com o *Analysis SOL-AR* os dados de trajetória solar, temperaturas, radiação global horizontal e radiação direta normal, com referência em Brasília utilizando a latitude aproximada do banco de dados interno do sistema. A radiação direta não sofre nenhum desvio causado pela atmosfera, vindo diretamente da direção do disco solar. A radiação global é a soma da radiação direta acrescida da radiação difusa.

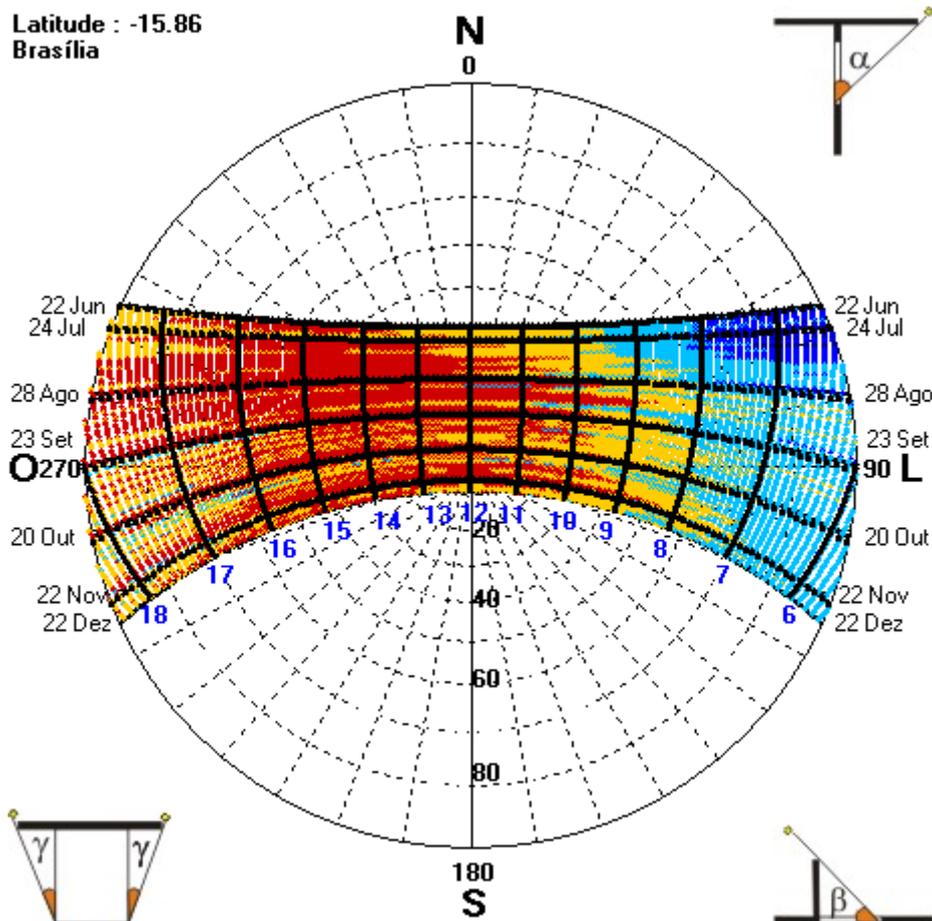
**Gráfico 5-5:** Gráfico de temperaturas e trajetória solar de Brasília – DF (até 21 de junho).



Fonte: autora, 2018.

Como demonstra o Gráfico 5-5, as temperaturas identificadas até 21 de junho possuem predominância de valores maiores que 25°C entre 10 horas da manhã e 16 horas da tarde.

**Gráfico 5-6:** Gráfico de temperaturas e trajetória solar de Brasília – DF (após 21 de junho).

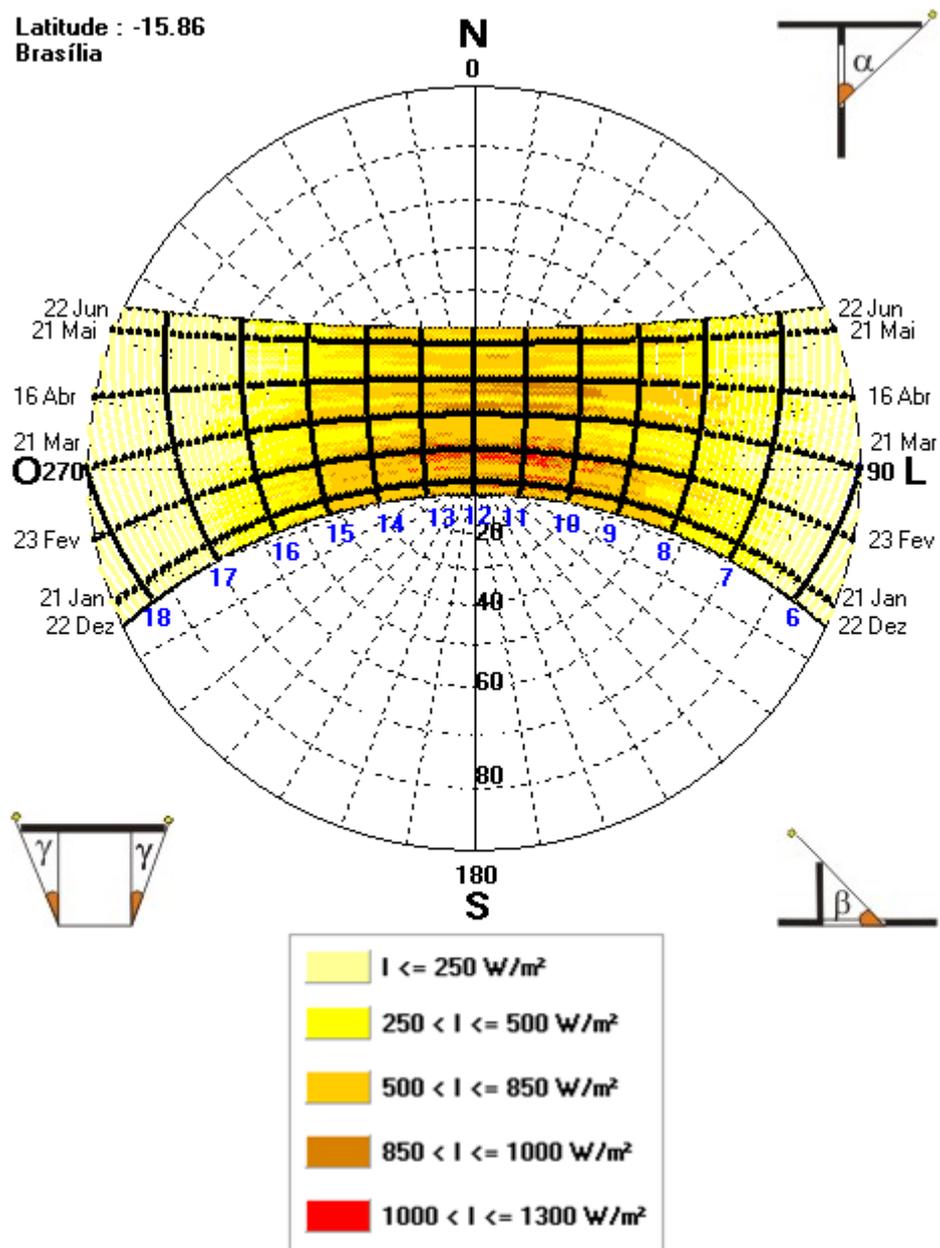


A Temperatura de Bulbo Seco (TBS) do ar é a temperatura medida com um termômetro comum em Graus *Celsius* ( $^{\circ}\text{C}$ ). Caso o termo temperatura seja usado sem uma especificação, entende-se como sendo a temperatura de bulbo seco. É determinada por meio de psicrômetros com determinação rápida da umidade relativa do ar, com auxílio de tabelas.

Na carta solar é possível identificar o solstício de inverno, que possuem noites mais longas, representado pela curva superior, e o solstício de verão, com dias mais longos, apresentado na curva inferior. Como o sol nasce no sentido de leste para oeste, as horas aumentam da direita para a esquerda, em que na posição norte o horário marcado é meio dia (12h).

A radiação global horizontal e a radiação direta normal, com referência em Brasília, são demonstradas no Gráfico 5-7, Gráfico 5-8, Gráfico 5-9 e Gráfico 5-10.

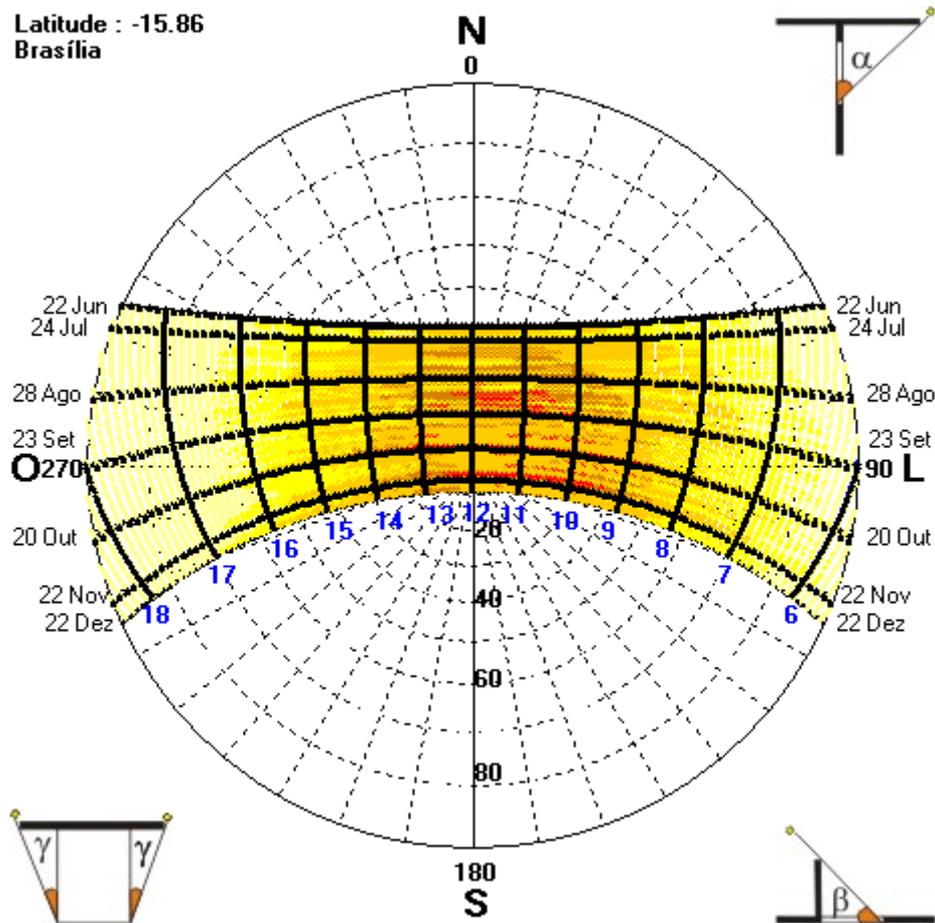
**Gráfico 5-7:** Gráfico de radiação global horizontal de Brasília – DF (até 21 de junho).



Fonte: autora, 2018.

Como demonstra o Gráfico 5-7, a faixa de  $1000 < I \leq 1300 \text{ W/m}^2$  (máxima de irradiação) se encontra entre 10 horas da manhã até 13 horas da tarde. O mês que mais apresenta esta faixa é entre janeiro e fevereiro.

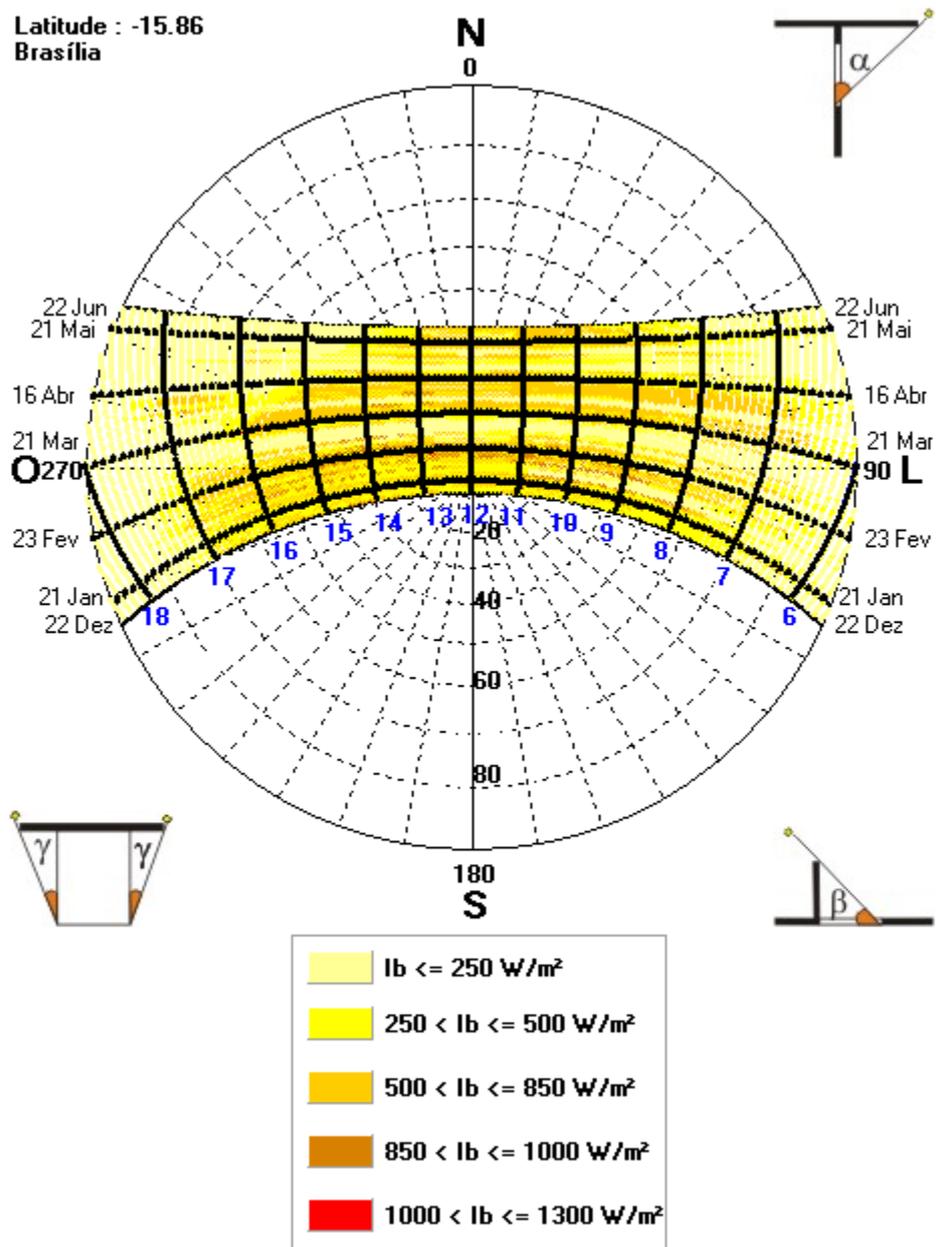
**Gráfico 5-8:** Gráfico de radiação global horizontal de Brasília – DF (após 21 de junho).



Fonte: autora, 2018.

De acordo com o Gráfico 5-7 e o Gráfico 5-8 é possível visualizar que as incidências da radiação global horizontal possuem valores maiores, medidos em  $W/m^2$ , entre 10 horas da manhã e 13 horas da tarde, com maior concentração nos meses de fevereiro, setembro e novembro.

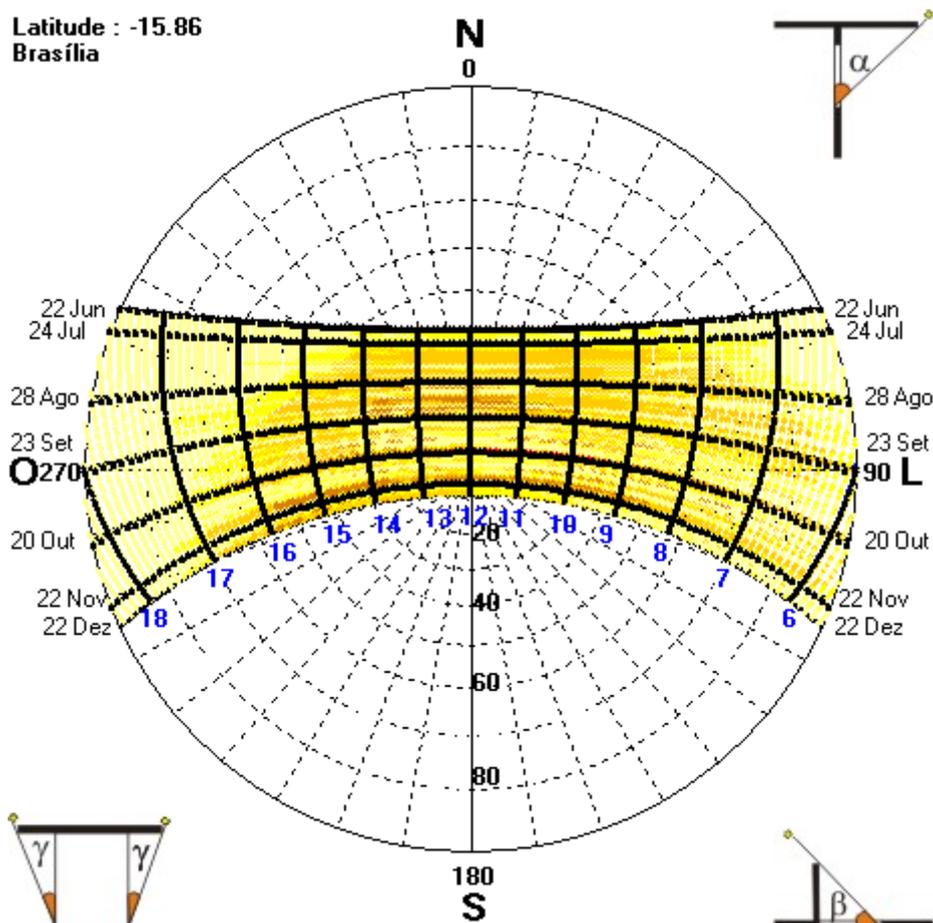
**Gráfico 5-9:** Gráfico de radiação direta normal de Brasília – DF (até 21 de junho).



Fonte: autora, 2018.

A irradiação direta normal em Brasília não possui altas faixas de incidência, predominando as duas primeiras ( $I_b \leq 250 \text{ W/m}^2$  e  $250 < I_b \leq 500 \text{ W/m}^2$ ).

**Gráfico 5-10:** Gráfico de radiação direta normal de Brasília – DF (após 21 de junho).



Após 21 de junho foram identificadas cores mais intensas nos meses de agosto e setembro, com incidência de radiação direta normal mais acentuada.

## 5.2. Sistema solar fotovoltaico no UniCEUB

Com o intuito de realizar a aferição dos dados solarimétricos e funcionamento de um sistema solar fotovoltaico semelhante ao configurado para o Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído (PISAC) foi utilizado o sistema solar fotovoltaico implantado no Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como laboratório para testes reais possíveis.

Foi realizada a visitação ao sistema solar fotovoltaico conectado à rede implantado no UniCEUB *campus* Asa Norte no mês de setembro, para análises

dos dados solarimétricos e funcionamento do sistema composto por 152 placas fotovoltaicas de 265 *Watts*.

O UniCEUB fica localizado em SEPN, 707/907, St. de Grandes Áreas Norte St. de Habitações Coletivas e Geminadas Norte 707 - Asa Norte, Brasília – DF (Figura 5-10).

**Figura 5-10:** Localização do UniCEUB *campus* Asa Norte.



**Fonte:** *Google Maps*.

Foram utilizados alguns instrumentos para os registros dos dados e imagens termográficas como o Termovisor FLIR I3 e a câmera FLIR A325 com leitura pelo *software ThermaCAM Researcher Professional 2.10*.

Estes instrumentos foram utilizados, em visita realizada ao Centro Universitário de Brasília *campus* Asa Norte, para registrar dados, imagens termográficas e fotografias. Além disso, foram essenciais para a análise do funcionamento do sistema e comparações com a aplicação da ferramenta, dimensionada pela autora, com dados do PISAC.

**Figura 5-11:** Termovisor FLIR I3.



Fonte: autora, 2018.

**Quadro 5-4:** Especificações do Termovisor FLIR I3.

<b>Especificações – Termovisor FLIR I3</b>	
Modelo	i3
Fabricante	FLIR Systems AB
Resolução da imagem	60x60
Total de pixels	3.600
Sensibilidade térmica	< 0,15 °C
Precisão	2° ou 2% da leitura
Faixa de temperatura	-20 °C a 250 °C
Campo de visão	12,5° x 12,5°
Foco	Foco fixo
Detector	Microbolômetro
Tela	LCD de 2,8° colorido
Frequência de imagem	9 Hz
Tipo de arquivo	Radiométrico JPEG (>5.000)
Dimensões/peso	223x79x83 mm/340g Incluindo bateria

Fonte: FLIR Systems AB.

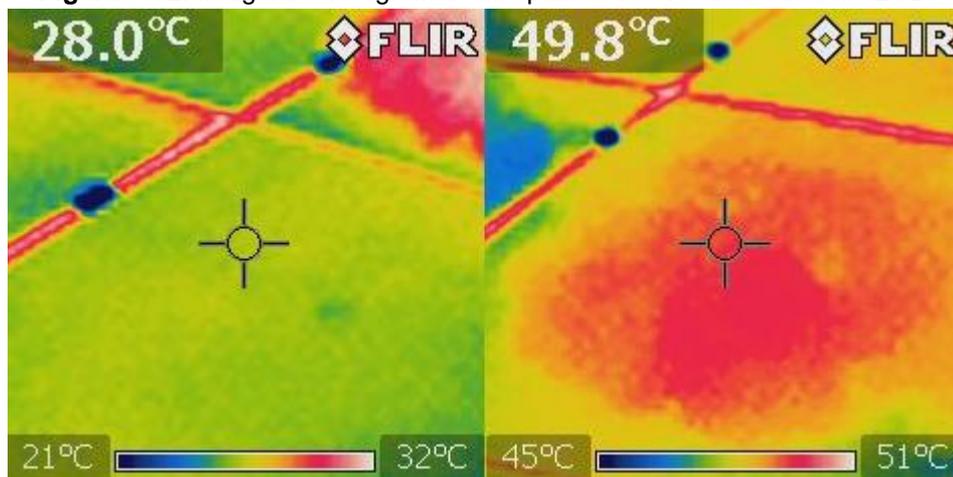
O Termovisor FLIR I3 é capaz de realizar medições de temperatura capturadas e armazenadas em cada imagem térmica permitindo a visualização da imagem completa instantaneamente, algo que um termômetro infravermelho visual simplesmente não é capaz de fornecer.

Para um bom desempenho do sistema, o dimensionamento deve ser realizado de forma apropriada, de modo a considerar as variações de temperatura do local onde o mesmo é instalado, uma vez que há impacto no rendimento dos módulos fotovoltaicos.

A termografia pode ser utilizada para medições de temperatura com potencial para verificação do desempenho do sistema de módulos fotovoltaicos, possibilitando recursos para observação a longas distâncias e de maneira não intrusiva.

As imagens termográficas foram coletadas no dia 27 de setembro de 2018 a partir de 15h até 17h. Foi constatado que a faixa de temperatura do comportamento dos painéis foi entre 21°C a 32°C para a menor temperatura registrada de 28°C às 16h46min e entre 45°C a 51°C para a maior temperatura registrada de 49,8°C. A temperatura ambiente média registrada no dia foi de 30,7°C.

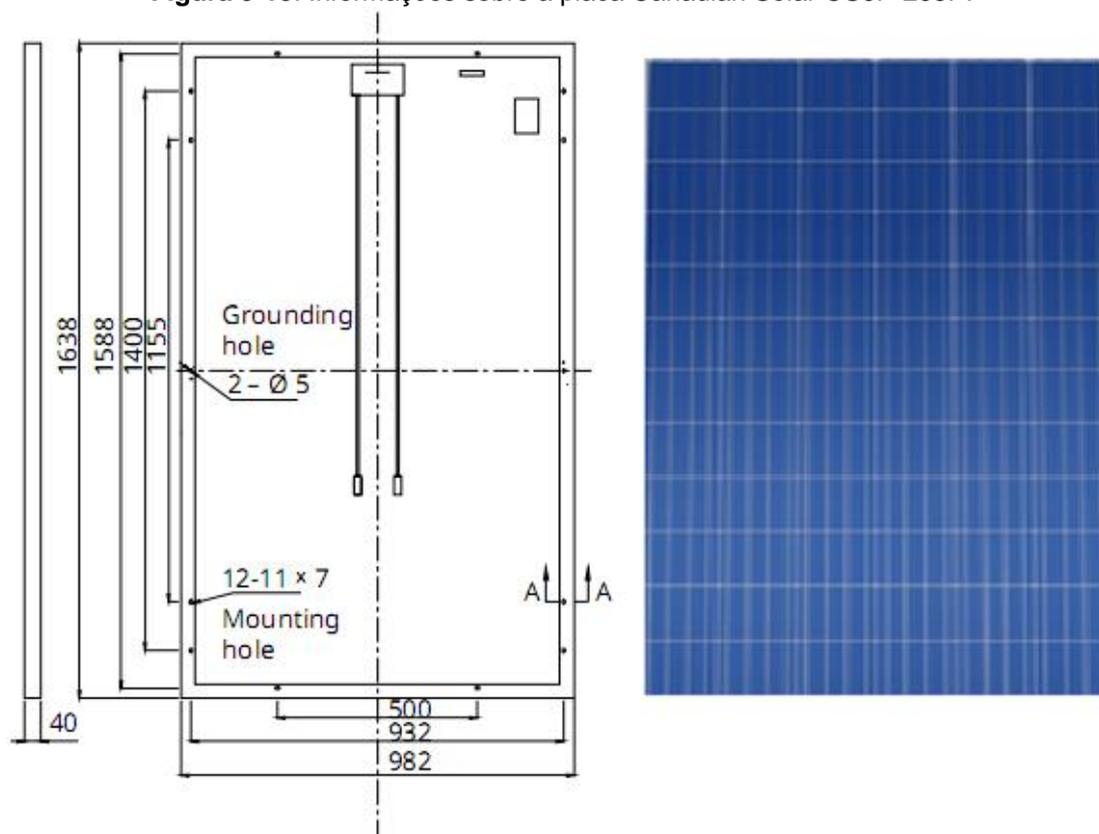
**Figura 5-12:** Imagens termográficas dos painéis fotovoltaicos do UniCEUB.



Fonte: autora, 2018.

Os painéis fotovoltaicos do sistema instalado no UniCEUB são da *Canadian Solar* de CS6P – 265P. O tipo de célula é policristalino com um total de 60 células com peso de 18 quilogramas para cada painel.

**Figura 5-13:** Informações sobre a placa Canadian Solar CS6P-265P.



Fonte: Canadian Solar.

As especificações dos módulos fotovoltaicos Canadian Solar CS6P-265P que compõem o sistema estão no Quadro 5-5.

**Quadro 5-5:** Especificações do painel *Canadian Solar* CS6P-265P.

<b>Especificações – Painel Canadian Solar CS6P-265P (STC)</b>	
Potência máxima nominal (Pmax)	265 W
Voltagem de operação (Vmp)	30,6 V
Corrente de operação (Imp)	8,66 A
Voltagem de circuito aberto (Voc)	37,7 A
Corrente de curto circuito (Isc)	9,23 A
Eficiência do módulo	16,47%
Temperatura de operação	-40°C ~ +85°C

Obs.: Sob condições de teste padrão (STC) de irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup>, espectro AM 1,5 e temperatura de 25 ° C.

Fonte: Canadian Solar, 2018.

Com o software *ThermaCAM Researcher Professional 2.10* foi possível obter imagens por meio da câmera FLIR A325. O A325 permite a integração da visão da câmera com sistemas de automação capazes de realizar medições de imagem e temperatura sem contato.

O instrumento possui interfaces padrão para fácil implantação e conexão a sistemas de *back-end* e redes via *Gigabit Ethernet*. As especificações da câmera estão no Quadro 5-6.

**Figura 5-14:** Câmera FLIR A325.



**Fonte:** autora, 2018.

O Quadro 5-6 indica as especificações da câmera FLIR A325 com suas características técnicas, de imagem e dimensões do equipamento.

**Quadro 5-6:** Especificações da câmera FLIR A325.

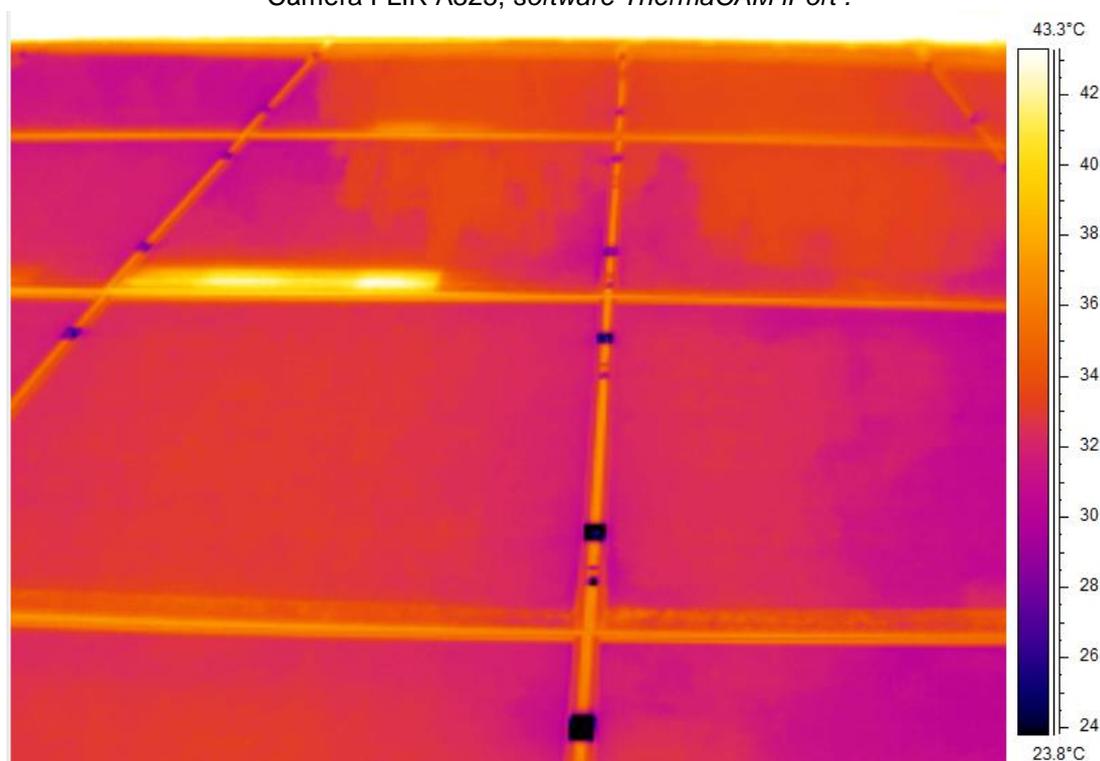
<b>Especificações – Câmera FLIR A325</b>	
Tipo de Detector	Microbolômetro não resfriado
Faixa Dinâmica	16 bits
Montagem	1/4"-20 (nos três lados), 2xM4 (nos três lados)
Faixa espectral	7,5 - 13,0 $\mu\text{m}$
Lente Integrada	18 mm (25 °)
Tamanho [L x L x A] Lens	170 x 70 x 70 mm (6,7 x 2,8 x 2,8 pol.)
Foco	Automático ou Manual (Motorizado)
Resolução	320 x 240
Precisão	$\pm 2$ ° C ou $\pm 2\%$ da leitura

**Fonte:** FLIR.

O termograma, de maneira simples, corresponde a uma matriz (quadrática ou retangular) de dados discretos (*pixels*), em que cada dado apresenta o valor da intensidade de cores de acordo com um sinal obtido por sensores térmicos, retratado em escala de temperatura (WIECEK, 2005).

Na Figura 5-15 foi registrada a imagem térmica do sistema solar fotovoltaico do Centro Universitário de Brasília *campus* Asa Norte. A faixa de temperatura detectada nos painéis fotovoltaicos foi de 23,8 °C (mínimo) até 43,3 °C (máximo) no sistema instalado.

**Figura 5-15:** Imagem termográfica do sistema solar fotovoltaico.  
Câmera FLIR A325, software *ThermaCAM iPort* .



Fonte: autora, 2018.

Foram feitos registros fotográficos para documentar as imagens da disposição do sistema solar fotovoltaico. Os painéis foram dispostos em duas partes, uma na esquerda e outra na direita. No telhado da direita a inclinação do telhado encontrada foi de 3,5° e da esquerda de 3,3°. Já a inclinação do telhado da esquerda foi de 3,3° e do painel 3,3°. As inclinações foram analisadas com referência ao plano horizontal.

**Figura 5-16:** Sistema solar fotovoltaico do UniCEUB *campus* Asa Norte (lado direito).



**Fonte:** autora, 2018.

Os registros fotográficos foram realizados no mês de setembro, dia 27, no período vespertino no horário de 15 horas às 17 horas. O sistema solar fotovoltaico instalado no *campus* Asa Norte do Centro Universitário de Brasília é caracterizado como conectado à rede. Foram dispostos sobre a cobertura na área de telhados, sendo possível percorrer por um corredor no centro das duas instalações.

**Figura 5-17:** Sistema solar fotovoltaico do UniCEUB *campus* Asa Norte (lado esquerdo).



**Fonte:** autora, 2018.

As condições climáticas do dia eram boas com temperatura ambiente média de 30,7°C. O dia não estava com céu totalmente aberto, algumas nuvens encobriam o sol de tempo em tempo, o que gerou a coleta de alguns dados imprecisos.

Com as aferições obtidas pelos instrumentos no UniCEUB, o comportamento dos painéis com os valores de irradiação em Brasília-DF são satisfatórios.

Em análise comparativa, os dados solarimétricos do dimensionamento do sistema solar no PISAC, com a utilização da ferramenta desenvolvida, correspondem com as simulações observando o bom desempenho dos painéis.

Foi suficiente para o estudo a amostragem de apenas um dia de medições, diante do objetivo que foi identificar o funcionamento das placas em função dos dados solarimétricos de Brasília – DF. Não foi necessário executar uma amostragem maior, pois não há influência da amostragem nas medições das irradiações neste contexto.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Conclusões

O objetivo do estudo foi alcançado, diante de resultados satisfatórios. Com a utilização das ferramentas de simulação o tempo empregado foi reduzido na realização dos dimensionamentos do sistema solar fotovoltaico conectado à rede.

A utilização da ferramenta de apoio à tomada de decisão, desenvolvida pela autora nos contextos técnico, econômico e socioambiental, em associação com a simulação computacional, geram um modelo funcional para a execução de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede.

A realização das simulações permitiu a evolução do dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, em que, com os painéis fotovoltaicos adicionais, ocorreu redução no tempo de *payback*, identificando viabilidade técnica e econômica com o trabalho.

Com o *PVsyst* foi possível realizar o Balanço de Carbono, em uma perspectiva de 30 anos, quantificando o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que deixaria de ser emitido ao meio ambiente. Com isso houve contribuição na perspectiva ambiental da utilização do *software* na execução do projeto.

Dessa forma, a ferramenta de apoio em tomadas de decisão juntamente com as simulações visam à aplicação geral em sistemas de geração solar fotovoltaica conectada à rede. Se modificações forem feitas nas informações e dados pertinentes ao empreendimento, a utilização da ferramenta e dos *softwares* não será inviabilizada, tendo em vista a tomada de decisão em um aspecto amplo.

## 6.2 Sugestões para pesquisas futuras

Sugere-se para o desenvolvimento de futuros trabalhos:

- Utilização do modelo de viabilidade em diferentes empreendimentos;
- Aderência do modelo ao processo de viabilidade dos sistemas já implantados;
- Desenvolvimento de *software* para analisar a viabilidade do sistema conforme o modelo sugerido.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Registro de Micro e Mini Geradores Distribuídos.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd.asp>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica.** Cadernos Temáticos ANEEL, 2ª Edição. Brasília, março de 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3\\_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 1: Introdução.** 01 de janeiro de 2016. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1\\_Revisao\\_9/1b78da82-6503-4965-abc1-a2266eb5f4d7](http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1_Revisao_9/1b78da82-6503-4965-abc1-a2266eb5f4d7)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Regulação do Setor Elétrico.** Publicado em 01 de dezembro de 2015 e modificado em 22 de fevereiro de 2017. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/regulacao-do-setor-eletrico>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015.** Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 414.** Setembro, 2010.

ANEEL, Aplicações, **atlas Energia Solar.** 2ª edição. 2015. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia\\_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, **Atendimento a comunidades isoladas com sistemas individuais ou minirredes de distribuição.** Brasília – DF, maio de 2011. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/020/apresentacao/aneel\\_ap020\\_2011.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/020/apresentacao/aneel_ap020_2011.pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 1ª Edição. Brasília, 2002. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações.** Rio de Janeiro, p. 66. 1988.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis, biomassa.** Abril de 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

BAXTER, Jason B. **Commercialization of dye sensitized solar cells: Present status and future research needs to improve efficiency, stability, and manufacturing.** Journal of Vacuum Science & Technology A, v. 30, n. 2, p. 020801, 2012.

BEN, Balanço Energético Nacional. **Relatório Síntese**. Rio de Janeiro, Junho de 2017, ano base 2016.

BERMANN, Célio. **Crise ambiental e as energias renováveis**. Cienc. Cult. São Paulo, v.60, n.3, p.20-29, setembro, 2008.

BIG, Banco de Informações de Geração. **Capacidade de Geração do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Atualização em 18 de setembro de 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

BLUMENSCHNEIN, R.N. Relatório: **Parque de Inovação e Sustentabilidade do Ambiente Construído**. 2017, não publicado.

BRASIL. Lei n. 10.438, de 26 de abril de 2002. **Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. de Abril de 2002, Sec. 1, p. 2.

CARRILLO-HERMOSILLA, J.GONZALEZ, P. D. R.; KONNOLA, T. **Eco-innovation: when sustainability and competitiveness shake hands**. New York: Palgrave Macmillan, 2009.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO

**BRITO.** Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>> .  
Acesso em: 17 de setembro de 2018.

CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: Simulações 2013** /.- Rio de Janeiro: CEPEL, 2017. 50 p. il.

CEPEL-CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, Edição especial, PRC-PRODEEM**, Rio de Janeiro, Agosto de 2004.

COPPE/UFRJ; SEAHORSE WAVE ENERGY. **Fontes de energia renovável do mar: Panorama no Brasil.** [s.l.] Grupo de Energias Renováveis do Mar - Laboratório de Tecnologia Submarina, out. 2013.

COSTA, P. R. **Energia das ondas do mar para geração de eletricidade.** 2004. 109 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Oceânica) - Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

CRESESB. Energia Solar – princípios e Aplicação. **Centro de Referência para energia solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**, 2006.

CSEM BRASIL, Centro Suíço de Eletrônica e Microtecnologia. **Painel Solar Orgânico Produzido no Brasil Transforma Luz em Energia Limpa.** 2017.

ELETROBRÁS. **Na trilha da energia, energia elétrica.** 2001. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/natrilhadaenergia/energia-eletrica/>> Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ELY, FERNANDO; SWART, JACOBUS W. IEEE - INSTITUTO DE ENGENHEIROS ELETRICISTAS E ELETRÔNICOS, Energia Solar Fotovoltaica de Terceira Geração. Outubro, 2014. Disponível em: < <http://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/energia-solar-fotovoltaica-terceira-geracao.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Nota Técnica EPE – **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, RJ, Maio. 2012. Disponível em:

<[http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos\\_23/nt\\_energiasolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; MME, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional – BEN. 2017** ano base 2016.

FCPC - Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura. **Adaptação às mudanças do Clima: Cenário e Alternativas – Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2015.

GODINHO, Silvio Martins et al. **Análise de viabilidade econômica voltado para a redução de consumo de energia elétrica em uma linha de produção de uma indústria de cerveja**. Revista Espacios, v. 38, n. 36, 2017.

GORDINHO, Margarida Cintra. **Do álcool ao etanol: Trajetória UNICA**. São Paulo: Editora Terceiro Nome, 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/publicacoes/pag=4>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

GREEN, M. A. *et al.* **Hot carrier solar cells: Challenges and recent progress**. In: Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010 35th IEEE. IEEE, 2010. p. 57- 60.

GREEN, M. A. *et al.* **Solar cell efficiency tables: version 16**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000.

GREENPEACE, Conselho Europeu de Energia Renovável – EREC, **Revolução energética: A caminho do desenvolvimento limpo**. Dezembro, 2010.

IEA PVPS, International Energy Agency: **Photovoltaic Power Systems Programme**. Annual Report, 2014.

INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Edição. 88p.: il. São José dos Campos, São Paulo. Julho de 2017. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

IRENA, Agência Internacional de Energia Renovável. **Energia Renovável e Emprego**. Revisão anual, 2017. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/05/Energia-Renov%C3%A1vel-e-Emprego-Revis%C3%A3o-Anual-2017-Ambiente-Energia.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

KAPLAN, Robert S; NORTON, David P. **A estratégia em ação: Balanced Scorecard**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

KIM, Bong-Gi; CHUNG, Kyeongwoon; KIM, Jinsang. Molecular Design Principle of All-organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemistry—A European Journal*, v. 19, n. 17, p. 5220-5230, 2013.

KÖNIG, D. *et al.* **Hot carrier solar cells: Principles, materials and design**. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Amsterdam, v. 42, n. 10, p. 2862- 2866, 2010.

KOUHNAVARD, M. *et al.* **A review of semiconductor materials as sensitizers for quantum dot-sensitized solar cells**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 37, p. 397-407, 2014.

MARKVART, Tom; CASTAÑER, Luis. “**Solar Cells, Materials, Manufacture & Operation**”, 2006.

MATHYAS, Alessandra; SHAYANI, Rafael, **Potencial da Energia Solar Fotovoltaica de Brasília**. Brasília, novembro de 2016. Estudo WWF Brasil. Supernova Design, 1ª edição. Disponível em: <[https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf\\_potencial\\_solar\\_para\\_internet.pdf](https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_potencial_solar_para_internet.pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética**. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Resultados de 2016. Junho de 2017.

NASCIMENTO, Rodrigo. **Energia Solar No Brasil: Situação E Perspectivas. Consultoria Legislativa, Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos**. Março, 2017.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 422p. 2ed.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Informativo ONS – ONS Apresenta **Relatório Final Sobre Blecaute de 2009**. Ano I – n.o 06 – novembro/2009.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O Sistema Interligado Nacional – SIN**. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx)>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. PEN, **Plano de Operação Energética 2017/2021, Sumário Executivo**. Rio de Janeiro, 2017.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Conference of the Parties, COP21**. Paris, novembro de 2015. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

PATHAK, Sandeep K. *et al.* **Performance and Stability Enhancement of Dye-Sensitized and Perovskite Solar Cells by Al Doping of TiO<sub>2</sub>**. *Advanced Functional Materials*, v. 24, n. 38, p. 6046-6055, 2014.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60p.

PINHO, João; GALDINO, Marco. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição revisada e atualizada. CRESESB, CEPEL. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

PNUMA, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **GEO5, Panorama Ambiental Global: Resumo para Formuladores de Políticas**, 1-20. 2012.

Presidência da República, Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Brasil 2040 Resumo Executivo**. Brasília, 2015.

REN21, RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY, Renewables 2016 **Global Status Report**. ISBN 978-3-9818107-0-7. Paris, France, 2016.

REN21. 2015. Renewables 2015 **Global Status Report** (Paris: REN21 Secretariat).

ROSA, V. H. S. **Energia elétrica renovável em pequenas comunidades no Brasil: em busca de um modelo sustentável**. 2007. 440 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

RÜTTER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004. 114 p.: il.

SAUAIA, Rodrigo Lopes. **Proposta para a Energia Solar Fotovoltaica no GDF. ABSOLAR**. Novembro, 2015.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente, GT Brasília Solar. **Programa Brasília Solar, Consulta Pública. Brasília, 15 de janeiro de 2016**. Disponível em: <

<http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Minuta-Bras%C3%ADlia-Solar-2016.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

SHAYANI, R. A. (2010). **Método para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição**. Tese de Doutorado em Energia Elétrica, Publicação PPGNE.TD-051/10, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 161p.

SMETS, A. *et al.* **Solar Energy, the physics and engineering of photovoltaic conversion technologies and systems**. Cambridge: UIT Cambridge, 2016.

TOLMASQUIM, Maurício T. *et al.* **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2004.

TOLMASQUIM, Maurício T. *et al.* **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil**. Estudos avançados 26 (74), 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. Empresa de Pesquisa Energética. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia**. Junho de 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>>. Acesso em: 18 de setembro de 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2016.

UNICA. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 17 de setembro de 2018.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. **Sistema de Informações Acadêmicas**. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília-DF, 2017.

VILLALVA, M.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

WEF, Renewable Infrastructure Investment **Handbook: A Guide for Institutional Investors**. Dezembro, 2016. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Renewable\\_Infrastructure\\_Investment\\_Handbook.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Renewable_Infrastructure_Investment_Handbook.pdf)>. Acesso em: 19 de setembro de 2018.

WIECEK, B. **Review on thermal image processing for passive and active thermography**. Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference. Shanghai, China, September 1-4, 2005.

# APÊNDICE

## Apêndice A: Análise de investimento do projeto.

Taxa de Desconto		10,0%										
		Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Fluxo de Caixa		-950193,47	302859,26	302859,3	302859,26	302859,26	302859,26	302859,26	302859,26	302859,26	302859,26	302859,26
Período (t)		-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>FC</u>		<u>-950.193</u>	<u>302.859</u>									
$(1+i)^t$		$(1+0,1)^0$	$(1+0,1)^1$	$(1+0,1)^2$	$(1+0,1)^3$	$(1+0,1)^4$	$(1+0,1)^5$	$(1+0,1)^6$	$(1+0,1)^7$	$(1+0,1)^8$	$(1+0,1)^9$	$(1+0,1)^{10}$
<u>FC</u>		<u>-950.193</u>	<u>302.859</u>									
$(1+i)^t$		1,00	1,10	1,21	1,33	1,46	1,61	1,77	1,95	2,14	2,36	2,59
<b>VPL (c/ investimento)</b>	910.746	-950.193	275.327	250.297	227.543	206.857	188.052	170.956	155.415	141.286	128.442	116.765
<b>VPL (s/ investimento)</b>	1.860.939											
<b>TIR (ano)</b>	29,5%											
<b>Payback Nominal</b>	3 anos 1 meses 19 dias	(950.193)	(647.334)	(344.475)	(41.616)	261.244	564.103	866.962	1.169.821	1.472.681	1.775.540	2.078.399
						3,14						
<b>Payback Descontado</b>	3 anos 11 meses 13 dias	(950.193)	(674.867)	(424.570)	(197.027)	9.830	197.881	368.838	524.252	665.538	793.980	910.746
						3,95						

## Apêndice B: Relatórios de simulação.

### Edifício 1: Recepção

PVSYST V6.75		29/10/18	Página 1/3
<b>Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação</b>			
<b>Projeto : PISAC</b>			
<b>Localização geográfica</b>	<b>Brasília</b>	<b>País</b>	<b>Brazil</b>
<b>Localização</b>	Latitude -15.87° S	Longitude	-47.93° W
Tempo definido como	Tempo legal Fuso horário TU-3	Altitude	1061 m
<b>Dados meteorológicos:</b>	<b>Brasília</b>	MeteoNorm 7.2 station - Synthetic	
<b>Variante da simulação : New simulation variant</b>			
	Data da simulação	29/10/18 14h52	
<b>Parâmetros da simulação</b>	Tipo de sistema	<b>No 3D scene defined</b>	
<b>Orientação do plano dos módulos</b>	Inclinação	15°	Azimute 0°
<b>Modelos utilizados</b>	Transposição	Perez	Difuso Perez, Meteonorm
<b>Horizonte</b>	Sem horizonte		
<b>Sombras próximas</b>	Sem sombras		
<b>Características do grupo FV</b>			
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	<b>CS6K - 270P</b>
Original PVsyst database		Fabricante	Canadian Solar Inc.
Número de módulos FV		Em série	13 módulos Em paralelo 7 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	91 Potência unitária 270 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	<b>24.57 kWp</b> Em condições de func. 22.00 kWp (50°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	358 V l mpp 61 A
Superfície total		Superfície módulos	<b>149 m²</b> Superfície célula 133 m²
<b>Inversor</b>			
Custom parameters definition		Modelo	<b>TRIO-27.6-TL-OUTD-400 (27.6 kWac max)</b>
Características		Fabricante	ABB
		Tensão de funcionamento	200-950 V Potência unitária 27.6 kWac
Bateria de inversores		N.º de inversores	1 unidades Potência total 28 kWac Rácio Pnom 0.89
<b>Fatores de perda do grupo FV</b>			
Fator de perdas térm.		Uc (const.)	20.0 W/m²K Uv (vento) 0.0 W/m²K / m/s
Perdas ôhmicas nos cabos		Res. global do grupo	98 mOhm Fração perdas 1.5 % em STC
Perdas de qualidade dos módulos			Fração perdas -0.5 %
Perdas de módulos com mismatch			Fração perdas 1.0 % no MPP
Perdas de strings com mismatch			Fração perdas 0.10 %
Efeito de incidência (IAM): User defined IAM profile			
	10°	20°	30°
	0.998	0.998	0.995
	40°	50°	60°
	0.992	0.986	0.970
	70°	80°	90°
	0.917	0.763	0.000
<b>Exigências do consumidor : Carga ilimitada (rede)</b>			



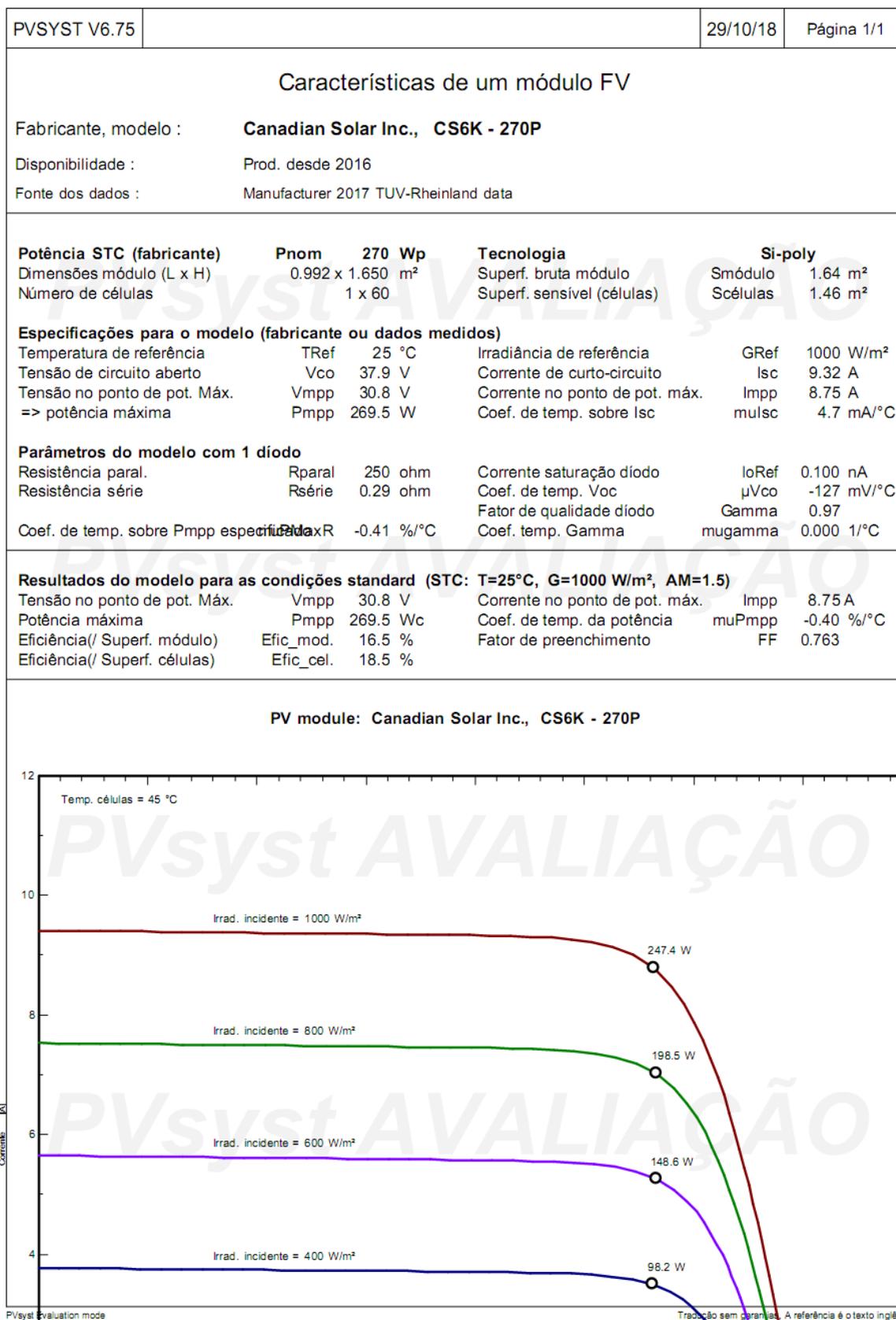
## Edifício 3: Escritórios

PVSYST V6.75		29/10/18	Página 1/3						
<b>Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação</b>									
<b>Projeto :</b>	<b>PISAC</b>								
<b>Localização geográfica</b>	<b>Brasilia</b>	<b>País</b>	<b>Brazil</b>						
<b>Localização</b>	Latitude -15.87° S	Longitude	-47.93° W						
Tempo definido como	Tempo legal Fuso horário TU-3	Altitude	1061 m						
<b>Dados meteorológicos:</b>	<b>Brasilia</b>	MeteoNorm 7.2 station - Synthetic							
<b>Variante da simulação :</b>	<b>New simulation variant</b>								
Data da simulação	29/10/18 14h50								
<b>Parâmetros da simulação</b>	Tipo de sistema	<b>No 3D scene defined</b>							
<b>Orientação do plano dos módulos</b>	Inclinação	15°	Azimute 0°						
<b>Modelos utilizados</b>	Transposição	Perez	Difuso Perez, Meteonorm						
<b>Horizonte</b>	Sem horizonte								
<b>Sombras próximas</b>	Sem sombras								
<b>Características do grupo FV</b>									
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	<b>CS6K - 270P</b>						
Original PVsyst database	Fabricante	Canadian Solar Inc.							
Número de módulos FV	Em série	20 módulos	Em paralelo 11 strings						
Número total de módulos FV	Nr. módulos	220	Potência unitária 270 Wp						
Potência global do grupo	Nominal (STC)	<b>59.4 kWp</b>	Em condições de func. 53.2 kWp (50°C)						
Características de funcionamento do grupo (50°C)	Umpp	551 V	1 mpp 97 A						
Superfície total	Superfície módulos	<b>360 m²</b>	Superfície célula 321 m²						
<b>Inversor</b>									
Custom parameters definition	Modelo	<b>TRIO-60_0-TL-OUTD-480</b>							
Características	Tensão de funcionamento	360-950 V	Potência unitária 60.0 kWac						
Bateria de inversores	N.º de inversores	1 unidades	Potência total 60 kWac Rácio Pnom 0.99						
<b>Fatores de perda do grupo FV</b>									
Fator de perdas térm.	Uc (const.)	20.0 W/m²K	Uv (vento) 0.0 W/m²K / m/s						
Perdas ôhmicas nos cabos	Res. global do grupo	96 mOhm	Fração perdas 1.5 % em STC						
Perdas de qualidade dos módulos			Fração perdas -0.5 %						
Perdas de módulos com mismatch			Fração perdas 1.0 % no MPP						
Perdas de strings com mismatch			Fração perdas 0.10 %						
Efeito de incidência (IAM): User defined IAM profile									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000
<b>Exigências do consumidor :</b>	Carga ilimitada (rede)								

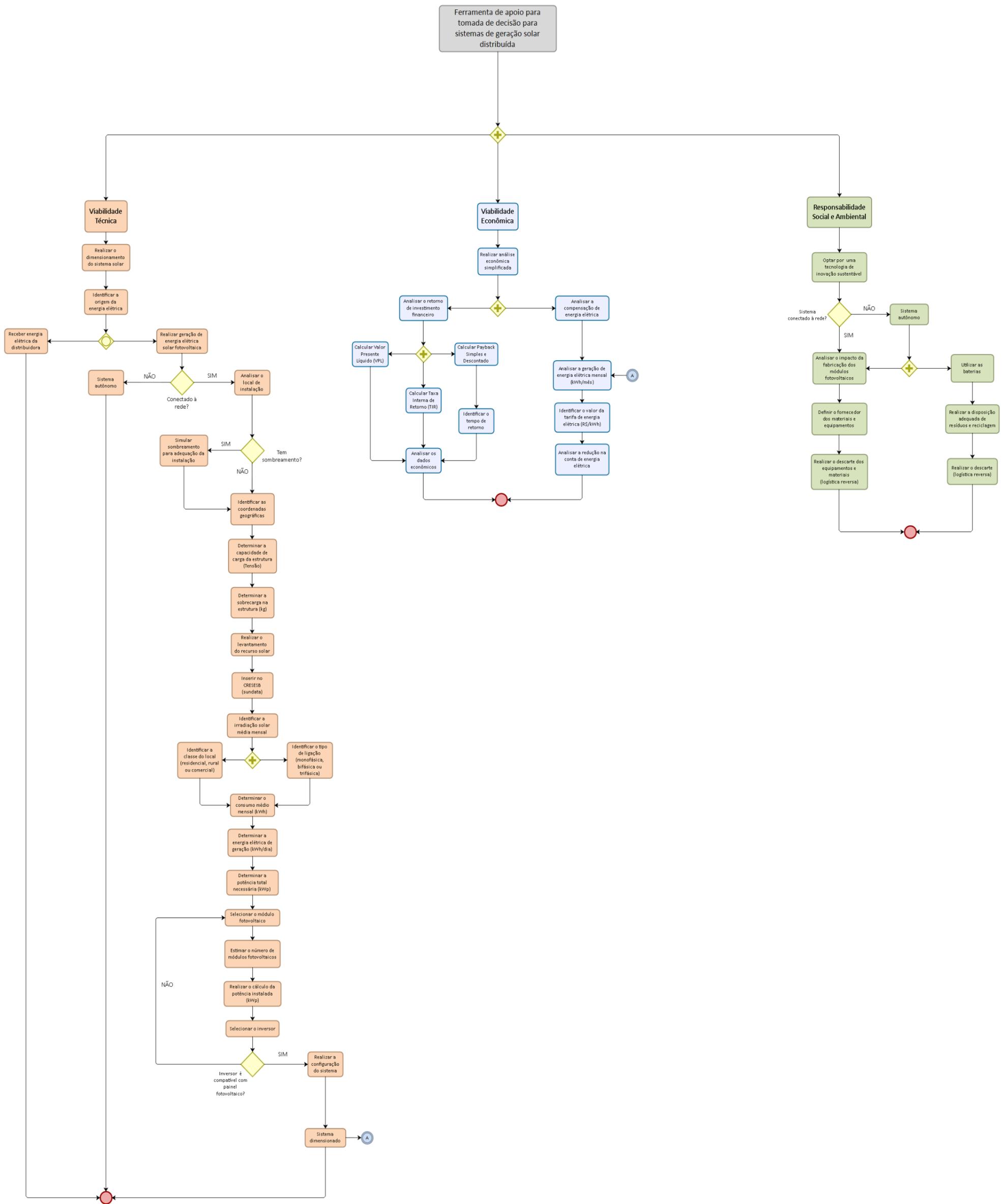
## Edifício 4: Áreas molhadas

PVSYST V6.75		29/10/18	Página 1/3						
<b>Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação</b>									
<b>Projeto :</b>	<b>PISAC</b>								
<b>Localização geográfica</b>	<b>Brasília</b>	<b>País</b>	<b>Brazil</b>						
<b>Localização</b>	Latitude -15.87° S	Longitude	-47.93° W						
Tempo definido como	Tempo legal Fuso horário TU-3	Altitude	1061 m						
<b>Dados meteorológicos:</b>	<b>Brasília</b>	MeteoNorm 7.2 station - Synthetic							
<b>Variante da simulação : New simulation variant</b>									
	Data da simulação	29/10/18 14h48							
<b>Parâmetros da simulação</b>	Tipo de sistema	<b>No 3D scene defined</b>							
<b>Orientação do plano dos módulos</b>	Inclinação	15°	Azimute 0°						
<b>Modelos utilizados</b>	Transposição	Perez	Difuso Perez, Meteororm						
<b>Horizonte</b>	Sem horizonte								
<b>Sombras próximas</b>	Sem sombras								
<b>Características do grupo FV</b>									
<b>Módulo FV</b>	Si-poly	Modelo	<b>CS6K - 270P</b>						
Original PVsyst database	Fabricante	Canadian Solar Inc.							
Número de módulos FV	Em série	22 módulos	Em paralelo 10 strings						
Número total de módulos FV	Nr. módulos	220	Potência unitária 270 Wp						
Potência global do grupo	Nominal (STC)	<b>59.4 kWp</b>	Em condições de func. 53.2 kWp (50°C)						
Características de funcionamento do grupo (50°C)	Umpp	606 V	I mpp 88 A						
Superfície total	Superfície módulos	<b>360 m²</b>	Superfície célula 321 m²						
<b>Inversor</b>									
Custom parameters definition	Modelo	<b>TRIO-60_0-TL-OUTD-480</b>							
Características	Fabricante	ABB							
Bateria de inversores	Tensão de funcionamento	360-950 V	Potência unitária 60.0 kWac						
	N.º de inversores	1 unidades	Potência total 60 kWac						
			Rácio Pnom 0.99						
<b>Fatores de perda do grupo FV</b>									
Fator de perdas térm.	Uc (const.)	20.0 W/m²K	Uv (vento) 0.0 W/m²K / m/s						
Perdas ôhmicas nos cabos	Res. global do grupo	116 mOhm	Fração perdas 1.5 % em STC						
Perdas de qualidade dos módulos			Fração perdas -0.5 %						
Perdas de módulos com mismatch			Fração perdas 1.0 % no MPP						
Perdas de strings com mismatch			Fração perdas 0.10 %						
Efeito de incidência (IAM): User defined IAM profile									
	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000
<b>Exigências do consumidor :</b>				Carga ilimitada (rede)					

## Apêndice C: Simulação do painel solar *Canadian Solar CS6K-270P*



Apêndice D: Ferramenta de apoio para tomada de decisão para sistemas de geração solar distribuída.



Fonte: autora, 2018.

## Apêndice E: Simulação dos edifícios do PISAC.

### Edifício 1: Recepção

Global System configuration		Global system summary	
1	Number of kinds of sub-arrays	Nb. of modules	91
		Module area	149 m <sup>2</sup>
		Nb. of inverters	1
		Nominal PV Power	24.6 kWp
		Maximum PV Power	24.5 kWdc
		Nominal AC Power	27.6 kWac

---

PV Array

Sub-array name and Orientation		Presizing Help	
Name	PV Array	<input type="radio"/> No sizing	Enter planned power <input type="text" value="0.0"/> kWp
Orient.	Fixed Tilted Plane	<input type="radio"/> ... or available area(modules)	<input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
Tilt	15°		
Azimuth	0°		

---

Select the PV module

Available Now

Canadian Solar Inc. 270 Wp 26V Si-poly CS6K - 270P Since 2016 Manufacturer 2017

Sizing voltages : V<sub>mpp</sub> (60°C) 26.3 V  
V<sub>oc</sub> (-10°C) 42.3 V

Use Optimizer

---

Select the inverter

Available Now  50 Hz  60 Hz

ABB 27.6 kW 200 - 950 V TL 50/60Hz TRI0-27.6-TL-OUTD-400 (27.6 kWac max) Since 2011

Nb. of inverters   Operating Voltage: 200-950 V Global Inverter's power 27.6 kWac  
Input maximum voltage: 1000 V

---

Design the array

**Number of modules and strings**

Mod. in series   between 8 and 23

Nbre strings

Overload loss 0.0 %

P<sub>nom</sub> ratio 0.89

**Nb. modules** 91 **Area** 149 m<sup>2</sup>

Operating conditions

V<sub>mpp</sub> (60°C) 341 V  
V<sub>mpp</sub> (20°C) 409 V  
V<sub>oc</sub> (-10°C) 549 V

Plane irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>

I<sub>mpp</sub> (STC) 61.5 A  
I<sub>sc</sub> (STC) 65.2 A  
I<sub>sc</sub> (at STC) 65.2 A

Max. in data  STC

Max. operating power 22.0 kW  
at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C

**Array nom. Power (STC)** 24.6 kWp

The inverter power is slightly oversized.

## Edifício 2: Auditório

Global System configuration		Global system summary	
1	Number of kinds of sub-arrays	Nb. of modules	207
		Module area	339 m <sup>2</sup>
		Nb. of inverters	1
		Nominal PV Power	55.9 kWp
		Maximum PV Power	55.7 kWdc
		Nominal AC Power	60.0 kWac

---

PV Array

Sub-array name and Orientation		Presizing Help	
Name	PV Array	<input checked="" type="radio"/> No sizing	Enter planned power <input type="text" value="0.0"/> kWp
Orient.	Fixed Tilted Plane		... or available area(modules) <input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>
	Tilt 15°		
	Azimuth 0°		

---

Select the PV module

Available Now

Canadian Solar Inc. | 270 Wp 26V | Si-poly | CS6K - 270P | Since 2016 | Manufacturer 2017 |

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 26.3 V  
Voc (-10°C) 42.3 V

Use Optimizer

---

Select the inverter

Available Now

ABB | 60 kW | 360 - 950 V | 50/60Hz | TRIO-60-D-TL-OUTD-480 | Since 2017 |

Nb. of inverters 1  Operating Voltage: 360-950 V Global Inverter's power 60.0 kWac  
Input maximum voltage: 1000 V

50 Hz  
 60 Hz

---

Design the array

Number of modules and strings		Operating conditions	
Mod. in series	23 <input checked="" type="checkbox"/> between 14 and 23	Vmpp (60°C)	604 V
Nbre strings	9	Vmpp (20°C)	723 V
Overload loss	0.0 %	Voc (-10°C)	972 V
Pnom ratio	0.93	Plane irradiance	1000 W/m <sup>2</sup>
Nb. modules	207	Imp (STC)	79.0 A
Area	339 m <sup>2</sup>	Isc (STC)	83.9 A
		Isc (at STC)	83.9 A

The inverter power is slightly oversized.

Max. in data  STC  
Max. operating power 50.1 kW  
at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C

Array nom. Power (STC) 55.9 kWp

## Edifício 3: Escritórios

Global System configuration		Global system summary	
1	Number of kinds of sub-arrays	Nb. of modules	420
		Module area	687 m <sup>2</sup>
		Nb. of inverters	2
		Nominal PV Power	113 kWp
		Maximum PV Power	113 kWdc
		Nominal AC Power	120 kWac

---

Sub-array #2   Sub-array #1		Presizing Help	
<b>Sub-array name and Orientation</b>		<input checked="" type="radio"/> No sizing      Enter planned power <input type="text" value="0.0"/> kWp <input type="radio"/> ... or available area(modules) <input type="text" value="0"/> m <sup>2</sup>	
Name	Sub-array #2      Order 1		
Orient.	Fixed Tilted Plane      Tilt 15° Azimuth 0°		

---

Select the PV module			
Available Now			
Canadian Solar Inc.	270 Wp 26V Si-poly CS6K - 270P	Since 2016	Manufacturer 2017
Sizing voltages : Vmpp (60°C) 26.3 V Voc (-10°C) 42.3 V			
<input type="checkbox"/> Use Optimizer			

---

Select the inverter			
Available Now			
ABB	60 kW 360 - 950 V 50/60Hz TRIO-60 0-TL-OUTD-480	Since 2017	<input checked="" type="checkbox"/> 50 Hz <input checked="" type="checkbox"/> 60 Hz
Nb. of inverters	1	Operating Voltage: 360-950 V	Global Inverter's power 60.0 kWac
		Input maximum voltage: 1000 V	

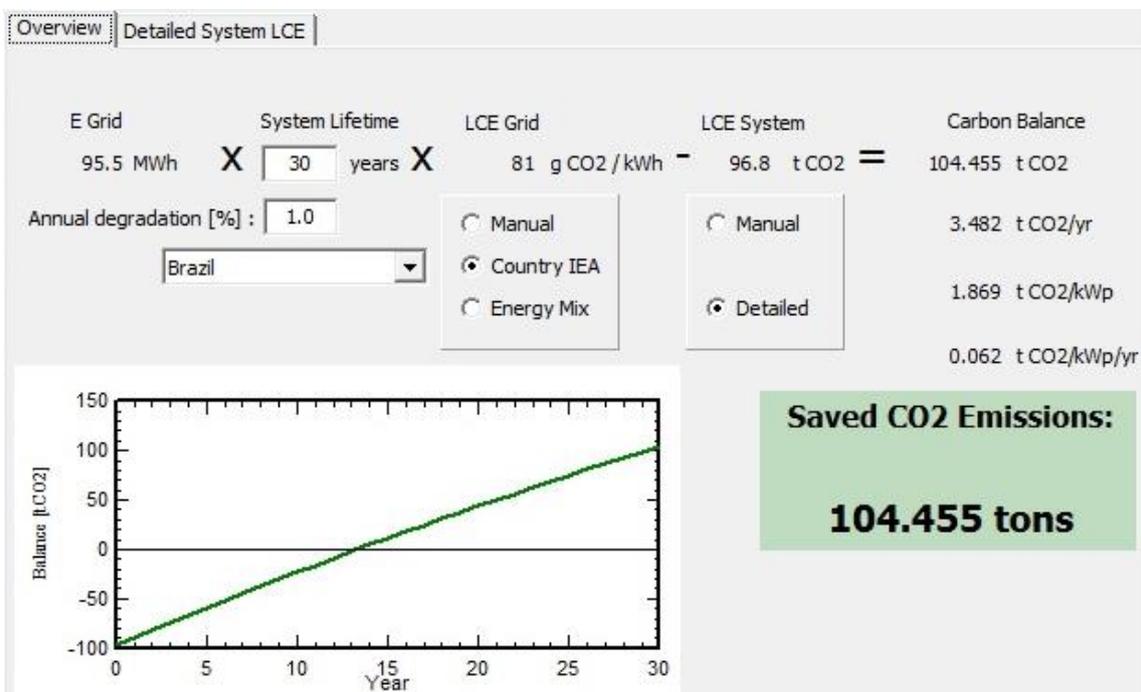
---

Design the array		Operating conditions		The inverter power is slightly oversized.	
<b>Number of modules and strings</b>		Vmpp (60°C)	525 V		
Mod. in series	20 <input type="checkbox"/> between 14 and 23	Vmpp (20°C)	629 V		
Nbre strings	11	Voc (-10°C)	845 V		
Overload loss	0.0 %	Plane irradiance	1000 W/m <sup>2</sup>		
Pnom ratio	0.99 <input type="button" value="Show sizing"/>	Impp (STC)	96.6 A		
Nb. modules	220	Isc (STC)	103 A		
Area	360 m <sup>2</sup>	Isc (at STC)	103 A		
				<input type="radio"/> Max. in data <input checked="" type="radio"/> STC Max. operating power 53.2 kW at 1000 W/m <sup>2</sup> and 50°C	
				<b>Array nom. Power (STC) 59.4 kWp</b>	



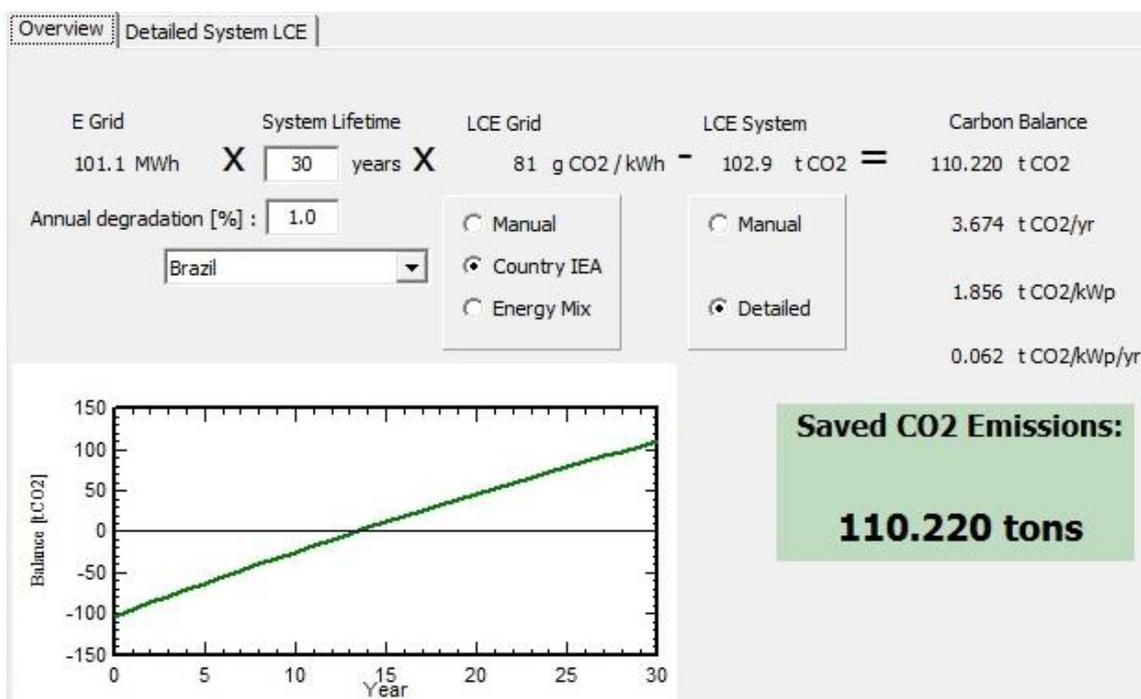
## Apêndice F: Simulações do Balanço de Carbono para os edifícios do PISAC.

### Edifício 2: Auditório



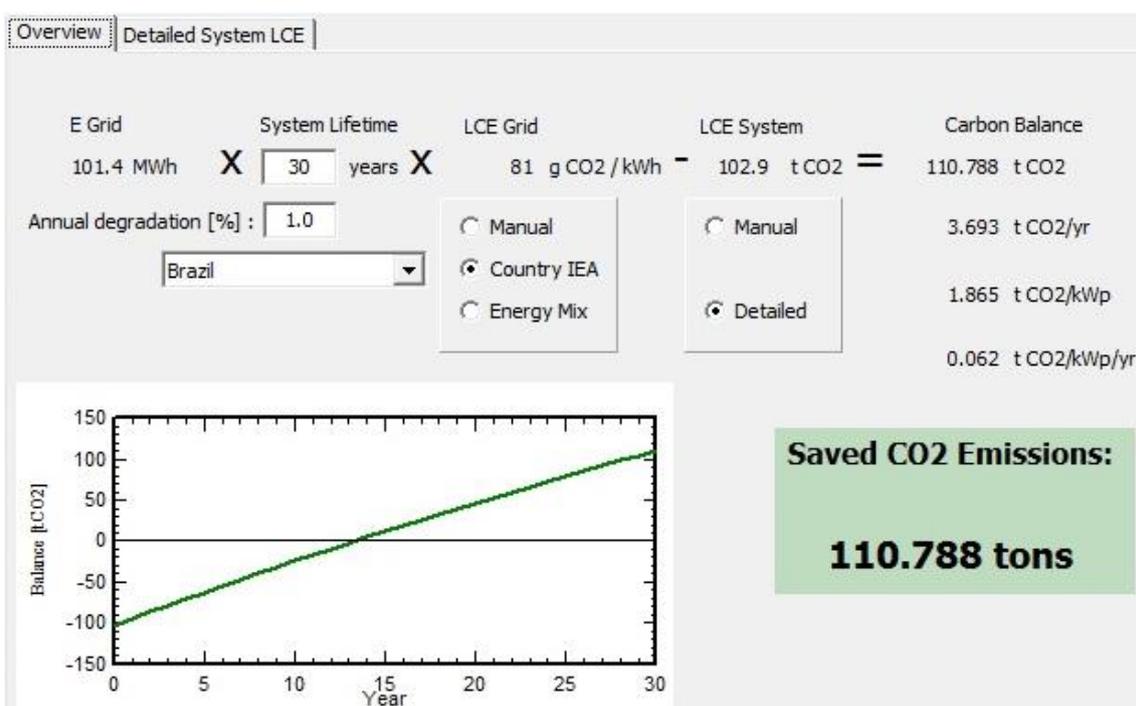
Fonte: autora, 2018.

### Edifício 3: Escritórios.



Fonte: autora, 2018.

### Edifício 4: Áreas molhadas.



Fonte: autora, 2018.

# ANEXOS

## Anexo A: Tarifas de energia elétrica do mês de novembro



**Diretoria de Comercialização**  
**Superintendência Comercial - SPC**  
**Gerência de Faturamento - GRFA**

**BANDEIRA AMARELA**

**NOVEMBRO**  
**2018**

Consumo		ICMS	R\$/kWh
B1 - Res. Baixa Renda até 50 kWh	Até 30 kWh	Isento	0,1830342
	De 31 a 50 kWh	Isento	0,3137730
B1 - Residencial Baixa Renda	Até 30 kWh	12%	0,2088167
	De 31 a 100 kWh	12%	0,3579715
	De 101 a 200 kWh	12%	0,5389573
	De 201 a 220 kWh	18%	0,5778411
	De 221 a 300 kWh	18%	0,6418234
	De 301 a 500 kWh	21%	0,6670954
	Acima de 500 kWh	25%	0,7040587
B1 - Residencial até 50 kWh		Isento	0,5838197
B1 - Residencial de 51 a 200 kWh		12%	0,6658293
B1 - Residencial de 201 a 300 kWh		18%	0,7162773
B1 - Residencial de 301 a 500 kWh		21%	0,7444809
B1 - Residencial acima de 500 kWh		25%	0,7857320

### Tarifas do Grupo B

Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 50 kWh(0%)	51 a 200 (12%)	201 acima (18%)
B2 - Rural	0,4116287	0,4686091	0,5051900
B2 - Cooperativa de eletrificação rural	0,4116287	0,4686091	0,5051900
B2 - Madrugada - irrigação (redução de 67%) sobre a Tarifa B2 - Rural para o período das 21:30h às 06:00h			
B3 - Serviço de Saneamento (redução de 15%)		0,5669549	0,6088357
B4a - Iluminação Pública (entrega no poste)		0,3714872	0,3996337
B4b - Iluminação Pública (entrega na lâmpada)		0,4041908	0,4348150
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)	201 a 1000 (18%)	1001 acima (21%)
B3 - Comercial/Industrial	0,6658293	0,7162773	0,7444809
Consumo (Alíquota do ICMS)	Até 200 (12%)	201 a 500 (18%)	501 acima (25%)
B3 - Poder Público	0,6658293	0,7162773	0,7857320

### Legislação Vigente

Tarifa Res id. Baixa Renda: Res. 2214/2017-ANEEL, de 28/03/2017	
Pis/Pasep (0,50%) + Cofins (2,31%)	= 2,81
Resolução nº 414/2010 da Aneel - Critérios para fornecimento de energia	
Desconto p/ serviços de saneamento: Decreto 62.724, de 23.12.88	
Tarifa da Madrugada: Resolução 414-ANEEL Art. 107, de 09/09/2010	
ICMS: Lei 7, de 29.12.88; Decreto 18.955, 22.12.97; Lei 987, 18.12.95	
Tarifas de Energia: Resolução 2471/2018-ANEEL, de 22/10/2018	
Taxas de Serviços: Resolução 2471/2018-ANEEL, de 22/10/2018	
CIP: Decreto GDF Nº 35.046 de 30.12.2013	
Redução da bandeira vermelha: Resolução 1945/2015-ANEEL, 25/08/2015	