



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

LAYSA MAYRA UCHÔA DA SILVA



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O  
SETOR RESIDENCIAL NOS ESTADOS BRASILEIROS



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2018

LAYSA MAYRA UCHÔA DA SILVA

VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O SETOR  
RESIDENCIAL NOS ESTADOS BRASILEIROS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias Renováveis

Orientador: Professor André Germano, D. Eng.

Campina Grande  
2018

LAYSA MAYRA UCHÔA DA SILVA

VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA O SETOR  
RESIDENCIAL NOS ESTADOS BRASILEIROS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energias renováveis

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador:** Rômulo Raimundo Maranhão do Valle  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor André Germano, D. Eng.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG



## RESUMO

Micro e mini geração podem ser uma opção atraente para o setor residencial brasileiro devido ao constante aumento das tarifas elétricas residenciais se comparado ao preço da eletricidade gerada por micro e mini gerações. Com essa motivação e considerando o imenso potencial brasileiro para a geração solar, neste trabalho foi realizado um estudo que visa estimar o preço da energia elétrica aplicado a geração distribuída de energia solar fotovoltaica. A avaliação foi feita para todos os 27 estados brasileiros da federação e como resultado foi obtido o Custo Nivelado de Energia (*Levelized Cost Electricity*, LCOE) para um sistema fotovoltaico com aplicação no setor residencial e foi calculado o tempo de retorno do investimento. Esses dados foram usados como base para avaliar o potencial econômico da energia solar no Brasil. Como resultado, foram encontrados preços altamente competitivos referentes aos sistemas fotovoltaicos se comparados à fontes de energia tradicionais. O preço final da energia gerada por um sistema fotovoltaico é influenciado por diversos fatores, e neste trabalho foram considerados cenários específicos para a realização dos cálculos como aplicação ao setor residencial em um sistema fotovoltaico de pequena capacidade instalada 1.5 kWp.

**Palavras-chave:** viabilidade econômica, geração distribuída, LCOE, sistema fotovoltaico

## ABSTRACT

Micro and mini-generation can be an attractive option for the Brazilian residential sector because of the constant rise of the conventional electricity price compared with the micro and mini-generation. Having this motivation and considering the great availability of solar resource Brazil, it was calculated an economic assessment of photovoltaic systems applied in distributed generation. This assessment was performed for the 27 Brazilian states as result it was calculated the levelized cost of electricity (LCOE) for the photovoltaic systems applied in the residential sector and calculated the payback (return time of the investment). These two measures are used to evaluate the economic potential of a photovoltaic system in Brazil. As a result, it was found competitive prices for the use of SISTEMA FOTOVOLTAÍCO systems applied to distributed generation. The LCOE price for SISTEMA FOTOVOLTAÍCO system is influenced by several parameters and in this work, it was considered a scenario in specific, such as considering the application to the residential sector and a small photovoltaic system with an installed capacity of 1.5 kWp.

**Keywords:** Economic viability, distributed generation, LCOE, photovoltaic system

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Densidade Populacional no Brasil .....  | 3  |
| Figura 2 – Divisão regional dos estados brasileiros .....  | 5  |
| Figura 3 – Renda per capita no Brasil .....  | 7  |
| Figura 4 – Mapa de exclusão elétrica e índice de desenvolvimento humano no Brasil ...                      | 9  |
| Figura 5 – Organização do Sistema brasileiro de eletricidade .....   | 10 |
| Figura 6 – Valor final do preço da eletricidade .....  | 14 |
| Figura 7 – Consumo no setor residencial por região em 2014 .....   | 14 |
| Figura 8 – Curva de carga em um dia comercial no setor brasileiro residencial.....                         | 15 |
| Figura 9 – Consumo no setor residencial por região em 2014 .....   | 16 |
| Figura 10 – Climograma de São Paulo .....  | 17 |
| Figura 11 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede .....   | 21 |
| Figura 12 – Custos dos sistemas fotovoltaicos no Brasil .....  | 22 |
| Figura 13 – Irradiação horizontal global .....   | 26 |
| Figura 14 – Tarifas da energia incluindo taxas.....  | 28 |
| Figura 15 – LCOE preço em Euro/kWh para todos os estados brasileiros .....                                 | 29 |
| Figura 16 – Diferença entre o preço tradicional e o preço LCOE da eletricidade .....                       | 29 |
| Figura 17 – Informações para o cálculo do LCOE.....  | 36 |
| Figura 18 – Informação para o cálculo da energia durante o tempo de vida do sistema<br>fotovoltaicos ..... | 37 |
| Figura 19 – Cálculo do fluxo do sistema fotovoltaico.....  | 37 |
| Figura 20 – Fator de Capacidade a ser utilizado no cálculo do LCOE .....                                   | 38 |
| Figura 21– Resultados do cálculo LCOE .....  | 39 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Sigla dos estados brasileiros .....                           | 3  |
| Tabela 2 – Avaliação de custos .....                                     | 25 |
| Tabela 3 – Projeção IPCA .....   | 27 |
| Tabela 4 – Resultados do LCOE para todos os estados brasileiros.....     | 35 |
| Tabela 5 – Tarifa de energia elétrica sem e com impostos e encargos..... | 40 |
| Tabela 6 – Radiação solar média e fator de capacidade .....              | 41 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica             |
| CCEE  | Câmara de Comercialização de Energia Elétrica    |
| CMSE  | Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico        |
| CNPE  | Conselho Nacional de Política Energética         |
| EPE   | Empresa de Pesquisa Energética                   |
| EUR   | Euro   |
| PIB   | Produto Interno Bruto                            |
| GW    | Gigawatt   |
| IEEE  | Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos |
| kW    | Kilowatt   |
| kWh   | Kilowatt hour                                    |
| LCOE  | Custo Nivelado de Energia                        |
| MME   | Ministério de Minas e Energia do Brasil          |
| N     | Norte  |
| NE    | Nordeste   |
| VAL   | Valor Atual Líquido                              |
| O&M   | Operação e Manutenção                            |
| ONS   | Operador Nacional do Sistema Elétrico            |
| R\$   | reais  |
| S     | Sul  |
| SE    | Sudeste  |
| SIN   | Sistema Interligado Nacional                     |
| TUSD  | Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição         |
| TUST  | Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão          |
| Wp    | Watt pico  |

# SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| Resumo .....  | v    |
| Abstract.....   | vi   |
| Lista de Ilustrações .....                            | vii  |
| Lista de Tabelas .....                                | viii |
| Lista de Abreviaturas e Siglas .....                  | ix   |
| Sumário.....  | x    |
| 1 Introdução .....                                    | 1    |
| 1 Aspectos geográficos do brasil .....                | 2    |
| 1.1 População.....                                    | 2    |
| 1.2 Geografia .....                                   | 4    |
| 1.3 Economia .....                                    | 5    |
| 2 Sistema elétrico brasileiro.....                    | 7    |
| 2.1 Programa luz para todos .....                     | 8    |
| 2.2 Instituições do sistema elétrico brasileiro ..... | 10   |
| 2.3 Tarifa de eletricidade do setor residencial ..... | 13   |
| 2.4 Consumo próprio .....                             | 15   |
| 2.5 SIN .....   | 17   |
| 2.6 Sistemas isolados .....                           | 18   |
| 2.7 Resolução Normativa 482 e 687 ANEEL.....          | 19   |
| 2.8 Mercado Brasileiro para Geração Distribuída ..... | 20   |
| 3 Análise econômica.....                              | 22   |
| 3.1 Referencial Teórico.....                          | 22   |
| 4 Métodos para avaliação econômico-financeiro .....   | 24   |
| 5 Resultados e discussões .....                       | 27   |
| 6 Conclusões .....                                    | 30   |
| Referências .....                                     | 31   |
| APÊNDICE A .....                                      | 35   |
| 1 Apêndice A1 .....                                   | 35   |
| 2 Apêndice a2 .....                                   | 36   |
| ANEXO A .....   | 40   |

# 1 INTRODUÇÃO

Há uma crescente necessidade do sistema elétrico brasileiro de diversificar a sua matriz energética de forma a reduzir a dependência em fontes de energia provenientes de hidroelétricas e combustíveis fósseis, e também há uma necessidade de aumentar a segurança energética, ou seja, ser menos independente. Das fontes de energias renováveis disponíveis, a energia solar e eólica são as mais usadas ao redor do mundo. Existem três fatores que fazem a energia solar, em particular, mais adequada para ser adotada para a geração de energia elétrica no Brasil tais como baixa dos preços dos painéis e inversores, alta nos preços das tarifas elétricas, e a imensa disponibilidade do recurso solar. (DE MARTINO JANNUZZI et. al, 2013)

A radiação solar característica presente no Brasil (1500 - 2500 kW/m<sup>2</sup>/ano) é muito maior que na Alemanha (900 – 1250 kW/m<sup>2</sup>/ano) ou Espanha (1200-1850 kW/m<sup>2</sup>/ano) que são países que lideram na geração de energia solar (MARTINS, et. al, 2007). O constante aumento no preço da eletricidade e o decréscimo no preço dos painéis e módulos fazem da energia solar uma das mais promissoras fontes de energia. Mas não apenas esses três fatores como também a necessidade da diversificação da matriz energética do país e a necessidade de aumentar a segurança energética pela redução da dependência em hidroelétricas fazem com que a energia solar seja uma das fontes mais adequadas e promissoras para a revolução em fontes renováveis no Brasil.

Com o intuito de introduzir e estimular o uso de energias renováveis na matriz energética brasileira, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, 2012) estipulou a normativa resolutiva 482, em 2012. Essa normativa regula a micro e mini geração para geração distribuída no sistema brasileiro. O sistema implementado no Brasil é o de Sistema de Compensação de Energia Elétrica, também conhecido como *net metering*. Em 2017, a potência instalada considerando a geração distribuída usando sistemas fotovoltaicos era de 91 MW com 11.3 mil plantas solares com as quais o potencial de energia solar não está ainda explorado pelo mercado brasileiro (ANNEL, 2017).

Esse trabalho consiste na realização do estudo do potencial econômico de um sistema de pequeno porte aplicado ao setor residencial brasileiro considerando os vinte e sete estados brasileiros. Os objetivos específicos deste trabalho de final de curso

são: 1. Calcular o potencial econômico e financeiro de um sistema solar fotovoltaico no Brasil usando o *net metering* e 2. Ilustrar os resultados utilizando o Sistema de Informação Geográfica, SIG.

# 1 ASPECTOS GEOGRÁFICOS DO BRASIL

Neste tópico, os aspectos gerais e relevantes do Brasil tais quais população, clima e economia são abordados. As informações aqui expressas vão assegurar que as análises podem estejam contextualizadas com o atual cenário brasileiro.

## 1.1 POPULAÇÃO

A população do Brasil é de aproximadamente 207 milhões de habitantes, de acordo com o IBGE em fevereiro de 2017, e é o quinto país mais populoso com 2.81% de toda a população mundial (BRASIL, 2010). O Brasil é altamente urbanizado com 85% da população vivendo em áreas urbanas (JAMES et. al, 2017).

O Brasil tem sua população concentrada na região da costa Atlântica devido ao fluxo migratório ter iniciado nesta região. As regiões com altas concentrações de pessoas são categorizadas como cidade-região, por exemplo, a grande região de São Paulo, que é composto por um total de 89 cidades. A região de São Paulo concentra 14.4% da população brasileira, de acordo com o censo do IBGE elaborado em 2010, e contam com 292 bilhões de reais para o PIB brasileiro, o que representa um quarto do PIB total do Brasil (BRASIL, 2010). Para promover entendimento de como a população brasileira está organizada, um mapa foi elaborado e é mostrado na Figura 1 com a densidade populacional em 2016 (BRASIL, 2016), cada estado pode ser identificado na Tabela 1. Como pode ser visto no mapa da Figura 1 abaixo, a população está mais concentrada nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília (Distrito Federal).

Figura 1 – Densidade Populacional no Brasil

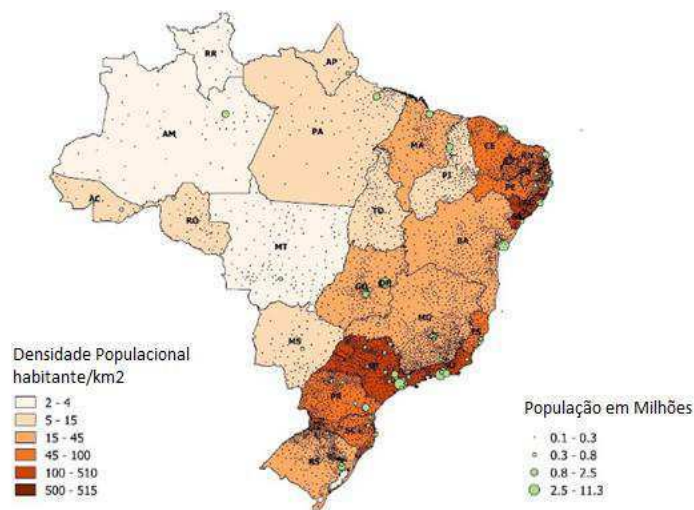


Tabela 1 – Sigla dos estados brasileiros

| Estados             | Siglas dos estados brasileiros |
|---------------------|--------------------------------|
| Sergipe             | SE                             |
| Pará                | PA                             |
| Minas Gerais        | MG                             |
| Roraima             | RR                             |
| Distrito Federal    | DF                             |
| Mato Grosso do Sul  | MS                             |
| Mato Grosso         | MT                             |
| Paraná              | PR                             |
| Santa Catarina      | SC                             |
| Ceará               | CE                             |
| Goiás               | GO                             |
| Paraíba             | PA                             |
| Amapá               | AP                             |
| Alagoas             | AL                             |
| Amazonas            | AM                             |
| Rio Grande do Norte | RN                             |
| Tocantins           | TO                             |
| Rio Grande do Sul   | RS                             |
| Rondônia            | RO                             |
| Pernambuco          | PE                             |
| Acre                | AC                             |
| Rio de Janeiro      | RJ                             |
| Bahia               | BA                             |
| Maranhão            | MA                             |

|                |    |
|----------------|----|
| São Paulo      | SP |
| Piauí          | PI |
| Espírito Santo | ES |

## 1.2 GEOGRAFIA

A área do território brasileiro é de 8.515.767,049 km<sup>2</sup>, e por isso o Brasil é considerado o maior país em território da América do Sul. O Brasil é composto de 27 estados federativos que estão organizados em regiões tais quais: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste, e Sul que são assim detalhadas abaixo (SILVA, 2014). A divisão foi proposta em 1970 para conectar estados com características similares tais como fatores sociais, naturais e econômicos. No entanto, as regiões não tem representação política. O mapa contendo todas as regiões pode ser visto na Figura 2.

- Norte: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Tocantins, Roraima, Rondônia
- Nordeste: Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe
- Centro-Oeste: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Brasília (Distrito Federal)
- Sudeste: Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro
- Sul: Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina

Figura 2 – Divisão regional dos estados brasileiros



Fonte: (GEORESUMOS, 2013)

### 1.3 ECONOMIA

O Brasil é a nona economia do mundo em termo de PIB (Produto Interno Bruto). O PIB brasileiro de € 1,67 bilhões em 2016 (BRASIL, 2010). Nos anos recentes, a economia brasileira tem sofrido uma forte crise política e ao mesmo tempo um forte recesso econômico acarretando em altas taxas de desemprego. Entretanto, de acordo com o Fundo Monetário Internacional (FMI), o Brasil irá recuperar o seu oitavo posto entre as maiores economias do globo em 2017, e com a possibilidade de continuar nesta posição em 2021, e em um futuro próximo Brasil poderá ser considerado como um país de classe média (HARDER, 2016).

Considerando o tamanho, a economia e a população, o Brasil é um dos países mais fortes da América do Sul e é um potencial líder para os países em desenvolvimento. De acordo com o Ministério de Minas e Energias as fontes renováveis participam em cerca de 42.5% na matriz energética brasileira em 2015 (BRASIL, 2015). É importante que o Brasil continue investindo e melhorando sua matriz energética considerando o uso de energias renováveis. É também interessante para o Brasil continuar aumentando o uso de energias renováveis em sua matriz energética pois dessa forma o país pode melhorar

também sua economia. É visto que um aumento de 1% na produção de energias renováveis produz um aumento real de até 0.20% no PIB do país (PAO; FU, 2013).

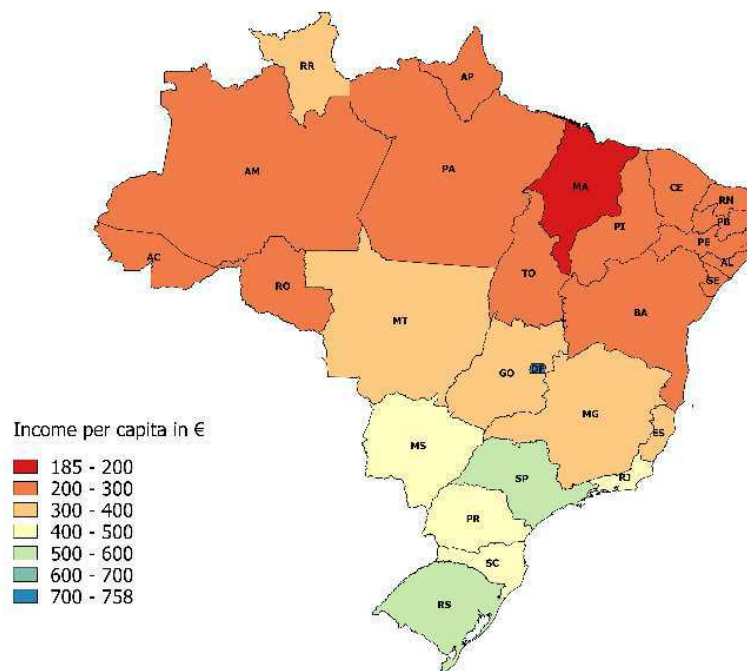
Uma possível melhoria econômica no país nas próximas décadas pode significar um aumento na demanda elétrica, tanto de consumo como de produção. O aumento da produção elétrica pode representar uma oportunidade para reorganizar o sistema energético de forma a de tornar o país mais sustentável e com uma base energética mais sólida. Energias renováveis são uma ótima alternativa para a geração de energia elétrica, especialmente a energia solar, já que a mesma pode ser produzida em larga escala e contribuir para a geração distribuída (LUCON; GOLDEMBERG, 2009).

Geração distribuída pode ser definida é uma forma de produção de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou situada no próprio consumidor. A geração distribuída é diretamente associada com a criação de empregos e a promoção de seguridade energética. Considerando os aspectos gerais do Brasil, a atual moeda é o real e foi equivalente a 0.31 euro em fevereiro de 2017 e com uma crescente taxa de desvalorização chegando à 1 euro equivaler à 4,23 reais em maio de 2018. A média salarial está por volta de R\$ 954,00 mensais, sendo um dos salários médios mais baixos no Maranhão com uma média salarial de R\$ 470,00 mensais e com uma das médias salariais mais altas sendo encontrada nas regiões de São Paulo e Brasília com médias salarias de R\$1580,00 e R\$ 2150,00, respectivamente, de acordo com o IBGE (BRASIL, 2018). A região nordeste e as áreas rurais representam as áreas mais pobres do Brasil. A Figura 3 mostra a renda per capita mensal no Brasil.

De acordo com dados publicados pela receita federal para o período de 2007 até 2013, 0.1% dos brasileiros possuem 6% do rendimento bruto como também 6% do total da receita bruta. Além disso, 5% da população possui 28% da receita bruta e 28% dos ativos e royalties do Brasil (BRASIL, 2016). Esses números mostram que o sistema brasileiro apresenta uma enorme desigualdade social no país associada a má distribuição de renda. Esses fatores são negativos para o crescimento do país. Há uma enorme desigualdade social no Brasil, a qual é possível ser notada pela Figura 3 considerando o salário *per capita* mensal.



Figura 3 – Renda per capita no Brasil



Fonte: (IBGE, 2016)

## 2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A matriz energética brasileira é basicamente renovável, ou seja, proveniente de fontes renováveis, especialmente proveniente de hidroelétricas. A geração de energia elétrica utilizando hidroelétricas contribui para 64% do abastecimento doméstico no país. Em geral, as fontes de energias renováveis contribuem com 75.5% do abastecimento doméstico total, o que significa que o Brasil tem uma matriz energética relativamente limpa (BRASIL, 2016).

No ano de 2005, o setor energético brasileiro foi responsável pela emissão de 329 milhões de toneladas de dióxido de carbono. A taxa média brasileira de emissão de tons de dióxido de carbono por habitante é de 1.77 por ano, o que é considerado abaixo da média global que é 4.44 tons de dióxido de carbono por habitante (MARCOVITCH, 2011).

Esta seção irá cobrir aspectos importantes do sistema de energia brasileiro tais quais a geração de energia, o preço da energia, e o sistema regulatório brasileiro de energia como um todo com o objetivo de fazer uma avaliação das vantagens econômicas que o país poderá usufruir adotando e incentivando o uso de energia solar. De acordo com o IBGE 97.8% dos domicílios no Brasil tem acesso à eletricidade em 2010, e em média 1.5 milhões de casas privadas tem acesso a eletricidade por ano. (BRASIL, 2010) Isso mostra que há ainda uma lacuna a ser preenchida para possibilitar o acesso de energia elétrica a todos os brasileiros.

Em relação à história do sistema elétrico brasileiro, duas importantes fases devem ser consideradas. A primeira se refere à privatização dos processos de distribuição de energia pela Lei número 9.427 em 1996 e a criação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Além disso, foi determinado que a exploração de energia hidráulica é dada por leilão fazendo possível ter um mercado aberto (BRASIL, s.d.). Em 2004, durante o governo de Lula, uma série de mudanças relevantes no sistema elétrico brasileiro ocorreram com o lançamento do programa Novo Modelo do Setor Elétrico que tiveram como objetivo: inclusão social, seguridade energética e preços acessíveis (BRASIL, s.d.). Em resumo o setor elétrico brasileiro é composto por 77 distribuidores de eletricidade que são responsáveis pela administração e operação de mais de cem mil quilômetros de linhas de transmissão que cobrem todo o país com mais de 230 kV.

## 2.1 PROGRAMA LUZ PARA TODOS

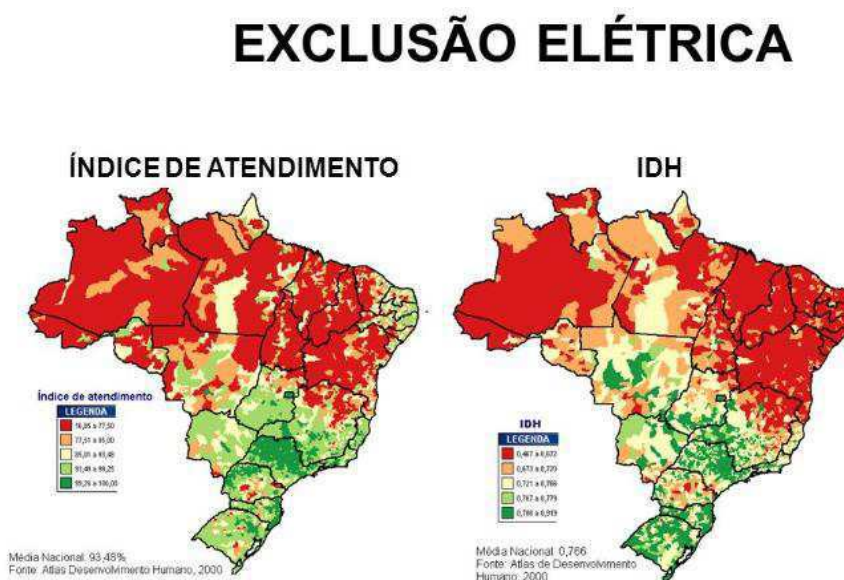
Um programa que foi muito importante para o desenvolvimento econômico e social brasileiro desenvolvido pelo governo brasileiro em 2003 foi o programa “Luz para Todos”. O programa foi criado pelo decreto 4.873, e teve como objetivo levar eletricidade a todos os brasileiros, especialmente àqueles que se encontram nas áreas rurais: 10 milhões de brasileiros se encontravam vivendo em áreas rurais e sem nenhum acesso à eletricidade. Deste total, cerca de 90% deles ganhavam menos de três salários mínimos por mês e a maioria trabalhava em agricultura familiar (BRASIL, s.d.).

O programa teve iniciativa do Ministério de Minas e Energias em parceria com a Eletrobrás e sendo executado com as concessionárias de energia. Os grupos

brasileiros que ainda não tinham acesso à eletricidade se encontravam também entre os grupos de menores índices de desenvolvimento humano (IDH) como pode ser visto na Figura 4. A imagem mostra o relacionamento entre baixos IDH e a falta de acesso à eletricidade dos brasileiros.

Como o resultado deste programa, em novembro de 2016 quase 15 milhões de pessoas tiveram acesso à eletricidade, alcançando o objetivo inicial de prover acesso a 10 milhões de brasileiros já no começo de 2009. O Ministério de Minas e Energia promoveu uma pesquisa para entender o impacto deste projeto na vida das pessoas chegando a resultados impressionantes; cerca de 92.2% disseram que melhoram as suas vidas; proximamente 50% responderam que eles são capazes de estudar durante à noite; cerca de 40% tiveram acesso à centros de saúde. Além disso, tornou possível para às pessoas que elas utilizassem eletrodomésticos; liquidificador (1.5 milhões), televisão (2.6 milhões), celulares (2 milhões) e outros eletrodomésticos. Esse aumento de pessoas que poderiam utilizar, e assim como também comprar os produtos trouxeram uma inserção de 7.2 bilhões de reais na economia brasileira que representa cerca de 42% do total gasto pelo governo brasileiro (BRASIL, 2013).

Figura 4 – Mapa de exclusão elétrica e índice de desenvolvimento humano no Brasil



Fonte: (BRASIL, 2000)

Sistemas fotovoltaicos foram uma opção para o programa Luz para todos com o objetivo de levar eletricidade para áreas isoladas. Além disso, sistemas fotovoltaicos podem ser usados na geração distribuída como foi utilizado pela COELBA (Companhia

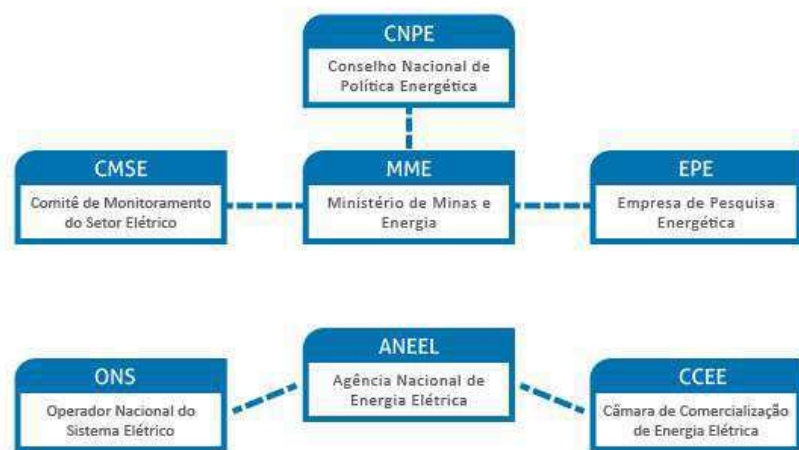
de Eletricidade do Estado da Bahia) sob a diretriz do programa. A COELBA, distribuidora no estado da Bahia, já conectou 18 mil residências com sistemas solares fotovoltaicos.

A distribuidora forneceu um cadastro para esses usuários, pois eles poderiam receber as faturas mensalmente e ter acesso aos serviços de manutenção dos sistemas fotovoltaicos prestados pela COELBA. Em termos de estrutura institucional, o sistema elétrico é organizado hierarquicamente como pode ser visto na Figura 5.

## 2.2 INSTITUIÇÕES DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Há várias instituições brasileiras que ajudam a regular e manter o sistema elétrico brasileiro. Em termos de estrutura institucional, o sistema elétrico é organizado hierarquicamente como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Organização do Sistema brasileiro de eletricidade



Fonte: (CCEE, s.d)

Cada setor brasileiro tem suas responsabilidades e deveres assim como podem ser vistos na descrição abaixo:

### Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)

O CNPE é o conselho consultivo da presidência da república responsável por formular políticas nacionais e diretrizes de energia a fim de garantir o fornecimento de energia para todas as regiões do Brasil. Além disso, é responsabilidade do CNPE rever e avaliar a matriz energética brasileira para fornecer planos específicos para o país periodicamente. (CCCE, s.d.)

### Ministério de Minas e Energia (MME)

O MME foi criado em 1960 por meio da lei nº 3.782. É o responsável por gerenciar as políticas de energia no Brasil, incluindo a formulação e aplicação das diretrizes definidas pelo CNPE. (ONSE, s.d.).

### Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

As principais funções da EPE são promover estudos e pesquisas para apoiar o planejamento energético nacional. Em outras palavras, a EPE fornece ao público apoio técnico ao planejamento energético em diversos setores, como petróleo, gás natural, combustíveis fósseis e derivados, fontes renováveis e eficiência energética. A EPE foi criada em março de 2004 pelo artigo 2 da Lei 10.847 e está vinculada ao MME. (EPE, s.d.)

### Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)

O CMSE foi criado através da Lei nº 10.484, de março de 2004, sob a coordenação do MME. Uma das responsabilidades do CMSE é exercer permanentemente controle e avaliação do sistema de energia no Brasil para assegurar o fornecimento de energia continuamente. (ONSE, s.d.). Algumas funções específicas desta instituição são analisar aspectos como: a qualidade, demanda e fornecimento de energia elétrica considerando a condição hidrológica, a configuração do sistema em relação à produção e fornecimento de eletricidade, gás e petróleo, e a conexão da rede elétrica e de gás, não apenas no Brasil, como internacionalmente também.

### Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

A ANEEL foi criada através da lei nº 9.427, de 1996, e está associada ao MME. No entanto, deve ser considerada um sistema autônomo sob regime especial. A ANEEL é responsável pela supervisão e regulamentação da geração, transmissão e distribuição de eletricidade, para regular o serviço de energia e preços justos, estimular a conclusão no mercado de energia e a qualidade e cobertura universal da energia elétrica. A ANEEL é um mediador entre consumidores e fornecedores de energia com sua principal missão de melhorar o mercado de energia, a fim de melhor atender os consumidores.

### Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

O ONS é uma instituição sem fins lucrativos criada em 1998 através da lei nº 9.648. A entidade trabalha sob a supervisão da ANEEL, e é responsável pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) que como mencionado, são as linhas de transmissão de energia elétrica que cobrem todo o Brasil. O ONS também é responsável pela coordenação e operação do SIN e pelo planejamento de sistemas de energia isolados. (ONSE, s.d.).

### Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)

A CCEE é uma instituição sem fins lucrativos, responsável por gerenciar o mercado brasileiro de eletricidade. A CCEE trabalha como um regulador do mercado de energia e tem como função promover leilões de compra e venda de energia e garantir boas práticas comerciais através do monitoramento contínuo do mercado de energia elétrica brasileiro. (CCCE, s.d.)

## 2.3 TARIFA DE ELETRICIDADE DO SETOR RESIDENCIAL

Neste trabalho, é importante investigar as atuais tarifas elétricas residenciais que serão relevantes para avaliar o potencial econômico dos sistemas fotovoltaicos para o uso residencial. As tarifas são usadas para cobrir os custos operacionais das distribuidoras, para estimular a expansão e promover a melhoria do sistema elétrico brasileiro. Os preços são regulados pela agência brasileira ANEEL anualmente e a cada quatro ou cinco anos os preços são revisados com as distribuidoras. (OZORIO, 2015).

A energia é vendida em reais por kWh e o preço cobre os custos desde a geração até que a eletricidade seja entregue na casa do consumidor. Os preços são compostos não apenas pela geração, transmissão e distribuição, mas também incluem impostos e encargos. O preço é composto basicamente pelos custos de aquisição dos produtores, sistema de distribuição, sistema de transmissão, perdas técnicas e perdas não técnicas, tributos e encargos (ABRADEE, s.d.).

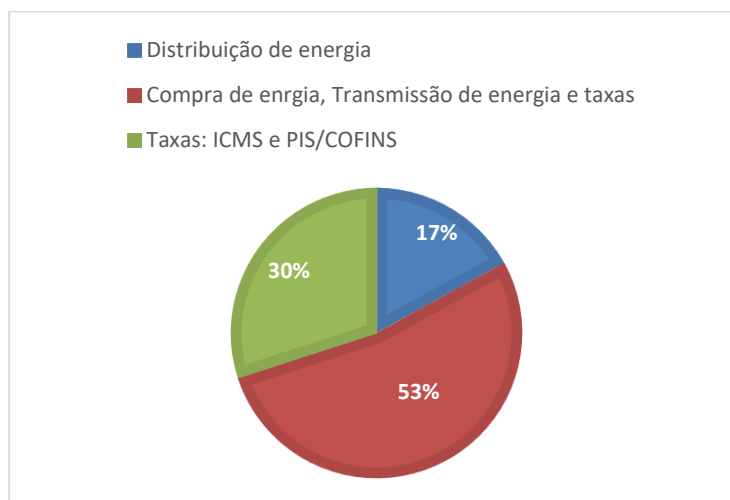
Os custos de aquisição da eletricidade são chamados TE (Tarifa de Energia) e são dados ao consumidor sem incluir margens de lucro. Os custos com operação e manutenção juntamente com as despesas de capital estão incluídos na chamada Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Os custos relacionados à transmissão são alocados na categoria chamada TUST (Taxa de Uso de Sistemas de Transmissão Elétrica). Os custos relacionados a perdas são devidos a perdas técnicas e perdas não técnicas. As perdas técnicas são devidas ao efeito Joule nos equipamentos, perdas dielétricas etc. As perdas não técnicas estão relacionadas à gestão de energia pelas distribuidoras assim como também estão incluídos nesta categoria os erros no processo de faturamento e contrabando de eletricidade, entre outros (ABRADEE, s.d.).

De acordo com a ANEEL, pode ser visto na Figura 6 que o preço da eletricidade consiste em 3 fatores, dos quais cerca de 53% estão relacionados a custos com transmissão, aquisição e impostos, aproximadamente 30% dos custos são de impostos e 17% estão relacionados à distribuição de energia elétrica (ANNEEL, 2016).

Em relação aos impostos cobrados na energia elétrica, o ICMS é o imposto sobre a circulação de bens e serviços. Este imposto é estipulado por cada estado; portanto, pode variar de um estado para outro. O PIS significa “Programa de Integração Social”. A COFINS significa Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social. Esses impostos são cobrados pelo governo federal para fornecer e manter programas orientados

para o trabalhador. As taxas são calculadas de forma não cumulativa com 1,65% (PIS) e 7,6% (COFINS) (ELEKTRO, s.d.).

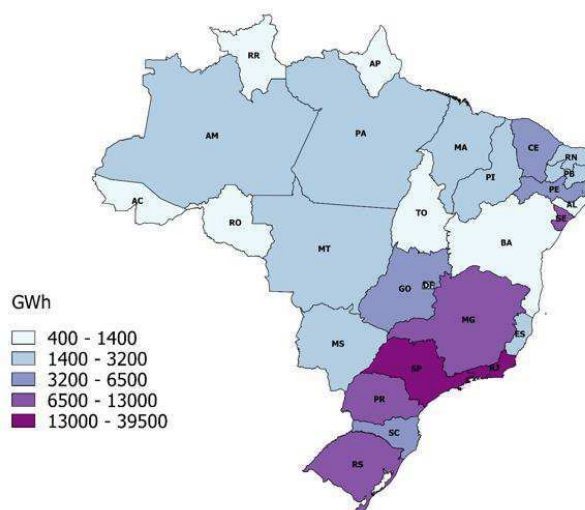
Figura 6 – Valor final do preço da eletricidade



Fonte: (ANEEL, 2016)

Para entender mais sobre o setor elétrico residencial no Brasil, foi ilustrado o consumo em 2014 para este setor em cada estado do país. É de se notar que os estados de menor renda são também os estados com baixo consumo de energia elétrica, como pode ser visto nos estados do Norte e Nordeste do país. A parte mais rica é o Sul e Sudeste do Brasil e são também aqueles onde o consumo de energia elétrica é mais alto. O estado de São Paulo é o de maior consumo alcançando 39.437 GWh, em 2014.

Figura 7 – Consumo no setor residencial por região em 2014



Fonte: (BRASIL, 2016)

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2016, o número de consumidores residenciais no Brasil é de aproximadamente 67,7 milhões, com uma média de consumo mensal de 194 kW / mês. Esse consumo médio é menor se comparado a



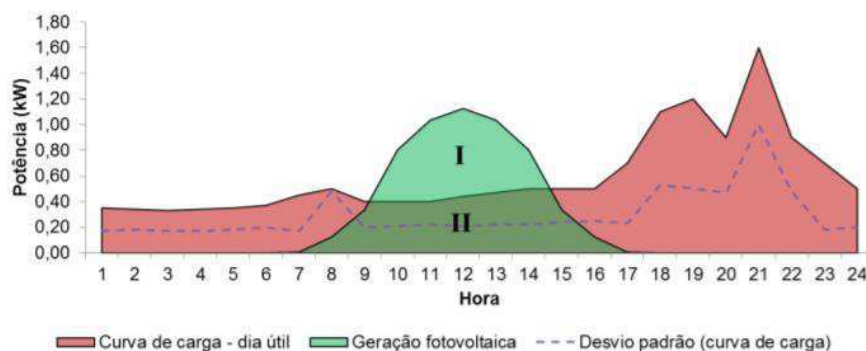
países desenvolvidos como por exemplo na Alemanha que o consumo médio é de 293 kW / mês.

## 2.4 CONSUMO PRÓPRIO

Para entender se o sistema fotovoltaico é rentável, é importante analisar o comportamento de autoconsumo dos consumidores brasileiros e a geração de energia fotovoltaica através das análises de curvas de carga. De acordo com (ICMS / CONFAZ 6/2013), o autoconsumo é a parte da energia gerada pelo sistema fotovoltaico que é consumido na fonte. Essa parte da energia não é, portanto, inserida na grade. O autoconsumo é uma ferramenta importante para melhorar a gestão de energia entre o sistema de energia autogerado e a energia da rede e tem um impacto importante na eficiência do sistema energético (CASTILLO-CAGIGAL, 2011).

A Figura 8 mostra a área I como a quantidade de energia que é entregue à rede e a área II como a quantidade de energia que é consumida pelo cliente.

Figura 8 – Curva de carga em um dia comercial no setor brasileiro residencial



Fonte: (NAKABAYASHI, 2014)

A Figura 8 mostra a curva de carga de um sistema fotovoltaico e a curva de carga útil no setor residencial. Pode-se ver que o pico de demanda ocorre durante o período noturno das 18:00 às 22:00. Uma possível explicação é que o retorno de pessoas do trabalho para as suas casas aumenta o consumo de energia neste período. Esse comportamento da curva de carga é semelhante durante os finais de semana (sábado e domingo). Como resultado, para um sistema de classe residencial verificou-se uma média de 54,8% de autoconsumo sendo utilizado por um dia útil, 53,6% para um sábado e 52%

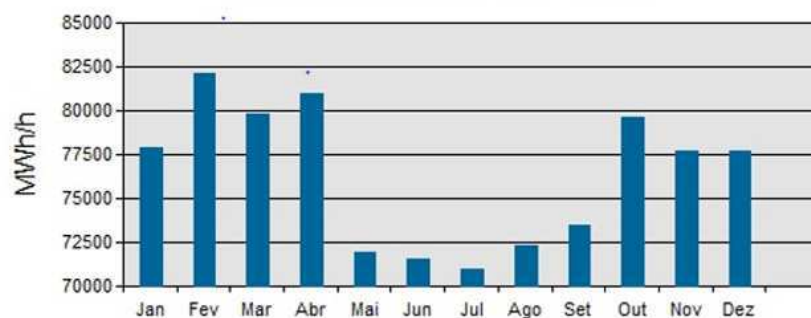
para um domingo. O valor médio do autoconsumo (%) considerando os finais de semana e o dia útil seria de 54,3%, com desvio padrão entre 30 a 73% (NAKABAYASHI, 2014).

A porcentagem de autoconsumo é dada pela equação 1.

$$\% \text{ Consumo próprio} = \text{área II} / (\text{área I} + \text{área II}) \quad (1)$$

A demanda de energia elétrica durante os meses do ano pode ser vista na Figura 9. O gráfico mostra uma demanda média de eletricidade em MWh/h durante 2016. Na Figura 9, pode-se observar que a demanda de energia é maior durante o verão e a primavera (NAKABAYASHI, 2014).

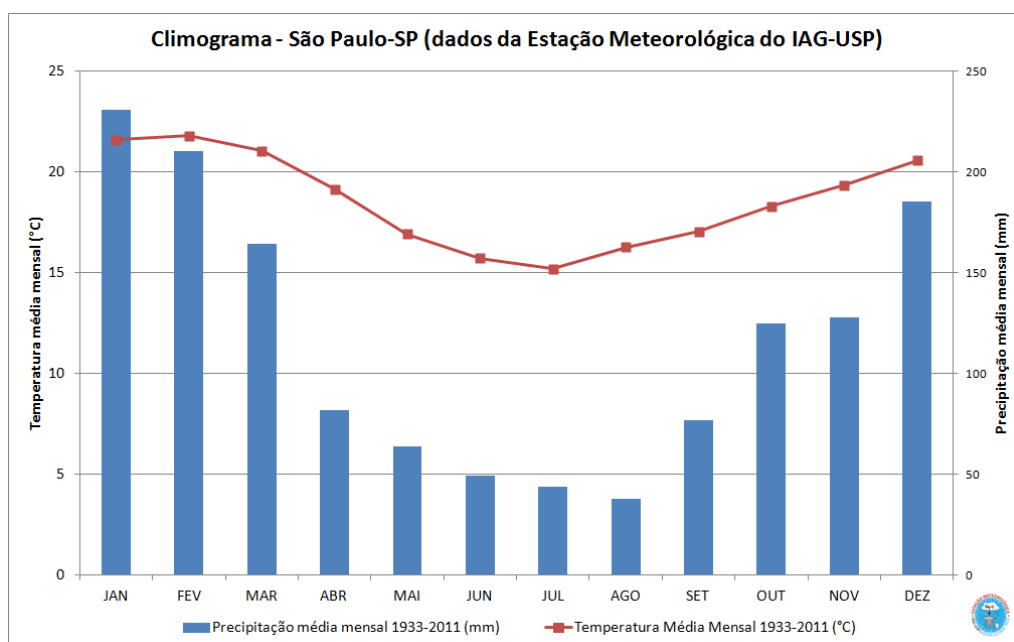
Figura 9 – Consumo no setor residencial por mês em 2014



Fonte: (ONS, 2016)

A maior demanda de eletricidade durante esta estação pode ser explicada pelo uso de sistemas de ar condicionado. Por exemplo, o consumo de eletricidade de uma casa no sul do Brasil aumentou de 300 kWh / mês para 620 kWh / mês devido ao uso de um sistema de ar condicionado (FEDRIGO ET. AL, 2009). Como se pode observar na Figura 10, a temperatura durante o ano tem um comportamento similar à demanda de eletricidade, confirmando o aumento no uso de sistemas de ar condicionado.

Figura 10 – Climograma de São Paulo



Fonte: (ONS, 2016)

## 2.5 SIN

O sistema interligado de rede elétrica do Brasil é chamado de SIN. A rede SIN é formada por quatro subsistemas que são Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e uma pequena parte da região Norte que formam o SIN. O SIN é composto principalmente por energia hidrelétrica, mas também termoeletrica e eólica. Os sistemas isolados compõem 3% da energia total do país.

O ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) é responsável pelo controle e coordenação do SIN sob o regulamento da ANEEL. A interligação do SIN permite a troca de energia elétrica entre diferentes regiões do Brasil. A principal fonte de energia do Brasil é a hidrelétrica, o que torna necessário ter essa interconexão para aproveitar melhor as bacias hidrográficas e os diferentes regimes hidrológicos. Um sistema elétrico mais complementar em sua matriz energética aumenta também a segurança energética do sistema (ANEEL, s.d.).

O SIN está em constante processo de expansão, com o objetivo de conectar novas regiões e adicionar novas usinas hidrelétricas à rede. Em 2003, a extensão do SIN em km foi de 116.767,0 km. (ONSE, sd.) De acordo com a EPE, para 2019, a rede do SIN deverá

ser ampliada para 132.379 km em extensão total de suas linhas de transmissão (BRASIL, 2010).

## 2.6 SISTEMAS ISOLADOS

Os sistemas isolados são formados principalmente por usinas térmicas que usam combustíveis fósseis. Além disso, pequenas centrais hidrelétricas (PCH, Pequenas Centrais Hidrelétricas), usinas hidrelétricas (CGH, Centrais Geradoras Hidrelétricas) e termelétricas que utilizam biomassa. Os sistemas isolados estão localizados nos estados do Amazonas, Roraima, Acre, Amapá e Rondônia. O sistema isolado não pode trocar energia entre diferentes sistemas e não faz parte do SIN. Sistemas isolados fornecem 3% da produção total em uma área que representa 45% do total do território brasileiro (ANEEL, s.d.).

A Eletrobrás é responsável pelos sistemas isolados no Brasil. É importante notar que o preço da energia em sistemas isolados é muito maior do que a eletricidade gerada pela rede SIN. Há subsídios do governo que permitem que tais sistemas isolados tenham preços competitivos em relação aos sistemas integrados. O subsídio é para a compra de combustíveis fósseis e é chamado de CCC (Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis). Em 2008, a conta que todos os consumidores de energia elétrica tiveram que pagar em subsídio da CCC chegou a 3 bilhões de reais (ANEEL, s.d). Neste trabalho, avalia-se o potencial econômico da energia solar que pode ser vista também como opção para sistemas isolados.

## 2.7 RESOLUÇÃO NORMATIVA 482 E 687 ANEEL

É possível via o progresso da geração distribuída no Brasil em relação às leis, em particular, o decreto 2.003/1996 que regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor (BENEDITO, 2009). Outro decreto importante que podemos destacar é o decreto 5.163/2004 que permite a comercialização de energia elétrica entre concessionárias, permissionários e autorizados de serviços e instalações referentes à energia elétrica, bem como destes com seus consumidores no SIN. Esses decretos impulsionaram o consumo próprio de energia e a troca de energia por, por exemplo, utilizando créditos de energia.

Está vigente atualmente Resolução Normativa n. 482/2012, que através dela, a ANEEL permitiu e regulamentou a autoprodução de energia elétrica no mercado brasileiro de energia. Seguindo esta Normativa, os consumidores brasileiros poderiam gerar sua própria eletricidade usando energia renovável ou cogeração qualificada. Além disso, foi possível oferecer o excesso à rede local. A Resolução n. 482/2012 define a regulação para o sistema denominado como *net metering*, que permite que os usuários de micro geração ou mini geração forneçam de volta à rede o excesso de energia que não é consumida e, em troca, recebam créditos em sua rede energia futura de faturamento. (ANEEL, 2015).

Na Resolução Normativa n. 482, a ANEEL estipulou um prazo de 36 meses para os créditos gerados pelo consumidor a serem utilizados. Considera-se como micro e mini geração as seguintes características em relação à potência instalada:

- Micro geração distribuída: potência instalada menor ou igual à 100 kW;
- Mini geração distribuída: potência instalada superior à 100 kW e menor que 1MW;

Em 2015, a ANEEL atualizou a Resolução n. 482/2012 com a Resolução Normativa 687/2015. Esta nova Resolução trouxe algumas mudanças e novas regras para estimular ainda mais a micro e a mini geração no Brasil. De acordo com a normativa n. 682/2015, o tempo que o consumidor deve gastar os créditos gerados pelo excesso de energia elétrica entregue à rede foi estendido de 36 meses para 60 meses. Em relação à potência instalada, a Resolução n. 682 caracteriza micro e mini geração distribuída da seguinte forma:

- Micro geração distribuída: potência instalada é igual ou menor que 75 kW;
- Mini geração distribuída: potência instalada é superior à 75 kW e menor que 5MW;

Também permite ao consumidor utilizar a eletricidade gerada através de créditos distribuídos entre muitas unidades consumidoras, se as unidades consumidoras pertencerem à mesma pessoa. Isso significa que as unidades consumidoras estão registradas no mesmo CPF / CNPJ (Número de Registro de Pessoa Física). Este é o tipo de medição líquida que é chamado de medição líquida remota. (ANNEL, 2003).

Em relação ao tempo que a distribuidora de eletricidade deve conectar o sistema de micro e mini geração à rede, esse tempo passou de 82 dias para 34 dias com a Resolução n. 687. Além disso, o consumidor pode fazer o pedido ao distribuidor e monitorá-lo de forma on-line. Além dessa mudança, também foi incluída a possibilidade dos créditos de energia serem compartilhados entre as comunidades residenciais. (ANNEL, 2015).

Em 2015, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) definiu um convênio chamado ICMS 16/2015, que representa uma isenção de ICMS estadual para o excedente de energia gerada na micro e mini geração. Desta forma, o imposto é cobrado apenas pela eletricidade que é comprada pelo consumidor, e não pelos créditos gerados pelo Regulamento Normativo n. 682.

O sistema de medição aplicado no sistema de medição líquida é bidirecional ou feito com dois medidores de eletricidade, além do que a concessionária de eletricidade é responsável pelos custos com a instalação. Note-se que o grupo de consumidores B, de baixa tensão, tem que pagar o custo de disponibilidade mesmo que a geração de eletricidade seja superior ao consumo, o que significa que a cada mês o custo da disponibilidade tem que ser pago (ANNEL, 2016). Este trabalho enfoca o setor residencial B caracterizado por unidades consumidoras com tensão menor que 2,3 kV.

## 2.8 MERCADO BRASILEIRO PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Com o aumento de mais de 35% das tarifas de energia no setor residencial no Brasil, a ideia de geração distribuída atraiu mais pessoas. De 2014 a 2015, o número de

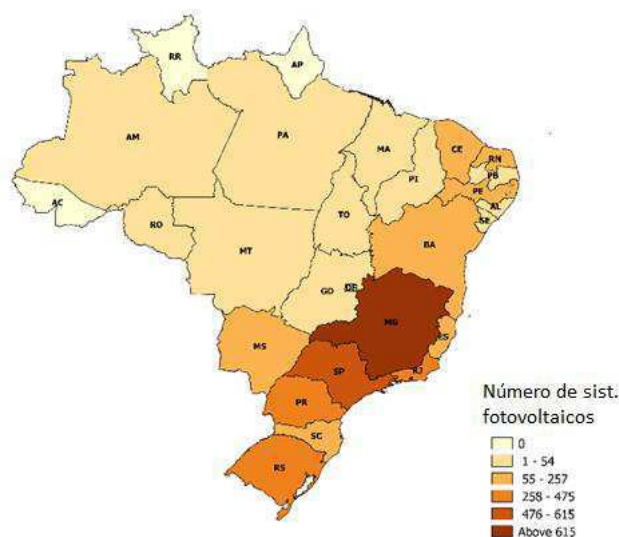
projetos que utilizam sistemas fotovoltaicos aumentou de 1148 para 1788, o que representa um aumento de 64% (IDEAL.; AHK-RJ, 2016).

Em 2015, a maioria (73%) do sistema instalado para micro e mini geração era utilizada no setor residencial, e com uma potência instalada (72% do total) menor ou igual a 5 kW (CASTRO, 2016). Enquanto na Alemanha, que já possui mais de um milhão de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, a potência instalada pelo setor residencial é geralmente inferior a 10 kWp (WIRTH, 2017).

Essa maior potência instalada do sistema fotovoltaico quando comparado ao Brasil, pode ser explicada pelos menores valores de radiação na Alemanha, que exigem mais potência instalada para produzir a mesma quantidade de energia. Além disso, o modelo adotado na Alemanha permitiu vender a eletricidade produzida, enquanto no Brasil não há troca de energia por dinheiro. No Brasil a energia é trocada por créditos de eletricidade (BARETZKY, 2015).

De acordo com a revista Procel Info (2016), até 2024, o número de unidades consumidoras que utilizam geração distribuída atingirá 1,2 milhão de unidades. Minas Gerais é o estado brasileiro com mais sistemas fotovoltaicos instalados e conectados à rede. Como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

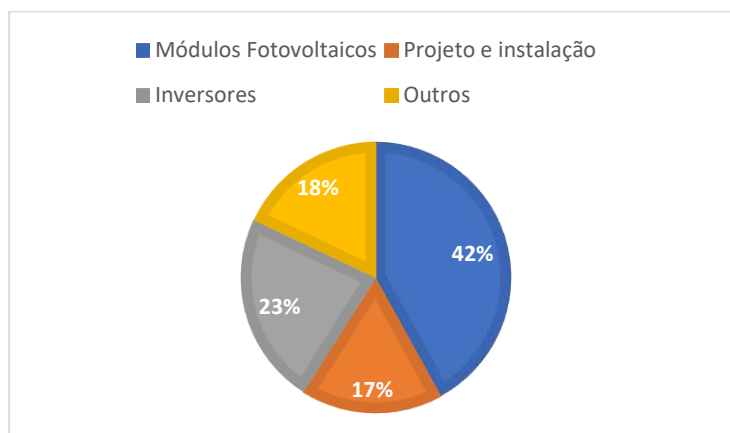


Fonte: (PROCEL, 2016)

A Resolução Normativa 687 estipula um prazo de 34 dias para a aprovação do sistema fotovoltaico junto à concessionária, mas a realidade é diferente, de acordo com a revista RBS (2015), para as 111 distribuidoras pesquisadas, o prazo médio para todos os contratos é de três meses e três semanas, ainda longe do estipulado pela ANEEL. De

acordo com o mesmo levantamento a composição dos custos é como mostra na Figura 12.

Figura 12 – Custos dos sistemas fotovoltaicos no Brasil



Fonte: (RBS Magazine, 2016)

### 3 ANÁLISE ECONÔMICA

Neste tópico, uma análise econômica será realizada usando algumas métricas como LCOE. Isso dará um contexto financeiro da tecnologia de geração de energia proposta no cenário brasileiro. Além disso, permitirá uma análise mais profunda da viabilidade da implementação da tecnologia proposta.

#### 3.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste trabalho é realizada uma análise econômica do potencial da energia solar no mercado elétrico brasileiro. Esta análise é feita calculando o Fluxo de Caixa (CF), o Período de Retorno (PB) e o Custo de Eletricidade Nivelado (LCOE) por kWh.

Para calcular o LCOE é necessário levar em conta a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico durante sua vida útil e o custo ao longo da vida útil deste sistema, portanto, poderia ser expresso pelas equações 2 e 3 (BRAKER; PATHAK; PEARCE, 2011).



$$LCOE = \frac{\text{Custos ao longo da vida útil}}{\text{Energia gerada ao longo da vida útil}} = \sum_{t=0}^T \frac{(I_t + O_t + M_t + F_t)/(1+r)^t}{S_t(1-d)^t/(1+r)^t} = \quad (1)$$

$$\sum_{t=0}^T \frac{C_t/(1+r)^t}{E_t/(1+r)^t} = \frac{R\$}{kWh}$$

Onde as variáveis  $T$  é o tempo de vida do sistema fotovoltaico em anos,  $t$  significa o ano atual do sistema fotovoltaico,  $I_t$  significa o investimento inicial do sistema fotovoltaico instalado, como a construção, instalações, etc.  $O_t$  e  $M_t$  são os custos de operação e manutenção, respectivamente em R\$. O  $r$  é a taxa de desconto, em % e  $S_t$  é a produção anual de energia, em kWh. O  $d$  é a taxa de degradação dos módulos fotovoltaicos, em %.

Para avaliar o custo econômico de um sistema fotovoltaico deve ser considerado o fator de capacidade, CF. O fator de capacidade é a quantidade de energia gerada por um sistema, durante certo tempo, dividida pela energia produzida pelo sistema se o sistema estivesse operando no nominal em sua potência nominal (RODRÍGUEZ, 2002). Como pode ser visto na equação 3:

$$FC = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P(t)dt}{P_{nom} \times T} \quad (3)$$

Onde o  $FC$  é o Fator de Capacidade,  $P_{nom}$  é a potência nominal e  $T$  é o tempo considerado em horas. Analisando o número de horas para o parâmetro  $T$ , seria de 8760 horas pois é a quantidade de horas em um ano. Outro parâmetro que é usado neste trabalho é o desempenho global do sistema representado pela sigla  $PR$  (*Performance Ratio*). O  $PR$  é uma medida de eficiência de componentes do sistema, a matriz da temperatura e assim por diante. O  $PR$  é um parâmetro que indica o efeito das perdas nos sistemas fotovoltaicos (REICH et. Al, 2011).

Onde na equação 4:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (4)$$

Onde  $Y_f$  é o rendimento final e  $Y_r$  é o rendimento de referência. Embora o parâmetro  $PR$  não seja fortemente dependente da condição de radiação, o  $PR$  é dependente da temperatura sendo, portanto, clima quente (MARION et al., 2005). Segundo Marion e outros autores (2005) o rendimento de referência é dado pela equação 5:

$$Y_r = \frac{\int_{t_1}^{t_2} H(t) dt}{H_{ref}} \quad (5)$$

Onde  $H(t)$  representa a irradiância solar no plano gerador medido em  $kW/m^2$  e  $H_{ref}$  é a irradiância considerada em  $1 kW/m^2$  durante 24 horas. De acordo com Benedito (2009), o Fator de Capacidade  $CF$  e a  $PR$  tem uma relação tal qual mostrada na equação 6:

$$CF = \frac{Y_r \cdot PR}{(t_2 - t_1)} \quad (6)$$

A energia de saída de um sistema fotovoltaico é relacionada com o  $CF$  como mostrado na equação 7:

$$E = P_{nom} \cdot CF \cdot (t_2 - t_1) \quad (7)$$

Onde  $P_{nom}$  é a potência nominal do sistema.

## 4 MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO ECONÔMICO-FINANCEIRO

Nesta seção, serão cobertos os valores adotados para calcular o LCOE. Para calcular o investimento inicial é necessário estimar o preço em €/kWp de todo o sistema. Estes custos são devidos aos inversores, módulos, estruturas, cabos, instalação e taxas.

De acordo com (ABINEE, 2012), são consideradas às seguintes premissas:

- Os módulos e os inversores são importados;
- As taxas e impostos por módulo são de 12% e para inversores são de 14%;
- As taxas do ICMS nos inversores podem ser diferentes dependendo dos Estados;
- O imposto sobre produtos industrializados (IPI) em módulos fotovoltaicos é de 0%;
- Impostos como o PIS (1,65%) e COFINS (7,6%) nos módulos e inversores;

- Outros componentes, como cabos, disjuntores, estrutura de suporte e semelhantes, dependendo dos estados brasileiros, podem haver isenção de impostos sobre as taxas do ICMS;

Para o setor residencial foi estimado para um sistema fotovoltaico de capacidade 3 kW os seguintes custos como são mostrados na Tabela 1:

Tabela 2 – Avaliação de custos

| <b>Equipamentos</b>   | <b>Custos (R\$)</b> |
|-----------------------|---------------------|
| Módulos e inversores  | 11 605,00           |
| Cabos e proteção      | 2250,00             |
| Estruturas fixas      | 3759,00             |
| Total                 | 21.359,00           |
| <b>Total (R\$/Wp)</b> | <b>7,12</b>         |

Fonte: (ABINEE,2012)

Neste trabalho, considerou-se um preço de 7,00 R\$/Wp para os cálculos. Como o estudo (ABINEE, 2012) foi feito em 2012, deve-se notar que os preços do Wp diminuíram. No cálculo, considerou-se uma planta pequena de 1,5 kWp, que é metade do que é considerado em (ABINEE, 2012), portanto o preço considerado é razoável.

#### Tarifas elétricas

Foram pesquisadas as tarifas de energia elétrica no Brasil de acordo com a ANEEL. As tarifas de energia elétrica são mostradas em A.1 conforme os valores apresentados pela ANEEL. Os preços não incluem os impostos e outros elementos que são apresentados na conta final de eletricidade, como ICMS, PIS / PASEP e outros. Devido ao grande número de taxas que são cobradas na conta de energia elétrica brasileira, neste trabalho foram consideradas que as taxas finais seriam de 40% à mais da tarifa padrão.

#### Custos de operação e manutenção

Os sistemas fotovoltaicos não utilizam combustíveis durante sua vida útil. Os maiores custos na implantação de um sistema fotovoltaico se referem ao grande investimento inicial. Alguns dos custos considerados em relação aos custos operacionais e de manutenção estão relacionados à limpeza dos painéis, custos de seguro dos módulos.

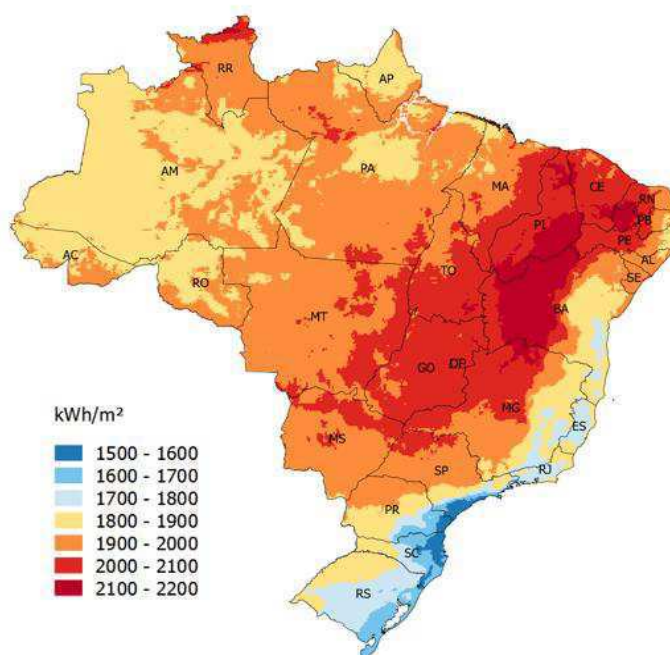
Conforme adotado em Brazilian et. Al (2013) os custos de manutenção e operação ficam em torno de 1% do investimento inicial por ano. Não foram considerados custos de seguro do sistema fotovoltaico neste trabalho.

### Energia Gerada

Como é adotado em Benedito (2009) o **PR** (performance ratio) usado é de 75%. No entanto, é possível alcançar valores mais elevados do que isso. Em relação à taxa de degradação ou painéis por ano, os valores variam 0,2% à 1%.

A partir da equação 7 e dos valores de irradiação coletados, calculou-se o CF (Fator de Capacidade) para todos os Estados do Brasil. A Tabela é mostrada em A1.2. O mapa de irradiação pode ser visto na Figura 13

Figura 13 – Irradiação horizontal global



Fonte: (SONDA, 2016)

A energia gerada ( $E$ ) em um ano pela energia solar pode ser calculada pela equação 8:

$$E = P_0 \cdot CF \cdot 8760 \cdot (1 - d)^n \quad (8)$$

Onde  $P_0$  representa a potência nominal da unidade geradora. Considera-se o número de horas em um ano com um valor de 8760 horas, o  $CF$  representa o fator de

capacidade como já discutidos anteriormente,  $d$  é a redução anual de produtividade e  $n$  o ano em análise.

### Tempo de vida do módulo

Neste trabalho foi considerado uma vida útil de um painel solar de 25 anos, pois os módulos geralmente vêm com a garantia para este período. No entanto, deve-se notar que, após 25 anos de uso, o painel pode acabar perdendo até 16,4% de sua potência inicial. Por exemplo, se um painel de boa qualidade produz 315 watts, depois de 25 anos a capacidade do painel cairia para 250-260 watts. Se é um painel com baixa qualidade, depois de 5 anos, o painel pode deixar cair até 20% da sua capacidade de saída dos inversores, o período de garantia pode cobrir de 5 a 10 anos. O custo com painéis solares é muito maior do que com inversores.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o cálculo, foi considerado um sistema solar fotovoltaico com uma capacidade instalada de 1,5 kWp que poderia ser utilizado no setor residencial. O consumo médio de uma residência no Brasil foi de 160 kW por mês no ano de acordo com o anuário estatístico de energia elétrica elaborado pelo EPE (BRASIL, 2017). O consumo médio varia muito de acordo com a região e a classe de consumo. O sistema fotovoltaico apropriado pode variar de acordo com a localização devido aos níveis de radiação, fator de capacidade e assim por diante.

Este estudo considera um autoconsumo de 100% do total produzido pela usina de energia fotovoltaica. A taxa de inflação adotada neste trabalho é a média dos seguintes valores do IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo), conforme pode ser observado na Tabela 3, onde o valor do IPCA para 2017 é uma projeção para aquele ano.

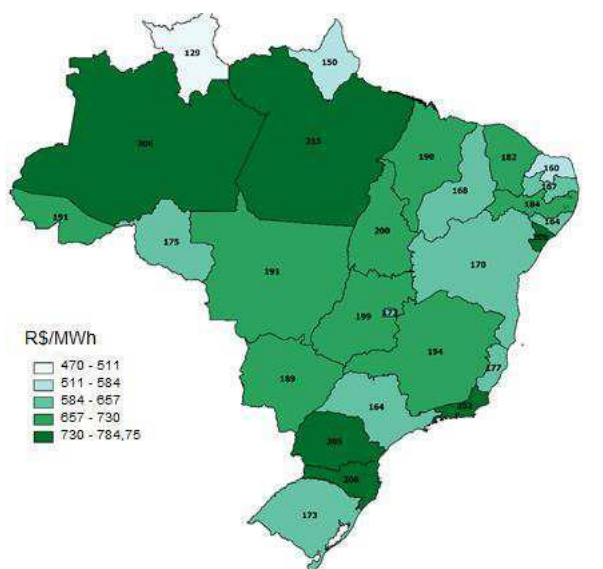
Tabela 3 – Projeção IPCA

| Ano   | IPCA |
|-------|------|
| 2016  | 6.3% |
| 2017  | 4.5% |
| Média | 5.4% |

O preço adotado para o pico Watt instalado é 7 R\$/Wp e a taxa de câmbio considerada foi 3,65 R\$/€. Considerado o fluxo de caixa, para cada ano incluindo o custo da eletricidade e o investimento inicial, foi calculado o fluxo de caixa acumulado para cada ano. Vide apêndice A2, uma explicação para o cálculo LCOE que foi elaborado neste trabalho utilizando a ferramenta de trabalho Excel.

Para fornecer uma melhor ilustração dos resultados, foi utilizado um software GIS chamado QGIS, que é um sistema de informações geográficas que permite a visualização e análise dos dados através de mapas. O primeiro passo, foi mostrar as tarifas de energia para o mercado brasileiro, incluindo as taxas, como é apresentado no apêndice A2.1 e os preços da eletricidade também são mostrados na Figura 14.

Figura 14 – Tarifas da energia incluindo taxas



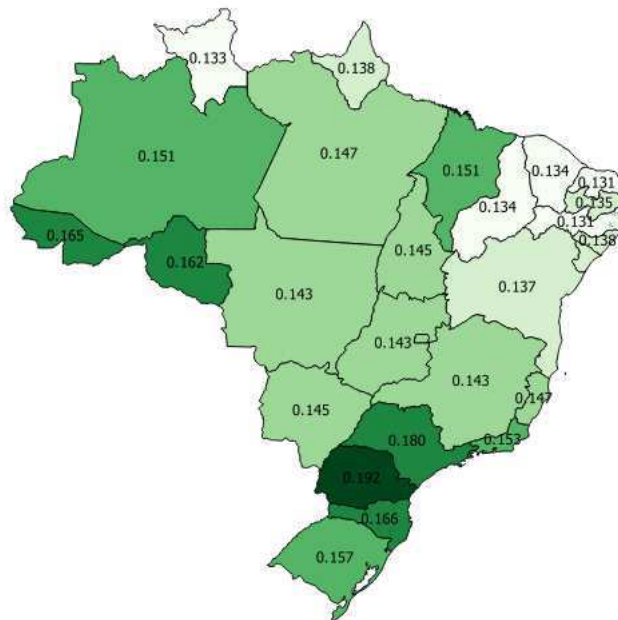
Fonte: (ANEEL, 2017)

O alto preço da tarifa elétrica pode ser visto em alguns estados tais quais Amazonas e Pará, devido à baixa integração da rede elétrica destes estados com o SIN ocasionado uma alta dependência de usinas termelétricas.

O cálculo do LCOE foi feito considerando uma duração de 25 anos para os módulos fotovoltaicos, calculou-se o preço LCOE para a usina solar. A taxa de desconto utilizado é a taxa SELIC pelo Banco Central do Brasil, descontada a inflação média já mencionada. A taxa SELIC acumulada no mês de Janeiro de 2017 foi de 14% e o IPCA considerado de 5,4%, portanto, a taxa de desconto considerada é de 8,6%. O valor da radiação solar utilizada para calcular o fator de capacidade foi considerado pela capital do estado de cada estado. O fator de capacidade utilizado pode ser encontrado no apêndice A 1.2.

O preço do LCOE é mostrado na Figura 15 e na Tabela 6 (vide apêndice A) com todos os resultados mostrados em A1.3.

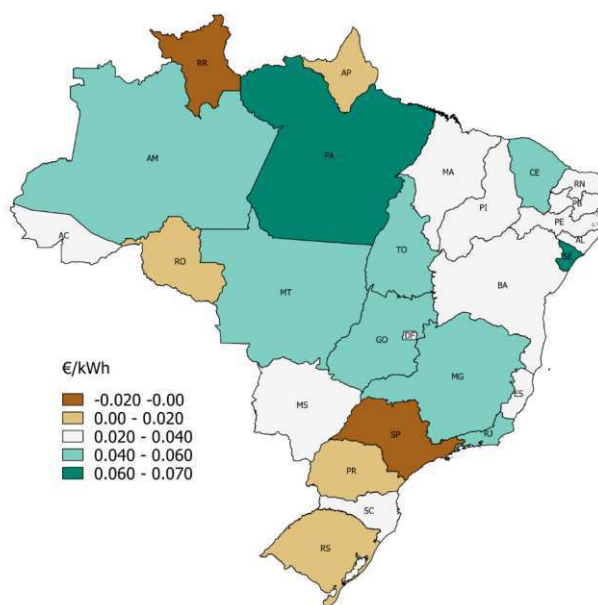
Figura 15 – LCOE preço em Euro/kWh para todos os estados brasileiros



Fonte: Elaborado pela autora (Cotação 1€ = 3,65 R\$)

Para entender se um preço LCOE seria mais barato que o preço atual da eletricidade, calculou-se a diferença entre os dois preços no intuito de ver a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Diferença entre o preço tradicional e o preço LCOE da eletricidade



Fonte: Elaborado pela autora (Cotação 1€ = 3,65 R\$)

É possível ver que para estados como São Paulo e Roraima não é viável economicamente um sistema solar para uso residencial como foi constatado no preço do LCOE. Deve-se notar que a pequena usina considerada tem um preço por kWp instalado mais do que uma usina com maior potência, o que poderia se tornar economicamente viável. Na maioria dos estados, os preços encontrados nos cálculos do LCOE são mais baratos do que o adotado pelo sistema tradicional no Brasil.

## 6 CONCLUSÕES

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade econômico-financeira para a implementação de sistemas fotovoltaicos no setor residencial utilizando *net metering* em todos os estados brasileiros. Para isso, foi feita uma visão geral do país, seu sistema elétrico, o sistema de medição adotado. Devido à grande disponibilidade do recurso solar e à crescente necessidade de diversificação da matriz energética brasileira, o sistema fotovoltaico é uma das melhores opções para isso.

O sistema regulatório brasileiro para medição líquida não envolve câmbio de dinheiro, apenas troca de créditos de energia o que facilita um desenvolvimento mais controlado do setor energético. O aumento constante do preço da eletricidade e, consecutivamente, a ativação de usinas termelétricas para suprir as necessidades de eletricidade, tem grande impacto no preço final. O aumento dos preços da eletricidade no Brasil e o uso constante da bandeira tarifária aumenta ainda mais a tarifa final de energia elétrica, o que tornam os sistemas fotovoltaicos ainda mais interessante à serem adotados.

Neste trabalho, foram apresentadas algumas limitações, como desconsiderar as taxas de ICMS sobre o preço de venda generalizada, não incluindo o preço dos medidores de energia elétrica que são pagos pelo consumidor e, portanto, gerando um aumento no investimento inicial.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou concluir que o sistema fotovoltaico é economicamente viável para o sistema elétrico brasileiro e pode-se esperar que, nos próximos anos, a energia solar seja tão importante quanto a energia eólica no sistema generalizada de distribuição no Brasil.



## REFERÊNCIAS

ANNEE. Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia no Brasil e no mundo: parte I. s.d. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap1.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf)> Acesso em: 19 de maio 2017.

ANNEE. Agência Nacional de Energia Elétrica. Objetivos. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=212&idPerfil=4>> Acesso em: 18 de maio de 2017

ANNEE. Agência Nacional de Energia Elétrica. Como é composta a tarifa. 2016. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/destaques-tarifas/-/asset\\_publisher/Pt4a5DsYJ88I/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/destaques-tarifas/-/asset_publisher/Pt4a5DsYJ88I/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false)> Acesso em: 20 de maio 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ranking das tarifas. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>> Acesso em: 20 de junho 2017

ABRADEE. Associação brasileira de distribuidores de energia elétrica. Tarifas de energia. s.d. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>> Acesso em: 19 de maio 2017.

ANEEL. Agência nacional de energia elétrica. Entendendo a tarifa. 2015. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset\\_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fentendendo-a-tarifa%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_uQ5pCGhnyj0y%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_](http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fentendendo-a-tarifa%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_uQ5pCGhnyj0y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_)> Acesso em: 19 de maio 2017.

ABINEE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. ABINEE, 2012.

BENEDITO, R. S. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo.

BRASIL. Ministério do planejamento, orçamento e gestão. Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Contagem populacional*. 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>> Acesso em: 16 de maio 2017.

BRASIL. Ministério de minas e energia. *Luz para todos: um marco histórico: 10 milhões de brasileiros saíram da escuridão*. 2013. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3042878/Livro+%60%60UM+MARCO+HIST%C3%93RICO+-+10+milh%C3%B5es+de+brasileiros+sa%C3%ADram+da+escurid%C3%A3o%60%60+-+Portugu%C3%AAs/fd6da853-1341-45d5-a6e0-13a0ffc5f5a4;jsessionid=551760B88FA2B910A25A383296C44F6F.srv155>> Acesso em: 16 de julho 2017.

BRASIL. *IBGE lança mapa da densidade demográfica de 2010*. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2013/10/ibge-lanca-mapa-de-densidade-demografica-de-2010>> Acesso em: 16 de julho 2017.

BRASIL. *Energia renovável representa mais de 42% da matriz energética brasileira*. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/energia-renovavel-representa-mais-de-42-da-matriz-energetica-brasileira>> Acesso em: 17 de julho 2017.

BRASIL. *Relatório da Distribuição Pessoal da Renda e da Riqueza da População Brasileira*. 2016. Disponível em: <<http://www.spe.fazenda.gov.br/noticias/distribuicao-pessoal-da-renda-e-da-riqueza-da-populacao-brasileira/relatorio-distribuicao-da-renda-2016-05-09.pdf>> Acesso em: 17 de julho 2017.

BRASIL. *IBGE lança mapa da densidade demográfica de 2010*. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/governo/2013/10/ibge-lanca-mapa-de-densidade-demografica-de-2010>> Acesso em: 16 de julho 2017.

- BRASIL. *Balanço energético nacional*. 2016. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)> Acesso em: 16 de julho 2017.
- BRASIL. Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico168/Anuario2017vf.pdf>> Acessado: 26 de maio de 2018
- BRASIL. Ministério de minas e energia. Plano decenal de expansão de energia 2019. Empresa de pesquisa energética. Brasília: MME/EPE, 2010. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PDEE/20101129\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20101129_2.pdf)> Acesso em: 22 de julho 2017.
- BRAKER, K.; PATHAK, M. J. M.; PEARCE, J. M. A Review of Solar Photovoltaic Levelized Cost of Electricity”, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 15, pp.4470-4482 (2011). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.104>> Acesso em: 20 de julho 2017.
- BARETZKY, Fabian Ulrich Stefan. “Potential Analysis of Battery Storage for Renewable Energy Supply in Brazil”. Tese de Mestrado.
- CÂMERA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/ondeatuamos/com\\_quem\\_se\\_relaciona?\\_afLoop=936481603921865#%40%3F\\_afLoop%3D936481603921865%26\\_adf.ctrl-Estados%3Dk6g506lih\\_4](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/ondeatuamos/com_quem_se_relaciona?_afLoop=936481603921865#%40%3F_afLoop%3D936481603921865%26_adf.ctrl-Estados%3Dk6g506lih_4)> Acesso em: 18 de julho 2017.
- CAMBELL, Max. The drivers of the levelized cost of electricity for utility-scale photovoltaics. 2008. Disponível em: <<https://us.sunpower.com/sites/sunpower/files/media-library/white-papers/wp-levelized-cost-drivers-electricity-utility-scale-photovoltaics.pdf>> Acesso em: 22 de julho 2017.
- BAZILIAN, M. et. al. “Re-considering the economics of photovoltaic power,” *Renewable Energy*, vol. 53, pp. 329–338, 2013.
- CASTILLO-CAGIGAL, Manuel, et al. *A semi-distributed electric demand-side management system with SISTEMA FOTOVOLTAICO generation for self-consumption enhancement*. *Energy Conversion and Management* 52.7 (2011): 2659-2666.
- CASTRO, Roberto. Geração Distribuída de Energia Elétrica. Seminário Internacional-Impactos (2016)
- COELBA, Grupo Neoenergia. Luz para todos. Disponível em: <<http://servicos.coelba.com.br/residencial-rural/Pages/Informa%C3%A7%C3%B5es/Luz-para-Todos.aspx>> Acesso em: 20 de julho 2017.
- DARLING, Seth B., et al. Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics. 2011. *Energy & Environmental Science* 4.9 (2011): 3133-3139. Disponível em: <<http://pubs.rsc.org/en/Content/ArticleLanding/2011/EE/c0ee00698j#!divAbstract>> Acesso em: 21 de julho 2017.
- DE MARTINO JANNUZZI, Gilberto; DE MELO, Conrado Augustus. Grid-connected photovoltaic in Brazil: policies and potential impacts for 2030. *Energy for Sustainable Development*, v. 17, n. 1, p. 40-46, 2013.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. s.d. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/quemsomos/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 18 de julho 2017.
- ELEKTRO. *Sua casa: tarifas, taxas e tributos*. s.d. Disponível em: <<https://www.elektro.com.br/sua-casa/tarifas-taxas-e-tributos>> Acesso em: 19 de julho 2017.
- FEDRIGO, Natália.; GONÇALVES, Guilherme. PAULO, Lucas. Usos Finais de Energia Elétrica no Setor residencial brasileiro Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_ic/IC2009\\_Natalia.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_ic/IC2009_Natalia.pdf)> Acesso em: 20 de julho 2017.

FUSANO, Renato Hideo. Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR. 2013. 94 f. TCC (Graduação). Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013).

IDEAL, AHK-RJ (*Deutsch-Brasilianische Industrie- und Handelskammer*). O Mercado Brasileiro De Geração Fotovoltaica. Edição 2017. Disponível em: <[https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017\\_web](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudoidealmercadofv2017_web)> Acesso em: 20 de Julho de 2017

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. s.d. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/institucional\\_linguas/relacionamentos.aspx](http://www.ons.org.br/institucional_linguas/relacionamentos.aspx)> Acesso em: 18 de julho 2017.

OZORIO, Luiz. Análise do desempenho econômico financeiro de distribuidoras de energia elétrica no Brasil. Disponível em: <[http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/15\\_TDSE%2066%20Indices%20de%20Sustentabilidade%20Finaceira%20\(1\).pdf](http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/15_TDSE%2066%20Indices%20de%20Sustentabilidade%20Finaceira%20(1).pdf)> Acesso em: 18 de julho 2017.

LEWIS, Nathan S.; CRABTREE, George. *Basic research needs for solar energy utilization: report of the basic energy sciences workshop on solar energy utilization*. 2005. Disponível em: <[http://authors.library.caltech.edu/8599/1/SEU\\_rpt05.pdf](http://authors.library.caltech.edu/8599/1/SEU_rpt05.pdf)> Acesso em: 20 de julho 2017.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J. *Financial Crisis, Energy and Sustainability in Brasil*. Estudos Avançados, v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142009000100009>> Acesso em: 18 de julho 2017.

MME, *Programa Luz para Todos*. Disponível em: <<https://www.mme.gov.br/luzparatodos/asp/>> Acesso em: 20 de julho 2018>

MARTINS, Fernando R. et al. MAPEAMENTO DOS RECURSOS DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL UTILIZANDO MODELO DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA BRASIL-SR. In: Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar. 2007. p. 8-10.

MARION et al. Performance parameters for grid-connected SISTEMA FOTOVOLTAICO systems. In: IEEE PHOTOVOLTAICS SPECIALISTS CONFERENCE AND EXHIBITION, 31, 2005, Florida. Proceedings. IEEE: Piscataway, 2005

HARDER, Lloyd. *Brasil to Return in 2017 as World's Eighth Largest GDP in IMF Projections*. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/internacional/en/business/2016/10/1820049-Brasil-to-return-in-2017-as-worlds-eighth-largest-gdp-in-imf-projections.shtml>> Acesso em: 16 de julho 2017.

JAMES, Preston.; BURNS, E.; POPPINO, Rollie, et. al. Brasil. 2017. Disponível em: <<https://www.britannica.com/place/Brasil>> Acesso em: 16 de maio 2017.

MARCOVITCH, Jacques. *The economics of climate change in Brasil: costs and opportunities*. São Paulo: FEAUSP. 2011.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras. Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/pt-br.php>> Acesso em: 16 de maio 2017.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Extensão das linhas de transmissão do SIN km. s.d. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/download/biblioteca\\_virtual/publicacoes/dados\\_relevantes\\_2013/html/07-02-Extensao-das-Linhas-de-Transmissao-do-SIN-km.html?expanddiv=07](http://www.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/publicacoes/dados_relevantes_2013/html/07-02-Extensao-das-Linhas-de-Transmissao-do-SIN-km.html?expanddiv=07)> Acesso em: 26 de maio 2017

PAO, Hsiao-Tien; FU, Hsin-Chia. *Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brasil*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 25 (2013): 381-392.

REICH, Nils et. al. *Performance ratio revisited: is PR > 90% realistic?* Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Bjoern\\_Mueller2/publication/256374705\\_Performance\\_ratio\\_revisited\\_is\\_PR\\_90\\_realistic/links/5693694b08aed0aed81771ab.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Bjoern_Mueller2/publication/256374705_Performance_ratio_revisited_is_PR_90_realistic/links/5693694b08aed0aed81771ab.pdf)> Acesso em: 16 de maio 2017.

RBS Magazine. A hora e a vez da geração de energia solar fotovoltaica. Revista Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. v. 3, n. 11, Jul-Ago. 2016.

RODRÍGUEZ, Carlos Roberto Cervantes. Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SILVA, Wellington. Regiões do Brasil. 2014. Disponível em:  
<<http://www.infoescola.com/geografia/regioes-do-brasil/>> Acesso em: 16 de junho 2017.

THE WORLD BANK. Access to electricity. Disponível em:  
<<http://data.worldbank.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS>> Acesso em: 16 de junho 2017.

TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio e DUARTE, Elaine Regina Bortone de Carvalho. "Uso do micro-crédito para financiamento de micros empreendimentos energéticos". In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Proceedings online. Disponível em:  
<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022006000200049&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200049&lng=en&nrm=abn)> Acesso em: 03 de julho 2017.

WIRTH, Harry; SCHNEIDER, Karin. Recent facts about photovoltaics in Germany. Report from Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Germany, 2015.

# APÊNDICE A

## 1 APÊNDICE A1

Na Tabela abaixo seguem os resultados do LCOE para cada estado. Para realizar os cálculos foram utilizados diversos parâmetros como detalhado na seção 3.1. Tais cálculos foram feitos utilizando Excel e mais detalhes podem ser encontrados no apêndice A2.

Tabela 4 – Resultados do LCOE para todos os estados brasileiros

| <b>Estados</b>         | <b>LCOE<br/>(€/kWh)</b> | <b>LCOE<br/>(R\$/kWh)</b> |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Sergipe                | 0,135                   | 0.037                     |
| Maranhão               | 0.151                   | 0.041                     |
| Pernambuco             | 0.131                   | 0.036                     |
| Ceará                  | 0.134                   | 0.037                     |
| Bahia                  | 0.137                   | 0.038                     |
| Piauí                  | 0.134                   | 0.037                     |
| Paraíba                | 0.135                   | 0.037                     |
| Alagoas                | 0.138                   | 0.038                     |
| Rio Grande<br>do Norte | 0.131                   | 0.036                     |
| Pará                   | 0.147                   | 0.040                     |
| Amazonas               | 0.151                   | 0.041                     |
| Acre                   | 0.165                   | 0.045                     |
| Rondônia               | 0.162                   | 0.044                     |
| Amapá                  | 0.138                   | 0.038                     |
| Roraima                | 0.133                   | 0.036                     |
| Rio de<br>Janeiro      | 0.153                   | 0.042                     |
| Minas<br>Gerais        | 0.143                   | 0.039                     |
| São Paulo              | 0.180                   | 0.049                     |
| Espirito<br>Santo      | 0.147                   | 0.040                     |
| Santa<br>Catarina      | 0.166                   | 0.045                     |
| Paraná                 | 0.192                   | 0.053                     |
| Rio Grande<br>do Sul   | 0.157                   | 0.043                     |
| Tocatins               | 0.145                   | 0.040                     |
| Goiás                  | 0.143                   | 0.039                     |
| Mato<br>Grosso         | 0.143                   | 0.039                     |

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Mato Grosso do Sul | 0.145 | 0.040 |
| Distrito Federal   | 0.145 | 0.040 |

Fonte: Elaborada pela autora

## 2 APÊNDICE A2

Este apêndice tem como objetivo ilustrar os cálculos realizados do LCOE. Os cálculos foram realizados utilizando Excel e foram compostos por 4 abas de cálculo. A primeira aba tem a informação com todos os insumos necessários, tais como taxa de depreciação, taxa de desconto, preço para sistemas fotovoltaicos e etc. Pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 – Informações para o cálculo do LCOE

|    |                             |             |
|----|-----------------------------|-------------|
| 1  | <b>Information</b>          |             |
| 2  | Estado e cidade             | BA          |
| 3  | Tipo                        | Residencial |
| 4  | Ano                         | 2017        |
| 5  | <b>Inputs</b>               |             |
| 6  | Tamanho do sistema (kWp)    | 1,5         |
| 7  | Investimento inicial (R\$)  | 10500       |
| 8  | Taxa de depreciação (%)     | 0,5%        |
| 9  | O&M Custos (%)              | 1,00%       |
| 10 | Taxa de desconto (%)        | 6%          |
| 11 | Consumo próprio (%)         | 100%        |
| 12 | CAPEX PV (R\$/Wp)           | 7           |
| 13 | Performance Ratio (default) | 0,75        |
| 14 | Fator de Capacidade (%)     | 15%         |
| 15 | Incentivo (R\$)             | 0           |
| 16 | Tarifa de energia (R\$/kWh) | 0,5         |
| 17 | R\$ para Euro               |             |
| 18 | Horas em ano (h)            | 8760        |
| 19 | ICMS taxas (R\$/MWh)        | 100         |
| 20 | Taxa de inflação (%)        | 5,8%        |
| 21 |                             |             |

Além disso, na primeira página pode ser encontrada a produção anual da usina ao longo dos anos, considerando a taxa de depreciação também. O autoconsumo utilizado é de 100%, portanto a energia na rede é zero. É usado o número de horas em um ano, 8760 horas.

Figura 18 – Informação para o cálculo da energia durante o tempo de vida do sistema fotovoltaicos

| Calculadora LCOE |     |              |                          |                        |                          |  |
|------------------|-----|--------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|--|
|                  | Ano | Energia (kW) | Energia/taxa de desconto | Energy-consumo próprio | Energia para a grid(MWh) |  |
| 2016             | 0   | 2102,4       | 2,1024                   | 2,10                   | 0,00                     |  |
| 2017             | 1   | 2102,4       | 2,0919                   | 2,09                   | 0,00                     |  |
| 2018             | 2   | 2102,4       | 2,0814                   | 2,08                   | 0,00                     |  |
| 2019             | 3   | 2102,4       | 2,0710                   | 2,07                   | 0,00                     |  |
| 2020             | 4   | 2102,4       | 2,0607                   | 2,06                   | 0,00                     |  |
| 2021             | 5   | 2102,4       | 2,0504                   | 2,05                   | 0,00                     |  |
| 2022             | 6   | 2102,4       | 2,0401                   | 2,04                   | 0,00                     |  |
| 2023             | 7   | 2102,4       | 2,0299                   | 2,03                   | 0,00                     |  |
| 2024             | 8   | 2102,4       | 2,0198                   | 2,02                   | 0,00                     |  |
| 2025             | 9   | 2102,4       | 2,0097                   | 2,01                   | 0,00                     |  |
| 2026             | 10  | 2102,4       | 1,9996                   | 2,00                   | 0,00                     |  |
| 2027             | 11  | 2102,4       | 1,9896                   | 1,99                   | 0,00                     |  |
| 2028             | 12  | 2102,4       | 1,9797                   | 1,98                   | 0,00                     |  |
| 2029             | 13  | 2102,4       | 1,9698                   | 1,97                   | 0,00                     |  |
| 2030             | 14  | 2102,4       | 1,9599                   | 1,96                   | 0,00                     |  |
| 2031             | 15  | 2102,4       | 1,950                    | 1,95                   | 0,00                     |  |
| 2032             | 16  | 2102,4       | 1,940                    | 1,94                   | 0,00                     |  |
| 2033             | 17  | 2102,4       | 1,931                    | 1,93                   | 0,00                     |  |
| 2034             | 18  | 2102,4       | 1,921                    | 1,92                   | 0,00                     |  |
| 2035             | 19  | 2102,4       | 1,911                    | 1,91                   | 0,00                     |  |
| 2036             | 20  | 2102,4       | 1,902                    | 1,90                   | 0,00                     |  |

Também é calculado o fluxo de caixa considerando o investimento inicial e os custos de operação e manutenção e a taxa de desconto, como pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 – Cálculo do fluxo do sistema fotovoltaico

| Initial investment (R\$) | O&M (R\$)  | ICMS (R\$/MWh) | Output    | Cash Flow | Cash Flow w discount rate | Acumulate Cash Flow |
|--------------------------|------------|----------------|-----------|-----------|---------------------------|---------------------|
| -10500                   |            | 0.00           | -10500.00 | -10500.00 | -10500.00                 | -10500.00           |
|                          | -105       | 0.00           | -105.00   | -105.00   | -96.69                    | -10596.69           |
|                          | -110.67    | 0.00           | -110.67   | -110.67   | -93.84                    | -10690.52           |
|                          | -116.64618 | 0.00           | -116.65   | -116.65   | -91.07                    | -10781.59           |
|                          | -122.94507 | 0.00           | -122.95   | -122.95   | -88.39                    | -10869.98           |
|                          | -129.58411 | 0.00           | -129.58   | -129.58   | -85.78                    | -10955.76           |
|                          | -136.58165 | 0.00           | -136.58   | -136.58   | -83.26                    | -11039.02           |
|                          | -143.95706 | 0.00           | -143.96   | -143.96   | -80.80                    | -11119.82           |
|                          | -151.73074 | 0.00           | -151.73   | -151.73   | -78.42                    | -11198.24           |
|                          | -159.9242  | 0.00           | -159.92   | -159.92   | -76.11                    | -11274.35           |
|                          | -168.56011 | 0.00           | -168.56   | -168.56   | -73.87                    | -11348.22           |
|                          | -177.66235 | 0.00           | -177.66   | -177.66   | -71.69                    | -11419.91           |
|                          | -187.25612 | 0.00           | -187.26   | -187.26   | -69.58                    | -11489.49           |
|                          | -197.36795 | 0.00           | -197.37   | -197.37   | -67.53                    | -11557.02           |
|                          | -208.02582 | 0.00           | -208.03   | -208.03   | -65.54                    | -11622.56           |
|                          | -219.25921 | 0.00           | -219.26   | -219.26   | -63.61                    | -11686.17           |
|                          | -231.09921 | 0.00           | -231.10   | -231.10   | -61.73                    | -11747.90           |
|                          | -243.57857 | 0.00           | -243.58   | -243.58   | -59.91                    | -11807.82           |
|                          | -256.73181 | 0.00           | -256.73   | -256.73   | -58.15                    | -11865.96           |
|                          | -270.59533 | 0.00           | -270.60   | -270.60   | -56.44                    | -11922.40           |

Na folha número 2 (ver Figura 20), podem ser encontrados o fator de capacidade para cada estado brasileiro de acordo com a irradiação média.

Figura 20 – Fator de Capacidade a ser utilizado no cálculo do LCOE

|    | A      | B              | C   | D                       | E | F |
|----|--------|----------------|---|-------------------------|---|---|
| 1  | Estado | Cidade         | Irradiação(média) [kWh/m <sup>2</sup> .di | Fator de Capacidade (%) |   |   |
| 2  | SE     | Aracaju        | 5,51                                      | 17,2                    |   |   |
| 3  | PA     | Belém          | 5,05                                      | 15,8                    |   |   |
| 4  | MG     | Belo Horizonte | 5,23                                      | 16,3                    |   |   |
| 5  | RR     | Boa vista      | 5,6                                       | 17,5                    |   |   |
| 6  | DF     | Brasília       | 5,13                                      | 16,0                    |   |   |
| 7  | MS     | Campo Grande   | 5,13                                      | 16,0                    |   |   |
| 8  | MT     | Cuiabá         | 5,23                                      | 16,3                    |   |   |
| 9  | PR     | Curitiba       | 3,87                                      | 12,1                    |   |   |
| 10 | SC     | Florianópolis  | 4,49                                      | 14,0                    |   |   |
| 11 | CE     | Fortaleza      | 5,57                                      | 17,4                    |   |   |
| 12 | GO     | Goiânia        | 5,2                                       | 16,3                    |   |   |
| 13 | PB     | Joao Pessoa    | 5,51                                      | 17,2                    |   |   |
| 14 | AP     | Macapá         | 5,4                                       | 16,9                    |   |   |
| 15 | AL     | Maceió         | 5,39                                      | 16,8                    |   |   |
| 16 | AM     | Manaus         | 4,93                                      | 15,4                    |   |   |
| 17 | RN     | Natal          | 5,66                                      | 17,7                    |   |   |
| 18 | TO     | Palmas         | 5,12                                      | 16,0                    |   |   |
| 19 | RS     | Porto Alegre   | 4,72                                      | 14,8                    |   |   |
| 20 | RO     | Porto Velho    | 4,62                                      | 14,4                    |   |   |
| 21 | PE     | Recife         | 5,71                                      | 17,8                    |   |   |
| 22 | AC     | Rio Branco     | 4,51                                      | 14,1                    |   |   |
| 23 | RJ     | Rio de Janeiro | 4,85                                      | 15,2                    |   |   |

A aba 3 contém apenas algumas informações que podem ser usadas para ter alguma estimativa do tamanho da usina SISTEMA FOTOVOLTÁICO, mas foi adotada uma usina de energia de 1,5 kWp. Por fim, na aba 4 (Figura 20), foram organizados os resultados para todos os estados considerando também os preços em reais e em euros.



Figura 21 – Resultados do cálculo LCOE

| A                   | B         | C                | D                              | E               | F             | G        |
|---------------------|-----------|------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|----------|
| Estado              | Companhia | Tarifa (R\$/MWh) | Tarifa mais impostos (R\$/MWh) | LCOE (Euro/MWh) | LCOE(R\$/MWh) | Economia |
| Sergipe             | Sulgipe   | 544,00           | 761,6                          | 138,43          | 505,27        | 256,33   |
| Maranhão            | Cemar     | 496,00           | 694,4                          | 150,70          | 550,04        | 144,36   |
| Pernambuco          | Celpe     | 480,00           | 672                            | 146,07          | 533,17        | 138,83   |
| Ceará               | Coelce    | 474,00           | 663,6                          | 136,84          | 499,47        | 164,13   |
| Bahia               | Coelba    | 443,00           | 620,2                          | 140,06          | 511,22        | 108,98   |
| Piauí               | Cepisa    | 437,00           | 611,8                          | 137,63          | 502,35        | 109,45   |
| Paraíba             | EBO       | 435,00           | 609                            | 138,43          | 505,27        | 103,73   |
| Alagoas             | CEAL      | 428,00           | 599,2                          | 141,73          | 517,30        | 81,90    |
| Rio Grande do Norte | Cosern    | 418,00           | 585,2                          | 134,52          | 491,00        | 94,20    |
| Pará                | Celpe     | 561,00           | 785,4                          | 150,70          | 550,04        | 235,36   |
| Amazonas            | AmE       | 536,00           | 750,4                          | 154,61          | 564,33        | 186,07   |
| Acre                | Eletoacre | 498,00           | 697,2                          | 168,87          | 616,36        | 80,84    |
| Rondônia            | Ceron     | 456,00           | 638,4                          | 165,35          | 603,52        | 34,88    |
| Amapá               | CEA       | 392,00           | 548,8                          | 140,89          | 514,24        | 34,56    |
| Roraima             | Boa Vista | 337,00           | 471,8                          | 136,06          | 496,61        | -24,81   |

## ANEXO A

Na Tabela abaixo encontram-se os preços de energia pesquisados em cada estado brasileiro com a especificação de cada concessionária de energia e com o acréscimo de 40% referentes aos impostos cobrados na conta de energia elétrica como PIS e COFINS, ICMS e a Contribuição para Iluminação Pública, por exemplo. Esses preços foram pesquisados com o intuito de comparar com o preço calculado do LCOE referente à um sistema fotovoltaico. Assim pode-se saber em quais estados as tarifas elétricas de um sistema fotovoltaico seriam economicamente viáveis.

Tabela 5 – Tarifa de energia elétrica sem e com impostos e encargos

| Estados             | Companhias | Tarifa com 40% de taxas (€/MWh) | Tarifa com 40% de taxas (R\$/MWh) |
|---------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Sergipe             | Sulgipe    | 208.66                          | 57.17                             |
| Maranhão            | Cemar      | 190.25                          | 52.12                             |
| Pernambuco          | Celpe      | 184.11                          | 50.44                             |
| Ceará               | Coelce     | 181.81                          | 49.81                             |
| Bahia               | Coelba     | 169.92                          | 46.55                             |
| Piauí               | Cepisa     | 167.62                          | 45.92                             |
| Paraíba             | EBO        | 166.85                          | 45.71                             |
| Alagoas             | CEAL       | 164.16                          | 44.98                             |
| Rio Grande do Norte | Cosern     | 160.33                          | 43.93                             |
| Pará                | Celpe      | 215.18                          | 58.95                             |
| Amazonas            | AmE        | 205.59                          | 56.33                             |
| Acre                | Eletroacre | 191.01                          | 52.33                             |
| Rondônia            | Ceron      | 174.90                          | 47.92                             |
| Amapá               | CEA        | 150.36                          | 41.19                             |
| Roraima             | Boa Vista  | 129.26                          | 35.41                             |
| Rio de Janeiro      | Light      | 202.14                          | 55.38                             |
| Minas Gerais        | EMG        | 194.47                          | 53.28                             |
| São Paulo           | EEB        | 164.16                          | 44.98                             |
| Espirito Santo      | ELFSM      | 176.82                          | 48.44                             |
| Santa Catarina      | Eflul      | 207.51                          | 56.85                             |
| Paraná              | Forcel     | 205.21                          | 56.22                             |
| Rio Grande do Sul   | RGE Sul    | 173.37                          | 47.5                              |
| Tocantins           | ETO        | 199.84                          | 54.75                             |
| Goiás               | Chesp      | 198.68                          | 54.43                             |
| Mato Grosso         | EMT        | 191.01                          | 52.33                             |
| Mato Grosso do Sul  | EMS0       | 188.71                          | 51.7                              |
| Distrito Federal    | CEB-DIS    | 173.37                          | 47.49                             |

Fonte: (ANEEL, 2017)

Para calcular o fator de capacidade foi utilizado a irradiação média de cada estado, e na Tabela abaixo se pode ver os resultados para cada estado. O cálculo é feito utilizando a equação 6 discutida na secção 3.1.

Tabela 6 – Radiação solar média e fator de capacidade

| <b>Estados</b>   | <b>Média de irradiação [kWh/m<sup>2</sup>·dia]</b> | <b>Fator de Capacidade (%)</b> |
|------------------|--|--------------------------------|
| Sergipe          | 5.51   | 17.2                           |
| Pará             | 5.05   | 15.8                           |
| Minas Gerais     | 5.23   | 16.3                           |
| Roraima          | 5.6  | 17.5                           |
| Distrito Federal | 5.13   | 16.0                           |
| Mato G. do Sul   | 5.13   | 16.0                           |
| Mato Grosso      | 5.23   | 16.3                           |
| Paraná           | 3.87   | 12.1                           |
| Santa Catarina   | 4.49   | 14.0                           |
| Ceará            | 5.57   | 17.4                           |
| Goiás            | 5.2  | 16.3                           |
| Paraíba          | 5.51   | 17.2                           |
| Amapá            | 5.4  | 16.9                           |
| Alagoas          | 5.39   | 16.8                           |
| Amazonas         | 4.93   | 15.4                           |
| Rio G. do Norte  | 5.66   | 17.7                           |
| Tocantins        | 5.12   | 16.0                           |
| Rio G. do Sul    | 4.72   | 14.8                           |
| Rondônia         | 4.62   | 14.4                           |
| Pernambuco       | 5.71   | 17.8                           |
| Acre             | 4.51   | 14.1                           |
| Rio de Janeiro   | 4.85   | 15.2                           |
| Bahia            | 5.45   | 17.0                           |
| Maranhão         | 4.92   | 15.4                           |
| São Paulo        | 4.14   | 12.9                           |
| Piauí            | 5.52   | 17.3                           |
| Espírito Santo   | 5.07   | 15.8                           |

Fonte: (NAKABAYASHI, 2017)

