PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DIRLEI JOSÉ DE ASSIS

# Estudo de caso de minigeração distribuída fotovoltaica sob modelo de contratação de locação de gerador

São Paulo
2019

DIRLEI JOSE DE ASSIS

**Estudo de caso de minigeração distribuída fotovoltaica sob modelo de contratação de locação de gerador**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como instrumento de avaliação do Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica

Orientador: Prof. Me. Álvaro Nakano

São Paulo

2019

Catalogação-na-publicação

DE ASSIS, Dirlei José
MONOGRAFIA Estudo de Caso de Minigeração Distribuída Fotovoltaica Sob Modelo de Contratação de Locação de Gerador / D. J. DE ASSIS -- São Paulo, 2019.
39 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Minigeração distribuída. Fotovoltaico. Modelo de contratação. Locação de gerador. Viabilidade Econômica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor e orientador Álvaro Nakano, pelo apoio e encorajamento contínuos na pesquisa, aos demais Mestres da casa, pelos conhecimentos transmitidos, e à Diretoria do curso de graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelo apoio institucional e pelas facilidades oferecidas.

A meus pais Benedito (in memorian) e Jacira por ter ajudado com incentivo, serem persistentes que algo de concreto seria realizado durante esse período letivo.

Por fim agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

# RESUMO

ASSIS, Dirlei José de. Estudo de caso de minigeração distribuída fotovoltaica sob modelo de contratação de locação de gerador. 2019. Monografia (Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

A partir da regulamentação da geração distribuída no Brasil ocorrida em 2012, a participação das fontes de energia renovável na matriz de geração elétrica no país vem crescendo. Este panorama tem exigido a reação de certos agentes dessa cadeia produtiva na busca de respostas que visem adequações de mercado, soluções a especificidades normativas e demandas tecnológicas ou ainda ajustes financeiros.

Uma destas vertentes, nos anos mais recentes, envolve diferentes modelos de contratação de energia com a aplicação do conceito de geração distribuída (e gozar de seus benefícios) com o intuito de amenizar os impactos causados pelo desembolso inicial na construção de uma central geradora. Esta pesquisa trata desta vertente com base em um estudo de caso de uma minigeração distribuída fotovoltaica sob a modalidade de contratação do tipo locação de gerador (fotovoltaico) a fim de investigar a viabilidade econômica desse sistema. Este trabalho buscou apresentar uma abordagem geral da matriz energética brasileira, conceituar a energia solar fotovoltaica e suas características para analisar sua viabilidade econômica.

A metodologia desenvolvida no trabalho se baseou em revisão de literatura e buscou investigar a sustentação para o tema aqui abordado. Este estudo de caso apresenta os resultados de viabilidade econômica em comparação aos de uma contratação convencional (sem locação de gerador) e a tomada de decisão por contratar esse tipo de modalidade.

Palavras-chave: Minigeração distribuída. Fotovoltaico. Modelo de contratação. Locação de gerador. Viabilidade Econômica

## *ABSTRACT*

ASSIS, Dirlei José de. *Case study of distributed photovoltaic minigeneration under generator rental contracting model. 2019. Monograph (Specialization Course in Renewable Energy, Distributed Generation and Energy Efficiency) - Continuing Education Program of the Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 2019.*

*From the regulation of distributed generation in Brazil in 2012, the contribution of renewable energy sources in the country's electricity generation matrix has been growing. This scenario has demanded the reaction of certain agents of this supply chain in the search for answers that aim at market adjustments, solutions to normative specificities and technological demands or even financial adjustments.*

*One of these aspects, in recent years, involves different models of energy contracting by applying the concept of distributed generation (and enjoying its benefits). in order to mitigate the impacts caused by the initial disbursement on the construction of a generating plant. This research deals with this feature based on a case study of a distributed photovoltaic minigeneration under (PV) generator contracting type in order to investigate the economic viability of this system. This paper will seek to present a general approach of the Brazilian energy matrix, to conceptualize photovoltaic solar energy and its characteristics to analyze its economic viability.*

*The methodology developed in this work was based on literature review and scientific articles that sought to investigate the support for the theme addressed here. This case study presents the results of economic viability compared to those of conventional contracting (without generator leasing) and the decision making for hiring this type of modality.*

*Keywords: Distributed Mining. Photovoltaic. Hiring model. Generator rental. Economic viability.*

# LISTA DE ABREVIATUAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ERB | Estações Rádio Base |
| FV | Fotovoltaico |
| UC | Unidade Consumidora |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| KWp | Quilo Watt Pico |
| OPEX | Operational Expenditure |
| KW | Quilo Watt |
| MW | Mega Watt |
| GD | Geração Distribuída |
| KWh | Quilo Watt Hora |
| Wp | Watt Pico |
| W/m² | Watt por metro quadrado |
| ICMS | Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços |
| PIS | Programas de Integração Social |
| COFINS | Contribuição para Financiamento da Seguridade Social |
| IGPM | Índice Geral de Preços do Mercado |
| CEMIG | Companhia Energética de Minas Gerais |
| TUSD | Tarifa de Utilização de Serviços de Transmissão |
| TE | Tarifa de Energia |
| CNPJ | Cadastro Nacional de Pessoas Jurídicas |
| CRESESB | Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito |
| Wh/m² | Watt hora por metro quadrado |
| Ec | Economia prevista ao contratante Telegiga [R$/ano] |
| Ga | Geração Anual da usina em [kWh/ano] |
| Tv | Tarifa vigente local com tributos, sem bandeira em [R$/kWh] |
| D | Desconto sob contrato |
| Perdas | Perda de eficiência das placas fotovoltaicas |
| Reaj | Índice de reajuste tarifário |
| *GlobHor* | *Horizontal global irradiation* – Irradiação global no plano horizontal |
| *DiffHour* | *Horizontal diffuse irradiation* – Irradiação difusa no plano horizontal |
| T_Amb | Temperatura ambiente |
| *GlobInc* | *Global incidente in coll plane* – Irrad. global incidente no plano do coletor |
| *GlobEff* | *Effective Global* – Irrad. Global efetiva com perdas |
| *EArray* | *Effective energy at the output of the array* – Energia efetiva do gerador |
| *E_Grid* | *Energy injected into grid* – Energia injetada na rede elétrica |
| *PR* | *Performance Ratio* – Fator de desempenho (ou FD) |

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil básico de um sistema fotovoltaico.....12
Figura 2 - Perfil esquemático de um sistema fotovoltaico.....18
Figura 3 - Produção e consumo do grupo Telegiga - mensais em kWh.....22
Figura 4 - Medição bidirecional em sistemas de GD .....23
Figura 5 - Medidor bidirecional .....24
Figura 6 – Compensação de energia elétrica .....25
Figura 7 – Valor final da energia elétrica.....27

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do Sistema Fotovoltaico.....18
Tabela 2 - Potencial local da usina solar no Estado de Minas Gerais.....19
Tabela 3 - Parâmetros e resultados de energia gerada.....20
Tabela 4 - Dados de consumo mensal do grupo Telegiga - média anual.....21
Tabela 5 - Lista de preços das tarifas vigentes com impostos da CEMIG.....26
Tabela 6 - Tabela de tarifas vigentes.....26
Tabela 7 - Ranking de tarifas (Grupo B).....30
Tabela 8 - Preço médio.....31
Tabela 9 - Economia anual acumulada prevista.....32
Tabela 10 - Consumo e geração 1° trimestre.....34
Tabela 11 - Parâmetros e configuração do sistema base PVSyst.....38
Tabela 12 – Economia estimada (R$/ano e R$ acumulado em 25 anos) .....39

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....11
1.1 OBJETIVOS .....14
1.1.1 OBJETIVO GERAL ..... .14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 14
1.2 METODOLOGIA ..... 15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....16
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO ..... 16
2.2 PARÂMETROS DO GERADOR FOTOVOLTAICO ..... 18
2.3 ESTUDO DE CASO ..... 21
2.4 MEDIÇÃO E COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ..... 22
2.5 PARCELA A ..... 27
2.6 CUSTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ..... 28
2.7 REAJUSTE TARIFÁRIO ANUAL ..... 28
2.8 REVISÃO DE TARIFA ..... 28
2.9 CARGA TRIBUÁRIA NA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA..... 29
2.10 COMPOSIÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA ..... 30
2.11 BALANÇO ECONÔMICO ..... 31
2.12 EXEMPLO DE FATURAMENTO PELO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ..... 34
CONCLUSÃO..... 36
APÊNDICE A.....38
APÊNDICE B.....39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....40

# 1. INTRODUÇÃO

Diante da instabilidade dos ciclos chuvosos, é sensível uma crescente preocupação na busca de alternativas para a geração de energia elétrica que supram as crescentes demandas de consumo, além de responderem de forma positiva à redução de impactos ambientais. O Brasil conta com vários recursos de geração de energia elétrica, sendo o principal o recurso hídrico, porem nem sempre as hidrelétricas brasileiras conseguem suprir toda a demanda do mercado, sendo necessário em algumas épocas do ano, o uso de usinas termelétricas. O uso das termelétricas, além de encarecer a geração de energia, traz um grande impacto ambiental com a queima dos combustíveis fósseis.

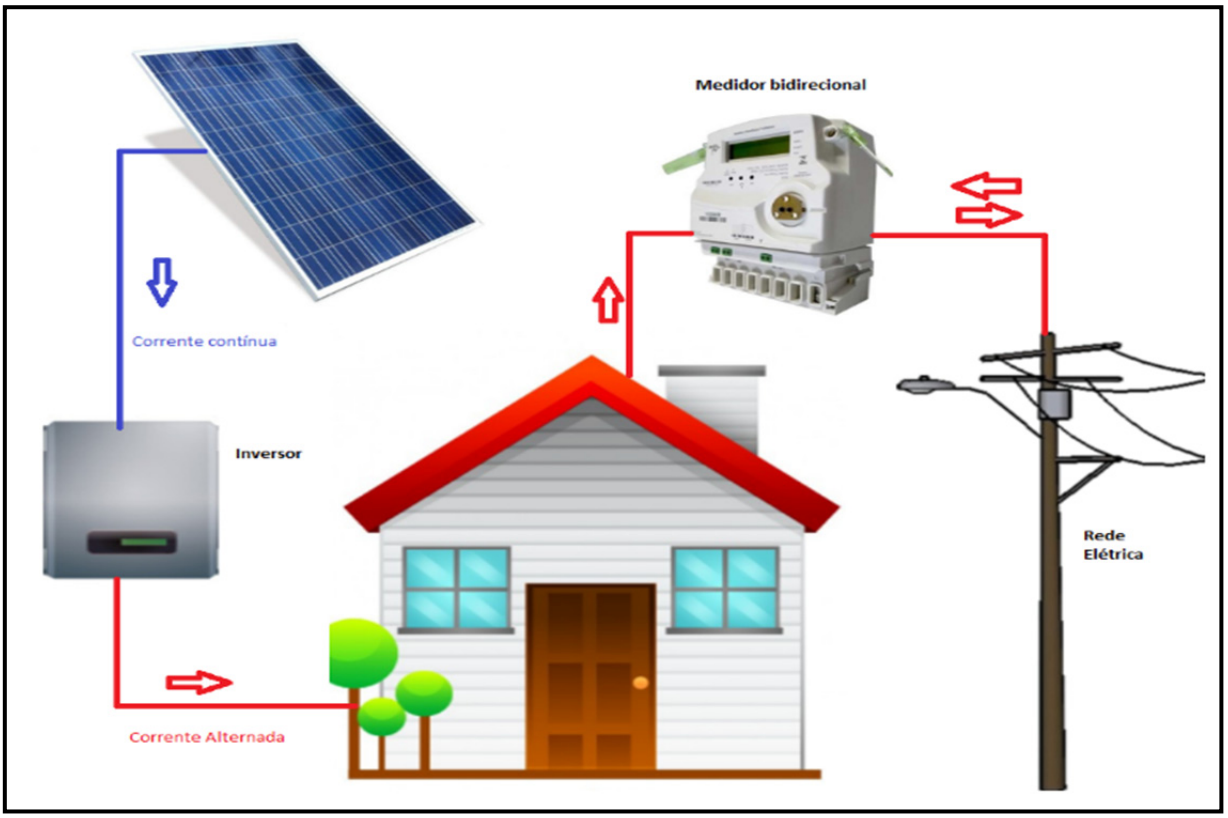
Uma possível solução seria o uso do recurso solar para geração de energia elétrica. Sendo o sol uma fonte inesgotável e que não causa grandes danos ao meio ambiente, o Brasil possui um alto potencial para instalação de centrais geradoras fotovoltaicas.

A grande vantagem da energia fotovoltaica é a possibilidade de geração descentralizada de energia elétrica, sendo que cada consumidor pode ter o sistema em sua residência ou na empresa ou até mesmo distante da área de consumo, caracterizando as aplicações na geração de energia como sendo sistemas *OFF-GRID* que não estão conectados à rede e os sistemas *ON-GRID* conectados à rede elétrica.

Os sistemas *ON-GRID* vêm se popularizando com a aprovação da Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual determina a compensação de energia que não for utilizada pela residência ou empresa e pode ser emprestada para a concessionária de energia em forma de créditos.

A utilização do sistema *ON-GRID* está se tornando cada vez mais crescente diante dos desafios da sustentabilidade e recuperações ambientais. Basicamente este tipo de sistema é formado por um grupo gerador composto pelos módulos fotovoltaicos, um sistema de conversão de Corrente Contínua para Corrente Alternada, constituído por inversores, caixas de junção, dispositivos de proteção e de medição de energia produzida, conforme esquema mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Perfil básico de um sistema fotovoltaico




Fonte: http://gs-solar.com.br/index.php/2019/05/18/como-funciona/

O investimento com a geração fotovoltaica é recuperado em médio prazo: alguns estudos indicam que em até 54 meses, e a partir de então o ganho pela geração é evidente até o final de vida útil dos painéis solares, baseado em especificações técnicas de fornecedores podem chegar até 25 anos.

A resolução normativa nº 482, de 2012, da ANEEL define as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e traz quatro principais modalidades para enquadramento em geração distribuída (GD): geração junto à carga, autoconsumo remoto, empreendimento com múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada. Suportado pela atual condição economicamente estável do País e pressionado a alavancar a geração de energia elétrica por fontes renováveis, tanto por motivo ambiental como alternativa para cobrir as sazonalidades dos recursos hídricos, levou tanto o governo como os agentes privados a acelerarem várias iniciativas no sentido de consolidar os respectivos aspectos regulatórios.

Diante destas novas regras, além de outras regulamentações não citadas, foi estabelecido o fomento necessário, mesmo que ainda não completamente atrativo,

para propulsionar o mercado brasileiro de sistemas fotovoltaicos e de geração distribuída. A partir da regulamentação da geração distribuída no Brasil ocorrida em 2012, a participação das fontes de energia renovável na matriz de geração elétrica no País vem crescendo. Este panorama vem exigindo atitudes de certos agentes desta cadeia produtiva no sentido de suprir a demanda de questionamentos, em função da necessidade de adequações ao mercado, normativos, tecnológicos ou financeiros. Uma destas vertentes, nos anos mais recentes, envolve diferentes modelos de contratação com a aplicação do conceito de geração distribuída (e gozar de seus benefícios) com o intuito de amenizar os impactos causados pelo desembolso inicial na construção de uma central geradora fotovoltaica. Desde 2012, qualquer pessoa no Brasil pode gerar a própria eletricidade a partir de fontes renováveis e reduzir a conta de luz, ao participar do sistema de compensação de energia. A maneira mais simples é com a instalação de um sistema solar fotovoltaico (FV) diretamente sobre o telhado, o qual é conectado à rede elétrica pública por meio da instalação elétrica da casa. Entretanto, essa possibilidade estava restrita àqueles que possuíam espaço físico e capital disponível para adquirir os equipamentos. Este cenário mudou a partir de 2016, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) revisou a Resolução 482/2012 por meio da Resolução 687/2015 e passou a permitir outras modalidades na geração distribuída como em condomínios, consórcios e cooperativas e autoconsumo remoto.

Esta pesquisa trata de um estudo de caso de uma minigeração distribuída fotovoltaica sob modalidade de contratação do tipo locação de gerador, enquadrada na modalidade de consorcio, onde parte da energia gerada pela usina será destinada a um cliente através de um contrato de aluguel: esta parcela corresponde a 538KWp, sendo que o consumo global de energia deste consorciado será composto por 14 faturas de energia, uma para cada unidade do grupo.

Por questões de sigilo, não serão utilizados os nomes reais das empresas contratada e contratante.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de viabilidade econômica comparativa entre a modalidade de contratação de aluguel de gerador e a contratação convencional no mercado regulado.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar os dados de geração e encontrar um valor médio de consumo.
- Identificar os componentes, funcionamento, custos, benefícios e dificuldades relacionadas ao percentual de economia.
- Análise política do cenário nacional e de incentivos do Governo.
- Comparar os custos do sistema com o rendimento financeiro, identificando se houve benefício econômico.
- Concluir com sobre a escolha de modelo locação do Gerador FV

## 1.2 METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como pesquisa exploratória realizada por meio de um estudo de caso. A pesquisa do tipo exploratória, de acordo com MARTINS e THEÓPHILO (2007), é a abordagem adotada quando se busca maiores informações sobre determinado assunto. A pesquisa exploratória proporciona maior familiaridade com o problema, ou seja, com o objetivo de torná-lo mais explicito assumindo uma forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso.

Com base em uma pesquisa de um modelo de negócio será investigado o problema proposto neste trabalho, a fim de justificar sua relevância no contexto científico, revisando obras que permitam atingir os objetivos aqui mencionados.

Para a elaboração desta pesquisa foram consultados livros, revistas e artigos científicos online e impressos nos seguintes critérios:

- Pesquisa aplicada à geração de energia solar fotovoltaica;
- Compensação de energia por um gerador alugado;
- Estudo de viabilidade;
- Possíveis riscos e diferenças.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO

Desde 2012 no Brasil foi estabelecido pela ANEEL através da Resolução Normativa n°482 de 17 de abril de 2012 que qualquer unidade consumidora pode gerar a sua própria eletricidade a partir de fonte renováveis e reduzir a conta de luz, ingressando no sistema de compensação de energia. A maneira mais fácil vista no mercado é com a instalação de um sistema solar fotovoltaico (FV) instalado diretamente no telhado ou em qualquer outra área livre de sombreamento, o qual é conectado à rede elétrica pública por meio da instalação elétrica da casa.

Antes essa possibilidade estava restrita aquelas unidades consumidoras que possuíam espaço físico e capital disponível para investir na compra dos equipamentos, esse cenário começou a mudar em 2016, quando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) revisou a Resolução 482/2012 por meio da Resolução 687/2015 passando a permitir outras modalidades na geração distribuída como uma opção para as unidades consumidoras que não podem ou não querem instalar o sistema solar fotovoltaico próximo ao seu consumo e precisam ser atendidos pela mesma distribuidora de energia e estar em nome do mesmo titular do titular da conta. E as condições são validas para a geração de energia com a microgeração com até 75 KW de potência e a minigeração superior 75 KW e menor ou igual 5 MW.

Assim a energia é gerada para o consumo da unidade consumidora em questão e o excedente que não for consumido é injetado na rede elétrica, obtendo um crédito de energia na conta de luz. Por outro lado, a rede elétrica irá funcionar como uma grande bateria para a unidade consumidora e são instalados medidores para a medição do fluxo de energia em uma unidade consumidora.

Uma cooperativa pode produzir a sua própria energia e distribuir na forma de créditos em kWh na conta de luz, em percentuais. A utilização da energia elétrica é feita de modo independente em que cada fração com uso individualizado constitui uma unidade consumidora.

Foi proposto neste trabalho um modelo de geração fotovoltaica na modalidade de geração distribuída por meio de uma cooperativa, que reúne empresas que firmam um contrato entre si, para se beneficiarem das vantagens do compartilhamento de recursos na implantação de um gerador FV a fim de se verificar o resultado obtido.

Este projeto analisa uma geração centralizada em forma de empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, regulado pela Lei n° 6.404 de 15 de dezembro de 1976. O consorcio precisa se inscrever no Cadastro Nacional Pessoas Jurídicas (CNPJ), conforme art 4° da instrução normativa da Receita Federal do Brasil n° 1.634/2016, e ser o titular da unidade consumidora (UC) onde será instalado o gerador FV.

A regulação da ANEEL permite ainda que os consórcios criados em conformidade com a LEI n° 11.795/2008 (destinados a propiciar o acesso ao consumo de bens e serviços) também possam aderir ao Sistema de Compensação.

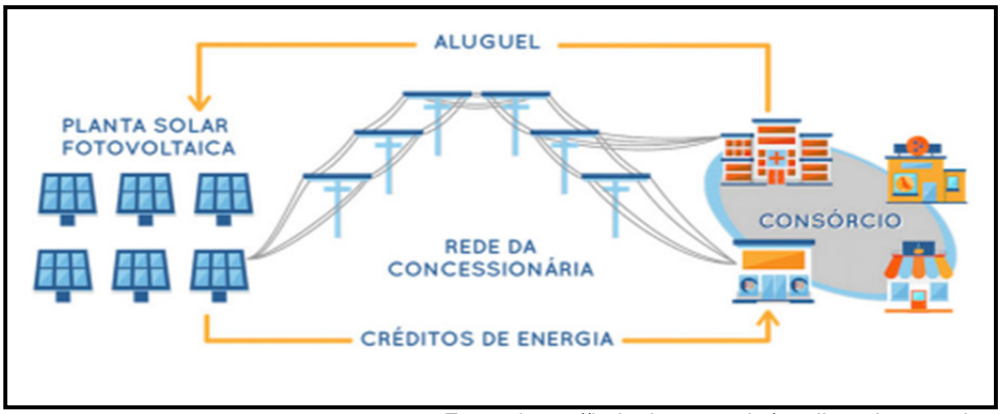
No parágrafo VI, a ANEEL (2015) define empreendimento com múltiplas unidades consumidoras o empreendimento caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento com microgeração ou minigeração distribuída, ou seja, a energia gerada pode ser dividida em porcentagens definidas.

O texto do sétimo parágrafo da resolução citada anteriormente refere-se à possibilidade da geração compartilhada, o referido parágrafo possui a seguinte redação:

> “Geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada” (ANEEL, 2015, p. 02).

Um perfil esquemático da central geradora fotovoltaica é mostrado na Figura 2 onde a geração distribuída pode ser definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição e não necessariamente gerador e consumidor precisam estar próximos.

Figura 2 - Perfil esquemático de um sistema fotovoltaico




Fonte: https://helenium.com.br/creditos-de-energia

Conforme pode ser visto na Figura 2, os estímulos à geração distribuída (GD) justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar. Segundo as regras denomina-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75KW e menor ou igual a 5MW. Levando em conta que a geração de energia elétrica ocorre muito perto do consumidor final, muitas vantagens são oferecidas pela GD ao setor elétrico.

## 2.2 PARÂMETROS DO GERADOR FOTOVOLTAICO

As principais especificações técnicas da central geradora fotovoltaica tratada neste trabalho são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados do Sistema Fotovoltaico

| Especificações do Sistema Fotovoltaico | |
|---|---|
| Capacidade Instalada | 538 KWp |
| Área do Gerador Fotovoltaico | 4.140 m² |
| Produção Estimada Anual de Energia | 810.150 KWh/ano |
| Consumo Atendido | 100% |
| Módulos Fotovoltaicos | 1656 de 325 WP |
| Vida Útil do Sistema | 25 anos |
| Contrato de Aluguel | 5 anos (mínimo) |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Para a realização do estudo de caso do presente trabalho, foi nomeada como contratante a empresa a TeleGiga (nome fictício), uma empresa global de serviços de Telecomunicações que possui Estações Rádio Base (ERB) conectadas em baixa tensão e instaladas em distintas cidades no Estado de Minas Gerais sob a concessão

da CEMIG. Considerada como base de estudo o seu histórico de consumo medido nos últimos meses. Na condição de contratada para a construção do sistema de geração de energia, foi denominada a empresa XSOL (nome fictício), sendo que sua atuação se estende por 10 estados brasileiros envolvendo elaboração de projetos, construções de usinas, operação e manutenção de sistema de geração de energia fotovoltaica.

O sistema Fotovoltaico ainda não foi instalado, porém, há uma previsão de entrar em operação nos primeiros meses de 2020 na área de concessão da CEMIG.

A escolha no estudo por este caso foi orientada com base no custo elevado da tarifa de energia e no nível de irradiação solar local. A Tabela 2 mostra o alto índice de radiação solar local. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para suprir a demanda de consumo de energia elétrica, considerou-se o potencial solar do local da usina, neste caso Iturama-MG, e o consumo mensal médio de cada unidade consumidora do grupo Telegiga.

Tabela 2 - Potencial local da usina solar no Estado de Minas Gerais

**Estação:** Iturama
**Município:** Iturama , MG - BRASIL
**Latitude:** 19,701° S
**Longitude:** 50,249° O
**Distância do ponto de ref.** ( 19,722361° S; 50,192719° O) :6,4 km

| # | Ângulo | Inclinação | Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia] | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média | Delta |
| ✓ | Plano Horizontal | 0° N | 5,71 | 5,84 | 5,29 | 4,98 | 4,31 | 4,03 | 4,32 | 5,17 | 5,15 | 5,63 | 5,84 | 6,08 | 5,20 | 2,05 |
| ✓ | Ângulo igual a latitude | 20° N | 5,20 | 5,57 | 5,39 | 5,54 | 5,18 | 5,05 | 5,34 | 5,99 | 5,42 | 5,48 | 5,37 | 5,45 | 5,42 | ,94 |
| ✓ | Maior média anual | 19° N | 5,24 | 5,60 | 5,40 | 5,52 | 5,15 | 5,01 | 5,30 | 5,96 | 5,42 | 5,50 | 5,40 | 5,49 | 5,42 | ,95 |
| ✓ | Maior mínimo mensal | 22° N | 5,13 | 5,52 | 5,38 | 5,57 | 5,24 | 5,13 | 5,41 | 6,04 | 5,42 | 5,44 | 5,30 | 5,36 | 5,41 | ,91 |

Fonte: http://www.cresesb.cepel.br

Com relação ao recurso solar, os dados de insolação em Iturama foram obtidos gratuitamente a partir da base de dados do CRESESB. A partir destes dados obteve-se o valor de isolação média diária mensal no plano inclinado, cujo ângulo é igual à Latitude local.

A irradiação solar é a potência por unidade de área da energia recebida do Sol, podendo ser medida no espaço ou na superfície. A unidade de irradiância é [W/m²]. Já o temo irradiação solar diária se refere a toda potência recebida pelo Sol durante um dia inteiro, sendo sua unidade medida em [Wh/m²]. A Tabela 3 ilustra os dados obtidos para a cidade de Iturama-MG, onde está localizada a usina geradora tratada neste trabalho, que recebe a radiação solar diária média anual de 5,42 kWh/m² dia.

Os cálculos para obtenção da energia gerada foram realizados com base nos dados solarimétricos locais mostrados na Tabela 2 e nos parâmetros do sistema fotovoltaico conforme Tabela 1, conforme já apresentados.

Por meio de simulações realizadas no software PVSYST, foram determinados os resultados de geração de energia elétrica apresentados na Tabela 3. Os parâmetros de simulação do sistema fotovoltaico e sua configuração básica são mostrados no Apêndice A.

Tabela 3 – Parâmetros e resultados de energia gerada

| | GlobHor kWh/m² | DiffHor kWh/m² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m² | GlobEff kWh/m² | EArray MWh | E_Grid MWh | PR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| January | 156.8 | 86.50 | 25.44 | 142.0 | 138.4 | 65.71 | 63.84 | 0.835 |
| February | 153.8 | 79.60 | 25.45 | 147.5 | 144.2 | 67.94 | 66.07 | 0.832 |
| March | 142.0 | 75.70 | 25.62 | 144.8 | 141.7 | 66.64 | 64.83 | 0.832 |
| April | 137.4 | 58.70 | 24.46 | 155.8 | 152.9 | 71.92 | 69.97 | 0.834 |
| May | 125.0 | 46.70 | 21.42 | 152.7 | 150.3 | 71.47 | 69.44 | 0.845 |
| June | 112.3 | 42.50 | 20.78 | 144.5 | 142.2 | 68.24 | 66.35 | 0.853 |
| July | 129.9 | 46.30 | 20.34 | 165.3 | 162.8 | 78.07 | 75.89 | 0.853 |
| August | 140.6 | 53.20 | 22.61 | 166.5 | 163.6 | 77.22 | 75.14 | 0.839 |
| September | 136.2 | 74.60 | 23.18 | 144.1 | 141.0 | 67.06 | 65.24 | 0.841 |
| October | 156.8 | 79.60 | 25.26 | 154.3 | 150.6 | 70.83 | 68.90 | 0.830 |
| November | 171.4 | 82.40 | 24.83 | 156.5 | 152.3 | 71.85 | 69.91 | 0.830 |
| December | 160.3 | 75.90 | 25.43 | 142.4 | 138.8 | 65.45 | 63.59 | 0.830 |
| Year | 1722.5 | 801.70 | 23.73 | 1816.3 | 1778.8 | 842.39 | 819.15 | 0.838 |

Fonte: Software PVSYST.

Onde:

Ed = Energia produzida pelo sistema (Kwh/dia)

GlobHor = Irradiação global no plano horizontal

DiffHour = Irradiação difusa no plano horizontal

T_Amb = Temperatura ambiente

GlobInc = Irrad. global incidente no plano do coletor

GlobEff = Irrad. Global efetiva com perdas

EArray = Energia efetiva do gerador

E_Grid = Energia injetada na rede elétrica

PR = Fator de desempenho (ou FD)

## 2.3 ESTUDO DE CASO

Os modelos de negócio para uma cooperativa de geração distribuída fotovoltaica podem assumir três diferentes modelos de funcionamento em função dos interesses, modelo com recursos próprios, modelos com financiamento externo e modelo de locação do gerador FV.

Nesse estudo de caso a empresa segmentada no ramo de telecomunicações optou pela contratação do modelo de locação, por não haver dentro de sua estrutura organizacional uma área responsável diretamente para acompanhar a viabilidade do negócio e a operação da usina.

O dimensionamento da parte da usina, que corresponde ao atendimento à demanda da Telegiga, foi baseado nos dados de consumo médios de energia elétrica mostrados na Tabela 4, cujos percentuais de participação de cada unidade consumidora do grupo servem como base de rateio dos créditos obtidos pela geração distribuída fotovoltaica.

Tabela 4 - Dados de consumo mensal do grupo Telegiga - média anual

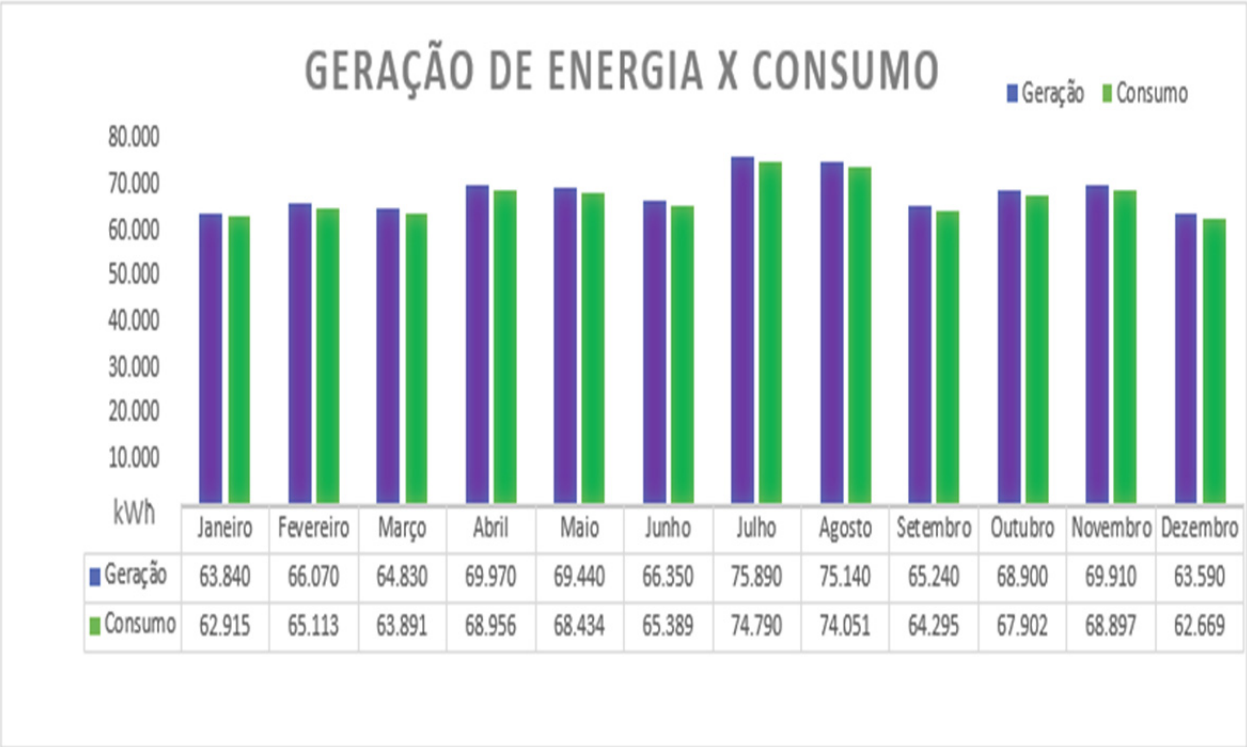
| Nº UC | Município | Consumo Médio Mensal (kWh) | Percentual |
|---|---|---|---|
| 3005650089 | Barbacena | 2.262 | 3,36% |
| 3005671236 | Belo Horizonte | 4.458 | 6,63% |
| 3005609652 | Belo Horizonte | 321 | 0,48% |
| 3005692167 | Belo Horizonte | 28.539 | 42,42% |
| 3005655741 | Careaçu | 4.441 | 6,60% |
| 3005677826 | Congonhas | 2.345 | 3,49% |
| 3005718675 | Itatiaiuçu | 1.682 | 2,50% |
| 3005701136 | Juiz de Fora | 4.177 | 6,21% |
| 3005774403 | Lavras | 4.139 | 6,15% |
| 3005669196 | Oliveira | 3.165 | 4,70% |
| 3003510077 | Pouso Alegre | 1.304 | 1,94% |
| 3005698871 | Santa Bárbara do Monte Verde | 1.367 | 2,03% |
| 3005660598 | Três Corações | 7.738 | 11,50% |
| 3005687580 | Betim | 1.338 | 1,99% |
| Total | | 67.275 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

Conforme os valores demonstrados na Tabela 4, cada unidade consumidora irá receber o crédito da energia gerada, que será descontado de seu respectivo montante consumido, de acordo com o percentual de rateio e com base no total de energia gerada.

A Figura 3 mostra uma estimativa da produção mensal de energia da usina fotovoltaica durante um ano (parte Telegiga), e o consumo mensal do grupo considerando a somatória de suas 14 unidades consumidoras.

Figura 3 - Produção e consumo do grupo Telegiga - mensais em kWh




| kWh | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maio | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Geração | 63.840 | 66.070 | 64.830 | 69.970 | 69.440 | 66.350 | 75.890 | 75.140 | 65.240 | 68.900 | 69.910 | 63.590 |
| Consumo | 62.915 | 65.113 | 63.891 | 68.956 | 68.434 | 65.389 | 74.790 | 74.051 | 64.295 | 67.902 | 68.897 | 62.669 |

Fonte: Próprio autor com ajuda de software PVSyst

Observa-se na Figura 3, a energia gerada que foi calculada com base em simulações no software PVSyst para cada mês ao longo do ano, tendo como base os dados históricos de irradiação local, e também os valores de consumo mensal do grupo Telegiga, base nas faturas de energia elétrica.

O consumo de energia ao longo dos meses resulta no total de 807.300 kWh/ano e a geração da energia elétrica esperada por parte usina totaliza 819.170 kWh/ano. Fazendo um balanço entre os totais anuais, pode-se concluir que a usina fotovoltaica em questão é capaz de atender a toda a demanda das 14 unidades consumidoras.

## 2.4 MEDIÇÃO E COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A medição em sistemas de GD, mostrada na Figura 4, deve atender a especificações idênticas as exigidas das demais unidades consumidoras convencionais, porém dotado adicionalmente da funcionalidade que permita medir a

quantidade de energia consumida da rede da concessionária e a quantidade de energia que gerada e exportada a rede elétrica. Neste sistema, ao final do mês, o consumidor só paga a diferença entre o que se consumiu e o que se gerou.

Figura 4 – Medição bidirecional em sistemas de GD

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

Para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), mesmo que a energia injetada na rede seja superior ao consumido no mesmo período, ainda será faturado o custo de disponibilidade da rede elétrica, cujo valor em reais é equivalente a 30kWh (monofásico), 50kWh (bifásico) ou 100kWh (trifásico).

O sistema de compensação de energia elétrica, também conhecido pelo termo em inglês *net-metering*, é o procedimento ao qual a energia ativa excedente, produzida de GD, é injetada no sistema de distribuição da concessionária local, passando a unidade consumidora a acumular créditos em quantidade de energia ativa, a ser consumida no prazo de 60 meses. Os créditos poderão ser utilizados para abater o consumo de energia elétrica da unidade onde a energia foi gerada ou em outra unidade consumidora, mesmo que tenham titularidade diferente, conforme previsto na resolução 687/2015 da ANEEL.

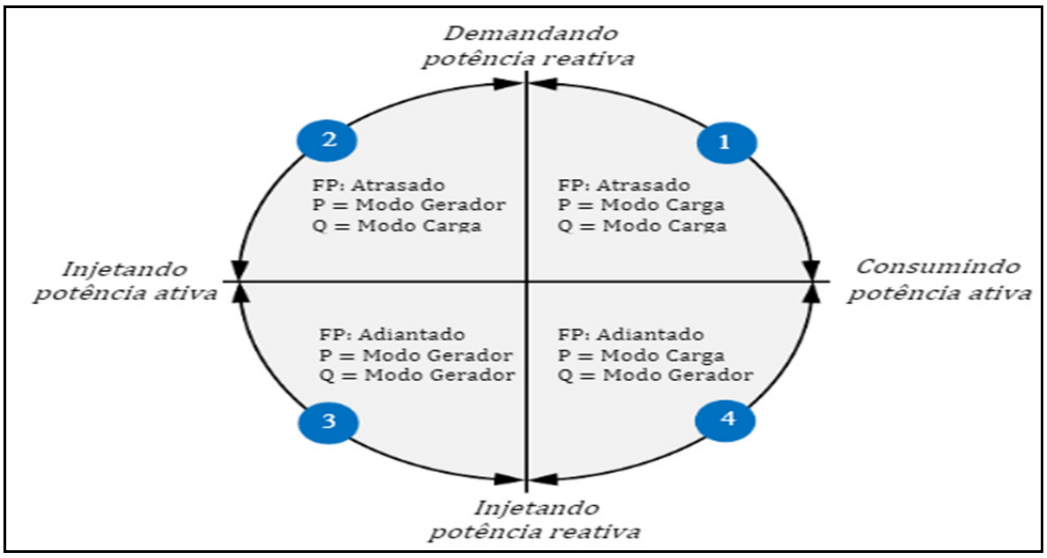
- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: unidades consumidoras localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedade contíguas (condomínios) com porcentagens de compensação definidas pelos próprios consumidores.
- Sistemas geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consorcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica.
- Autoconsumo remoto: para unidades consumidoras em que ambas estejam sob o mesmo Cadastro de Pessoa Física ou Cadastro de Pessoa Jurídica com

sistema de geração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada.

Nas situações em que existiam postos tarifários diferenciados (ponta e fora de ponta), a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e posteriormente nos demais postos tarifários dentro do mesmo ciclo de faturamento, após a aplicação de um fator de ajuste (ANEEL, 2015). Estando o sistema de Geração Distribuída FV em operação, o consumo interno da edificação é naturalmente priorizado e apenas a energia excedente é transferida a rede. Assim, a rede de distribuição se comporta de forma análoga a um armazenador de energia em momentos em que a demanda da unidade consumidora é menor do que a produção, e como retaguarda nos momentos em que a produção da GD é menor do que o consumo. Para adoção do sistema de compensação de energia das unidades consumidoras deverão dispor de medidores eletrônicos bidirecionais. No caso da microgeração distribuída, o medidor deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede. Já para os sistemas de minigeração deverá ser instalado um medidor de quatro quadrantes que além dos recursos exigidos para o medidor utilizado na microgeração deverá possibilitar o faturamento excedente de reativos.

Na figura 5, é ilustrada a medição em quatro quadrantes, realizada pelo medidor bidirecional.

Figura 5 – Medidor bidirecional



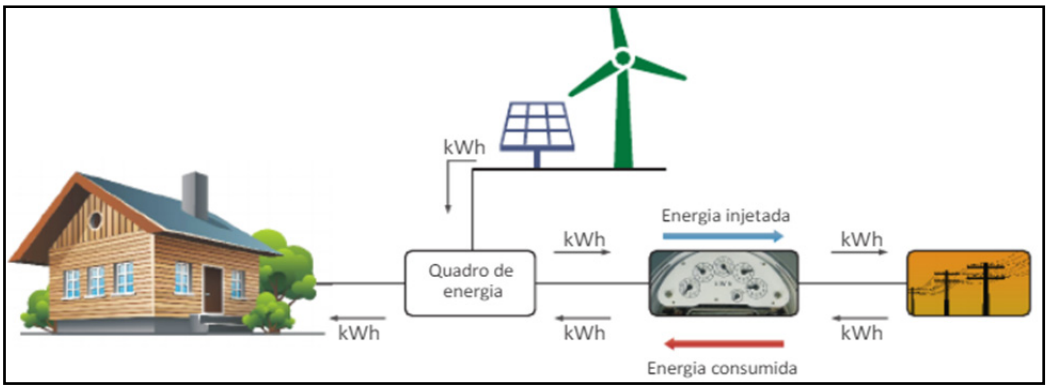

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

A medição bidirecional também pode ser realizada por médio de dois medidores unidirecionais: um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para

a energia elétrica ativa gerada, caso seja a alternativa de menor custo para a distribuidora ou por solicitação do titular da unidade consumidora com geração distribuída. Para os sistemas de GD instalados em unidades consumidoras em tensão primária com equipamentos de medição instalados no secundário dos transformadores, a contabilização dos créditos de compensação deve ser deduzida a perda por transformação da energia injetada por essa unidade consumidora (ANEEL, 2015).

A figura 6 ilustra o funcionamento do sistema de compensação de energia elétrica.

Figura 6 – Compensação de energia elétrica




Fonte: ANEEL, 2015

Em regra, no período em que a usina não gera energia suficiente para abastecer a unidade consumidora a rede concessionária local fornecerá a diferença portando será utilizado o crédito de energia ou caso não haja o consumidor pagará a diferença. Quando a unidade consumidora não utiliza toda a energia gerada pela usina, ela é injetada na rede da distribuidora local gerando crédito de energia.

A potência instalada na microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora, limite este definido pela corrente do disjuntor geral do padrão de entrada desta unidade. O limite da potência instalada do sistema de Geração Distribuída FV em empreendimento de múltiplas unidades consumidoras

Na geração de energia cada modelo exige características especificas que influenciam no custo, no Brasil existem diversos valores de tarifa sendo aplicados e a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) traz em seu portal uma lista com todas as concessionárias que fornecem este serviço com suas respectivas tarifas, assim como cada distribuidora disponibiliza a composição das tarifas.

Como este estudo de caso se baseia na área de concessão da CEMIG, a Tabela 5 exemplifica a tarifa mais atualizada no portal da distribuidora em questão.

Tabela 5 - Lista de preços das tarifas vigentes com impostos da CEMIG

| TARIFAS DE FORNECIMENTO CEMIG | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Resolução ANEEL Nº 2550 de 21/05/2019** | | | | |
| | | **Aplicação de tarifas em: junho-19** | | |
| | | PASEP 0,58% | | |
| | | COFINS 2,66% | | |
| | | | Tarifas Proporcionalizadas | Bandeira Amarela |
| **GRUPO B** | | | | |
| SEGMENTO | UNIDADE | 0 | Tarifas com PASEP/COFINS e ICMS, B1 (30%), B2 (18%) e B3 (18%) | Tarifas com PASEP/COFINS e ICMS, B1 (30%), B2 (18%) e B3 (25%) |
| B1 - RESIDENCIAL | R$/MWh | 593,71 | **889,32414** | **889,32414495** |
| B2 - RURAL | R$/MWh | 420,92 | **534,43482** | **534,43482** |
| B3 - 127/220 V - CONSUMO | R$/MWh | 593,71 | **753,82529** | **827,35897320** |

Fonte: CEMIG, 2019 http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/tarifas.aspx

A concessionária que atende as unidades consumidoras em estudo é a CEMIG com a tarifa de R$827/MWh, com impostos e sem considerar a aplicação de bandeiras. Para iniciar o estudo é necessário identificar alguns dados a fim de obter uma visão sobre o consumo mensal e o valor total gasto com a utilização do serviço de fornecimento de energia da concessionária.

Para efeito de estudo, o custo da tarifa não inclui o adicional por bandeiras tarifarias, R$628/MWh, dado tomado conforme a resolução homologatória vigente da CEMIG referente ao ajuste tarifário, sendo a soma dos valores mostrados na linha demarcada em amarelo da Tabela 6.

Tabela 6 - Tabela de tarifas vigentes

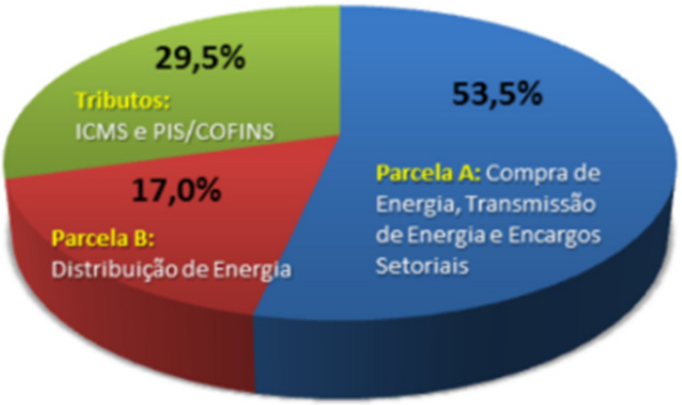
| B3 | Posto | TUSD (R$/MWh) | TE (R$/MWh) |
|---|---|---|---|
| **Branca** | P | 797,45 | 444,6 |
| | INT | 529,09 | 267,01 |
| | FP | 260,73 | 267,01 |
| **Pré - Pagamento** | NA | 346,52 | 281,81 |
| **Convencional** | NA | 346,52 | 281,81 |

Fonte: http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192550ti.pdf

O valor final da energia brasileira baseia-se em três parcelas: tributos, distribuição da energia e aos encargos setoriais de compra e transmissão de energia. Conforme a ANEEL (2018) os custos de energia classificados com Parcela A representam atualmente a maior parcela de custos (53.5%), seguidos pelos custos com tributos (29,5%) e pela parcela referente aos custos com a distribuição, conhecida como Parcela B, custo este para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição (17%).

A figura 7 representa a composição da tarifa de energia.

Figura 7 - Valor final da energia elétrica




Fonte: ANEEL, 2019

É importante compreender a forma de cobrança da energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas contas de energia, pois se torna fundamental para a tomada de decisão em relação a qualquer projeto. Os dados contidos na conta de energia permitem visualizar como é feita a utilização de energia em um determinado tempo possibilitando conhecer relações entre o comportamento do consumo.

## 2.5 PARCELA A

Os custos não gerenciáveis são encargos que independem das decisões da concessionária, esta parcela é composta por encargos setoriais, encargos de transmissão e aquisição de energia elétrica. Conforme a ANEEL (2018) destacam-se encargos setoriais a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica a qual foi instituída por meio da Lei n° 9.427/96, os encargos referentes à pesquisa e Desenvolvimento Energético (P&D), foram instituídos por meio da Lei n° 9.991/00, o programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), instituído

por meio do Decreto n° 5025/04 e por fim, os encargos de Serviço do Sistema, criado pelo Decreto n°5.163/04.

Por fim, para a energia das usinas elétricas serem transportadas até o consumidor, as distribuidoras pagam uma tarifa às transmissoras referentes ao uso da Rede Básica de Transmissão. Essa tarifa corresponde ao uso do Sistema Interligado Nacional (SIN) de linhas de transmissão de energia elétrica.

## 2.6 CUSTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

A parcela B refere-se aos custos gerenciados pela concessionária de energia, essa tarifa é aplicada aos consumidores de energia elétrica e pode ser dividida em dois componentes, a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema do Sistema de Distribuição (TUSD), essa tarifa é rateada e paga pelos usuários atendidos pelas distribuidoras de energia e cada componente da TUSD destina-se a cobrir componentes específicos do orçamento da concessionária, a TE se aplica a energia adquirida pelas distribuidoras para atender os consumidores cativos de alta e baixa tensão e tendo como os principais componentes o custo de aquisição da energia e as perdas na rede básica.

## 2.7 REAJUSTE TARIFÁRIO ANUAL

O reajuste tarifário anual ocorre em datas preestabelecidas pela ANEEL cada distribuidora de energia possui uma data específica para a realização deste reajuste no caso da CEMIG é aplicado em maio de cada ano. Os reajustes são calculados com o objetivo de manter o equilíbrio financeiro das concessionárias, repassando de forma coerente estes custos para os consumidores finais na tarifa.

## 2.8 REVISÃO DE TARIFA

A revisão tarifaria periódica influência no valor pago pelo consumidor é aplicada a cada quatro anos em média de acordo com o contrato de concessão. Nesta revisão, também se define o nível eficiente dos custos operacionais e da remuneração dos investimentos da parcela B.

Para a ANEEL uma vez definido o valor eficiente dos custos relacionado â atividade de distribuição, apenas reajustados por IGP-M menos o Fator X até a revisão

tarifária seguinte, não sendo reavaliados a cada ano. Todas as concessionárias recebem incentivos para a redução de despesas e aumento de sua eficiência, desta forma, os ganhos de eficiência obtidos pelas concessionárias refletem na composição tarifária.

## 2.9 CARGA TRIBUÁRIA NA TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA

Os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram na conta de energia o PIS/CONFINS, o ICMS e a Contribuição para a iluminação Pública respectivamente. O programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) são cobrados pela União para manter programas do Governo Federal, para criação e manutenção de programas sociais voltados aos a população. Segundo a ANEEL (2018), a edição das Leis nº 10.637/2002, 1 0.83 3/20 03 e 10.865/2004, o PIS e a COFINS alteram-nas para 1,65% e 7,6%, respectivamente, passando a ser apurados de forma não cumulativa.

A alíquota média desses tributos passou a variar com o volume de créditos apurados mensalmente pelas concessionárias e com o PIS e a COFINS pagos sobre custos e despesas no mesmo período, tais como a energia adquirida para revenda ao consumidor. Relacionado aos tributos estaduais presentes na tarifa energética, destaca-se o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). A (2018) informa que este imposto está previsto no artigo 155 da Constituição Federal de 1988, o qual incide sobre as operações relativas à circulação de mercadorias e serviços e é de competência dos governos estaduais e do Distrito Federal. O ICMS é regulamentado pelo código tributário de cada estado, ou seja, estabelecido em lei pelas casas legislativas. Por esse motivo, o custo da tarifa em um estado, na maioria das vezes, é diferente em relação aos outros estados. A distribuidora tem a obrigação de realizar a cobrança do ICMS direto na fatura e repassá-lo integralmente ao Governo Estadual. Em relação à contribuição municipal a ANEEL (2018) destaca a contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP), a qual está prevista no artigo 149-A da Constituição Federal de 1988 que estabelece, entre as competências dos municípios, dispor, conforme lei específica aprovada pela Câmara Municipal, à forma de cobrança e a base de cálculo da CIP. Assim, são atribuídas ao Poder Público Municipal toda e qualquer responsabilidade pelos serviços de projeto, implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública. Neste caso, a concessionária apenas arrecada a taxa de iluminação pública para o município,

repassando para a prefeitura, esta deve se responsabilizar pela manutenção e melhorias, por conta de um órgão competente, ou por meio da contratação de empresas terceirizadas.

De acordo com a Tabela 7, o modelo da tarifa de energia é formado com influência da área de concessão, e dessa forma os valores cobrados refletem as particularidades das áreas de concessão somadas aos custos repassados relativos à geração, transmissão e distribuição e aos encargos e tributos.

Tabela 7 - Ranking de tarifas (Grupo B)

| Distribuidora | UF | Ranking | Tarifa Convencional | Tarifa Branca - Ponta | Tarifa Branca - Intermediária | Tarifa Branca - Fora ponta | Resolução Homologatória | Início de vigênci |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cemig-D | MG | 19 | 0,628 | 1,198 | 0,770 | 0,519 | 2550/2019 | 28/05/19 |
| Cerim | SP | 20 | 0,628 | 1,018 | 0,742 | 0,466 | 2475/2018 | 30/10/18 |
| EMT | MT | 21 | 0,627 | 1,261 | 0,803 | 0,522 | 2527/2019 | 08/04/19 |
| Ceprag | SC | 22 | 0,627 | 1,349 | 0,890 | 0,431 | 2507/2018 | 22/12/18 |
| Light | RJ | 23 | 0,626 | 1,147 | 0,764 | 0,552 | 2523/2019 | 01/04/19 |
| Forcel | PR | 24 | 0,619 | 1,214 | 0,770 | 0,468 | 2595/2019 | 26/08/19 |
| Certaja | RS | 25 | 0,616 | 0,974 | 0,664 | 0,540 | 2543/2019 | 29/05/19 |
| Cepisa | PI | 26 | 0,615 | 1,313 | 0,828 | 0,517 | 2523/2019 | 01/04/19 |
| Ceral Anitápolis | SC | 27 | 0,609 | 1,224 | 0,833 | 0,443 | 2474/2018 | 30/10/18 |
| EMS | MS | 28 | 0,609 | 1,155 | 0,738 | 0,489 | 2525/2019 | 08/04/19 |

Fonte: http://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas

Na atual estrutura de tarifação do Grupo B encontram-se as unidades consumidoras de baixa tensão (abaixo de 2.300 Volts). Nessa classe se enquadram as residências, pequenas oficinas e edifícios comerciais, em sua maioria atendida nas tensões de 127 ou 220 Volts, sendo que as tarifas aplicadas variam em função do tipo de tarifação. No ranking de tarifas, a CEMIG se encontra na posição 19º, em ordem decrescente do valor praticado.

## 2.10 COMPOSIÇÃO DA TARIFA DE ENERGIA

Diante das variáveis que estabelecem a composição da tarifa de energia há que mencionar que para a contratação do gerador fotovoltaico, no intuito de tornar a atratividade nos preços da energia gerada com a energia do mercado regulado, é necessário fixar uma média para os impostos aplicados nas últimas 12 faturas para determinar o custo médio ponderado. Os dados empregados nos estudos foram analisados diretamente agrupando as variáreis utilizadas nos custos (iniciais/anuais) sobre os valores para a geração de energia elétrica, sendo considerados os seguintes dados:

- Tarifa TUSD: R$ 346,52 e a Tarifa TE: R$ 281,81
- Total: 628,33
- ICMS: 25% ICMS para comercial B3
- PIS/COFINS: 5,98% PIS/COFINS médio da CEMIG
- Tarifa B3 C/ TRIBUTOS: **R$910,33/MWh** ou **R$0,91/kWh**

As bases adotadas no cálculo do preço médio podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Preço médio

| Ano 2018-2019 | jun | jul | ago | set | out | nov | dez | jan | fev | mar | abr | mai |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Informar Bandeira | Verde | Vermelha II | Vermelha II | Vermelha II | Vermelha II | Amarela | Verde | Verde | Verde | Verde | Verde | Amarela |
| Informar PIS/COFINS | 7,31% | 7,22% | 8,99% | 4,00% | 2,51% | 5,67% | 8,04% | 7,31% | 8,73% | 4,10% | 4,15% | 3,70% |
| Tarifa Média Ponderada | 928,25 | 1.015,54 | 1.042,77 | 969,48 | 949,55 | 927,92 | 938,41 | 928,25 | 948,14 | 886,22 | 886,85 | 902,29 |

| Tarifa Base | |
|---|---|
| Tarifa de Aplicação | 628,33 |
| ICMS | 25% |
| PIS/COFINS médio | 6,0% |
| Tarifa Base c/ tributos | 910,36 |
| Média últimos 12 meses | 943,64 |

| Bandeiras | |
|---|---|
| Verde | 0 |
| Amarela | 15 |
| Vermelha I | 40 |
| Vermelha II | 60 |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

As variáveis fixas: PIS e COFINS adotada a média com base nas últimas 12 faturas. Outras variáveis como TUSD e TE foram adotados valores conforme a tarifa de aplicação presente e divulgada pela ANEEL.

## 2.11 BALANÇO ECONÔMICO

**Visto pelo lado da contratante Telegiga**

A economia mensal prevista visto pela contratante (Telegiga) é esperada em até 20% na conta de energia comparada à modalidade convencional no mercado regulado, considerando a tarifa vigente da concessionária. Importante destacar que os contratos de locação de geradores fotovoltaicos não podem ter como base a quantidade da energia gerada, sendo apenas permitido estabelecer um valor de aluguel.

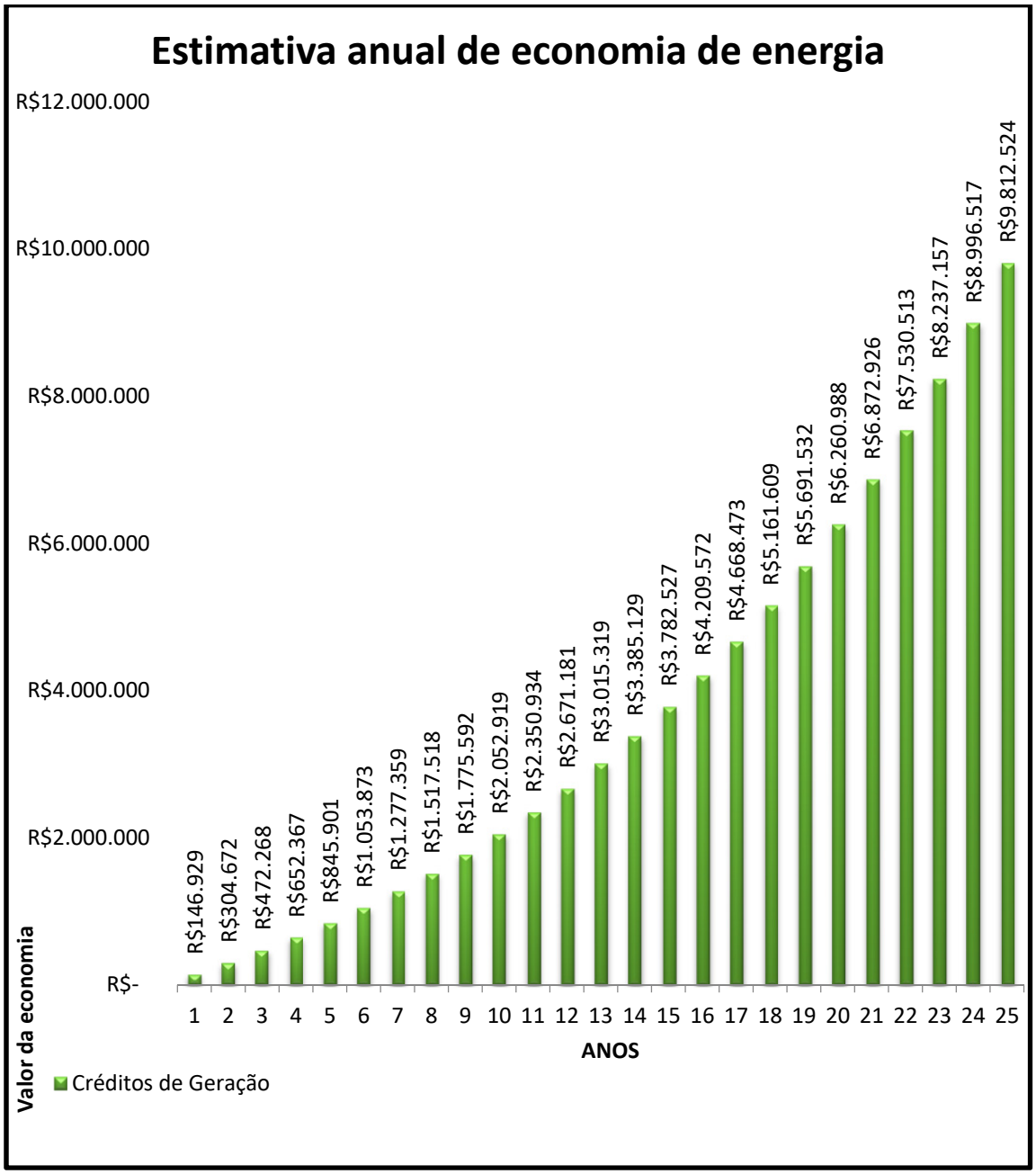
Uma cooperativa de Geração Distribuída consiste na união de pessoas físicas e ou jurídicas que tem em comum a vontade de produzir a própria energia. Uma vez

instalado o gerador há um fluxo de capital dos associados à cooperativa para arcar com os custos operacionais e pagar a locação da geração.

Visto que a principal ideia é fixar uma economia em relação à fatura emitida pela distribuidora Cemig (B3-Tarifa Base 2019), a viabilidade do projeto necessita ser demonstrada e comparada em relação aos gastos do mercado regulado com a tarifa vigente de R$910 MWh (sem acréscimo de bandeiras tarifárias) e pela quantidade de energia a ser gerada considerando que o desconto percebido está fixado em 20%.

Na Tabela 9 é demonstrada a economia esperada ao longo dos anos.

Tabela 9 - Economia anual acumulada prevista




Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

A análise da relação dos créditos de geração da Tabela 9 compete adotar as seguintes premissas.

- O reajuste no ano 2 é considerado um aumento de 7,9% na tarifa da energia elétrica e no ano 3 considera o ajuste de 6,78% e para os demais anos 8%. Os critérios adotados foram com base nos reajustes históricos estabelecidos pela concessionária de energia: percentual igual ao reajuste de 2019 para o ano 2, para o ano 3 foi adotada a média dos reajustes nos últimos três anos e para os demais anos foi considerada a média dos últimos 9 anos.
- A perda de eficiência anual dos módulos considerada nos cálculos adotou um fator de 0,995 (perda de 0,5% ao ano). Como não há definido fabricante e modelo dos painéis solares, o critério adotado foi definido pelo autor.

Os resultados da Tabela 9 foram obtidos com base no consumo anual do grupo Telegiga, e nos cálculos seguindo o raciocínio abaixo. A Tabela 12 do Apêndice B mostra os detalhes dos cálculos.

**Ano 1**:

Ec = (Ga x Tv) x D (Eq. 1)

Ec = 807.300 x 0,91 x 20%

Ec = **R$ 146.929 / ano**

Onde:

Ec = Economia prevista ao contratante Telegiga [R$/ano]

Ga= Geração Anual da usina (da Tabela 1, seção 2.2) em [kWh/ano]

Tv= Tarifa Vigente local B3 com tributos, sem bandeira (da seção 2.10) em R$/kWh.

D = Desconto de 20% (sob contrato com locador)

**Ano 2 em diante**:

Ec = (Ga x Tv x Reaj) x D x (Perdas) (Eq. 2)

Ec = (807.300 x 0,91 x 1,079) x 20% x (0,995)

Ec = R$ 157.743 / ano (exemplo do ano 2)

Onde:

Ec = Economia prevista ao contratante Telegiga [R$/ano]

Ga= Geração Anual da usina (da Tabela 1, seção 2.2) em [kWh/ano]

Tv= Tarifa Vigente local B3 com tributos, sem bandeira (da seção 2.10) em [R$/kWh]

D = Desconto de 20% (sob contrato com locador)

Perdas = Perdas de eficiência das placas fotovoltaicas (0,5% ao ano)

Real = Índice de reajuste tarifário conforme explicado

Ano 2: +7,9% ao ano

Ano 3: +6,78% ao ano

Demais anos: +8% ao ano

## 2.12 EXEMPLO DE FATURAMENTO PELO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Vamos considerar a existência de uma unidade consumidora trifásica (custo de disponibilidade igual ao valor em reais equivalente a 100 kWh), localizada na cidade de Belo Horizonte, cujo consumo médio mensal seja de 320 kWh.

Para efeitos de cálculo, foi utilizada a tarifa de 0,91 R$ /kWh da Cemig,

Com base nos níveis mensais de irradiação solar na localidade, foi estimada para a unidade consumidora (UC) a geração de energia (injetada), conforme apresentado na tabela 10.

Tabela 10 – Consumo e geração 1° trimestre

| Mês | Consumo (kWh) | Geração (kWh) | Crédio acumulado (kWh) | Fatura sem GD | Fatura Com GD | Diferença |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Jan | 230 | 253 | 23 | R$ 209,30 | R$ 91,00 | R$ 118,30 |
| Fev | 260 | 260 | 23 | R$ 236,60 | R$ 91,00 | R$ 145,60 |
| Mar | 360 | 235 | 0 | R$ 327,60 | R$ 92,82 | R$ 234,78 |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

Conforme pode ser observado na Tabela 10, no mês de janeiro o consumo da unidade consumidora (230 kWh) foi menor do que a energia ativa injetada na rede (253 kWh), resultando disso um crédito (23 kWh) a ser utilizado em faturamento posterior.

No mês de janeiro, portanto, o faturamento será apenas pelo custo de disponibilidade. Como esse custo é o valor em reais equivalente a 100 kWh, para uma tarifa de 0,91 R$/kWh, o custo de disponibilidade será de R$ 91,00.

No mês de fevereiro, a energia ativa injetada na rede (260 kWh) foi igual ao consumo medido. Dessa forma, o crédito do mês anterior não foi aproveitado (e, novamente, a UC foi faturada pelo custo de disponibilidade).

Em março, o consumo (360 kWh) foi maior do que a energia ativa injetada na rede (335 kWh), circunstância que propiciou a utilização do crédito de 23 kWh gerados no mês de janeiro.

# CONCLUSÃO

A pesquisa se baseou no estudo de caso de uma minigeração distribuída em geração remota fotovoltaica, sob a contratação na modalidade de locação de gerador, apresentando o dimensionamento teórico do sistema implementado, detalhes quanto à escolha do local da usina, balanço de energia consumida e injetada e os critérios adotados para obtenção da economia prevista, com base no sistema de compensação de energia sob os efeitos estimados das variações tarifárias da energia elétrica (R$/kWh) e índices de perdas de eficiência das placas fotovoltaicas.

Ao término deste estudo foi apresentada uma previsão de economia visto pelo lado da contratante (Telegiga) em relação ao custo de uma contratação convencional no mercado regulado. Observou-se que, desta forma, e dentro dos critérios apresentados para o grupo de consumidores da classe B, há viabilidade na modalidade de contratação apresentada sob o ponto de vista da contratante, cujas vantagens principais são relacionadas a seguir.

a) Não necessidade de aporte para investimento;

b) Redução da tarifa de consumo de energia em 20% (e seu custo de consumo de energia).

O sistema de compensação de energia tem seu modo de faturamento, que quando houver créditos provenientes da geração de energia, estes devem ser utilizados para compensar o consumo. Dessa forma, o valor a ser faturado é a diferença positiva entre a energia consumida e a injetada, considerando também eventuais créditos de meses anteriores. Foram realizados alguns cálculos para a análise da viabilidade econômico-financeira com base na geração de energia, simulações com o custo da energia adicionando reajustes tarifários estimados e mantendo o percentual de 20% na redução da fatura de energia em relação ao valor correspondente ao mercado regulado.

Os resultados revelaram que o modelo de contratação de aluguel de sistema fotovoltaico como alternativa para redução de custos é viável por parte da contratante, e conclui-se que, além de reduzir custos e de apresentar vantagem econômica para a empresa TeleGiga, a energia solar, uma das mais importantes dentre as fontes de energia renováveis, gerará benefícios inestimáveis também ao meio ambiente.

Contudo, também foi possível identificar certos riscos relacionados ao modelo estudado:

a) Incerteza na condição contratual relacionada ao local da instalação da usina geradora, com risco de necessidade de devolução ao proprietário antes mesmo do fim da vida útil do gerador. Este aspecto deve ser bem avaliado no início da contratação;

b) Mudanças ou eventuais ocorrências no desempenho do sistema gerador em função de condições e fatores ambientais;

c) Incertezas nas revisões regulatórias, principalmente aquelas com influência direta na política de geração distribuída e energias renováveis.

Apesar dos resultados desta pesquisa demonstrar a viabilidade econômica do modelo proposto de contratação aos olhos da contratante (Telegiga), o impacto à contratada (XSOL) não foi possível ser avaliado, pois não foram disponibilizados os dados para uma análise mais apurada. Tendo a ciência que um contrato confiável depende da satisfação mútua, da contratada e da contratante, ainda é necessário um estudo dos resultados esperados por parte da contratada e detalhes das variâncias contratuais, envolvendo inclusive os aspectos jurídicos. Estes aspectos serão analisados no prosseguimento dos trabalhos nas próximas etapas.

# APÊNDICE A

Tabela 11 – Parâmetros e configuração do sistema base PVSyst

## Grid-Connected System: Simulation parameters

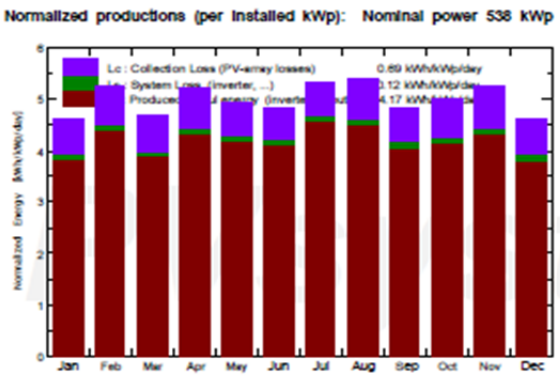
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Project :** | **New Project iturama 1401** | | | |
| **Geographical Site** | **Iturama** | | Country | **Brazil** |
| **Situation** | Latitude | -19.73° S | Longitude | -50.20° W |
| Time defined as | Legal Time | Time zone UT-3 | Altitude | 474 m |
| | Albedo | 0.20 | | |
| **Meteo data:** | **Iturama** | Meteonorm 7.2, Sat=100% - Synthetic | | |

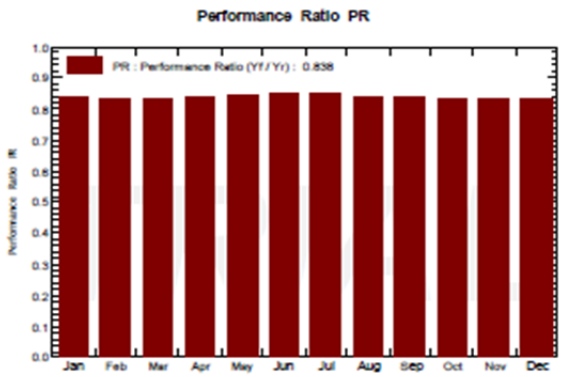
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Simulation variant :** | **New simulation variant iturama** | | | |
| | Simulation date | 14/01/20 09h24 | | |
| **Simulation parameters** | System type | **No 3D scene defined, no shadings** | | |
| **Collector Plane Orientation** | Tilt | 23° | Azimuth | 0° |
| **Models used** | Transposition | Perez | Diffuse | Perez, Meteonorm |
| **Horizon** | Free Horizon | | | |
| **Near Shadings** | No Shadings | | | |
| **User's needs :** | Unlimited load (grid) | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **PV Array Characteristics** | | | | |
| **PV module** Si-poly | Model | **CS3L-325P HE 1500V** | | |
| Original PVsyst database | Manufacturer | Canadian Solar Inc. | | |
| Number of PV modules | In series | 12 modules | In parallel | 138 strings |
| Total number of PV modules | Nb. modules | 1656 | Unit Nom. Power | 325 Wp |
| Array global power | Nominal (STC) | **538 kWp** | At operating cond. | 488 kWp (50°C) |
| Array operating characteristics (50°C) | U mpp | 347 V | I mpp | 1407 A |
| Total area | Module area | **3063 m²** | Cell area | 2738 m² |
| **Inverter** | Model | **GT 500 MVX** | | |
| Original PVsyst database | Manufacturer | Schneider Electric | | |
| Characteristics | Operating Voltage | 310-480 V | Unit Nom. Power | 500 kWac |
| Inverter pack | Nb. of inverters | 1 units | Total Power | 500 kWac |
| | | | Pnom ratio | 1.08 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Main system parameters** | System type | **No 3D scene defined, no shadings** | | |
| PV Field Orientation | tilt | 23° | azimuth | 0° |
| PV modules | Model | CS3L-325P HE 1500V | Pnom | 325 Wp |
| PV Array | Nb. of modules | 1656 | Pnom total | **538 kWp** |
| Inverter | Model | GT 500 MVX | Pnom | 500 kW ac |
| User's needs | Unlimited load (grid) | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Main simulation results** | | | | |
| System Production | **Produced Energy** | **819.2 MWh/year** | Specific prod. | 1522 kWh/kWp/year |
| | Performance Ratio PR | 83.80 % | | |




Fonte: Elaborado pelo Autor com software PVSyst

# APÊNDICE B

Tabela 12 – Economia estimada (R$/ano e R$ acumulado em 25 anos)

| ANO | Ga | Perdas | Ga-Perda | Tv | Reaj | Tv + Reaj | D | Ec | Ec acum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kWh/ano | % ao ano | kWh/ano | R$/kWh | % ao ano | R$/kWh | % | R$/ano | R$ acumul |
| 1 | 807.300 | 0,0% | 807.300 | 0,91 | 0,0% | 0,91 | 20,0% | **146.929** | **146.929** |
| 2 | 807.300 | 0,5% | 803.264 | 0,91 | 7,9% | 0,98 | 20,0% | **157.743** | **304.672** |
| 3 | 807.300 | 0,5% | 799.247 | 0,91 | 6,8% | 1,05 | 20,0% | **167.596** | **472.268** |
| 4 | 807.300 | 0,5% | 795.251 | 0,91 | 8,0% | 1,13 | 20,0% | **180.099** | **652.367** |
| 5 | 807.300 | 0,5% | 791.275 | 0,91 | 8,0% | 1,22 | 20,0% | **193.534** | **845.901** |
| 6 | 807.300 | 0,5% | 787.318 | 0,91 | 8,0% | 1,32 | 20,0% | **207.972** | **1.053.873** |
| 7 | 807.300 | 0,5% | 783.382 | 0,91 | 8,0% | 1,43 | 20,0% | **223.486** | **1.277.359** |
| 8 | 807.300 | 0,5% | 779.465 | 0,91 | 8,0% | 1,54 | 20,0% | **240.159** | **1.517.518** |
| 9 | 807.300 | 0,5% | 775.567 | 0,91 | 8,0% | 1,66 | 20,0% | **258.074** | **1.775.592** |
| 10 | 807.300 | 0,5% | 771.690 | 0,91 | 8,0% | 1,80 | 20,0% | **277.327** | **2.052.919** |
| 11 | 807.300 | 0,5% | 767.831 | 0,91 | 8,0% | 1,94 | 20,0% | **298.015** | **2.350.934** |
| 12 | 807.300 | 0,5% | 763.992 | 0,91 | 8,0% | 2,10 | 20,0% | **320.247** | **2.671.181** |
| 13 | 807.300 | 0,5% | 760.172 | 0,91 | 8,0% | 2,26 | 20,0% | **344.138** | **3.015.319** |
| 14 | 807.300 | 0,5% | 756.371 | 0,91 | 8,0% | 2,44 | 20,0% | **369.810** | **3.385.129** |
| 15 | 807.300 | 0,5% | 752.589 | 0,91 | 8,0% | 2,64 | 20,0% | **397.398** | **3.782.527** |
| 16 | 807.300 | 0,5% | 748.826 | 0,91 | 8,0% | 2,85 | 20,0% | **427.044** | **4.209.572** |
| 17 | 807.300 | 0,5% | 745.082 | 0,91 | 8,0% | 3,08 | 20,0% | **458.902** | **4.668.473** |
| 18 | 807.300 | 0,5% | 741.357 | 0,91 | 8,0% | 3,33 | 20,0% | **493.136** | **5.161.609** |
| 19 | 807.300 | 0,5% | 737.650 | 0,91 | 8,0% | 3,59 | 20,0% | **529.924** | **5.691.532** |
| 20 | 807.300 | 0,5% | 733.962 | 0,91 | 8,0% | 3,88 | 20,0% | **569.456** | **6.260.988** |
| 21 | 807.300 | 0,5% | 730.292 | 0,91 | 8,0% | 4,19 | 20,0% | **611.937** | **6.872.926** |
| 22 | 807.300 | 0,5% | 726.641 | 0,91 | 8,0% | 4,52 | 20,0% | **657.588** | **7.530.513** |
| 23 | 807.300 | 0,5% | 723.007 | 0,91 | 8,0% | 4,89 | 20,0% | **706.644** | **8.237.157** |
| 24 | 807.300 | 0,5% | 719.392 | 0,91 | 8,0% | 5,28 | 20,0% | **759.359** | **8.996.517** |
| 25 | 807.300 | 0,5% | 715.795 | 0,91 | 8,0% | 5,70 | 20,0% | **816.008** | **9.812.524** |

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Agência Nacional de Energia Elétrica**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Resolução 482/2012. Brasília: Aneel, abr. 2012. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/ .Acesso em: Jun. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução 482/2012:** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: Aneel. 2012. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: dia jun. 2019.

ANEEL. **Informações Gerenciais**, Ed. mar. 2014. Banco de Informações de Geração de Energia Solar. Local: editora. 2014.

ANGSTMANN JG; SOUZA GM. **Energia Solar e a Macroeconomia Brasileira**. Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente. p.43, São Paulo. 2016. ISSN: 23591048.

CRESESB – **Centro de referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.** ANO. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: dia jul. 2019.

ESF. Energia Solar Fotovoltaica - Sistemas Conectados à Rede Elétrica. ANO. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed82_fasc_energias_renovaveis_cap 10.pdf>. Acesso em: dia mês 2019.

MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R. Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas. São Paulo, SP, 2007.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica:** Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica fotovoltaicos. Rio de Janeiro (RJ): CEPEL/CRE- SESB, 2014.

NOTA TÉCNICA DEA 19/14 Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos http://www.epe.gov.br

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.

SOUZA, C.H.G.; MOURA, L.G.A.O.; QUEIROZ, L., **Energia solar fotovoltaica:** um estudo da sua viabilidade no Brasil. Simpósio de TCC e Seminário de IC, São Paulo – SP, 2016.

VIDAL. José Valter Bautista. Manual de Energia Solar. Brasília. 1978. 54 p. Volume Único

https://helenium.com.br/creditos-de-energia. Da figura 1.
http://www.cresesb.cepel.br. Da tabela 2.

http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/tarifas.aspx. Da tabela 4

CEMIG. Nome do documento. Local: editora. Ano do documento. Disponível em:< http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/tarifas.aspx.>. Acesso em: dia mês 2019.

http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192550ti.pdf. Da tabela 5.

http://www.aneel.gov.br/relatorio-ranking-tarifas. Da tabela 6.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.