

**PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

RICARDO ORTIZ DE CAMARGO

**ESTUDO DE CASO DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA
RESIDENCIAL NA ÁREA DE CONCESSÃO DA CPFL NO MUNICÍPIO DE
IBIRÁ, INTERIOR DE SÃO PAULO**

São Paulo

2021

RICARDO ORTIZ DE CAMARGO

**ESTUDO DE CASO DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA
RESIDENCIAL NA ÁREA DE CONCESSÃO DA CPFL NO MUNICÍPIO DE
IBIRÁ, INTERIOR DE SÃO PAULO**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do Título de Especialista em Energia Renovável, Geração Distribuída e Eficiência Energética, no Programa de Pós-Graduação Lato sensu do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo de Andrade Barreto.

São Paulo

2021

EU AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Camargo, Ricardo Ortiz de.

Estudo de caso de uma instalação fotovoltaica residencial na área de concessão da CPFL no município de Ibirá, interior de São Paulo / R.O. de Camargo - São Paulo, 2021.

91 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e em Eficiência Energética) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Gerador Solar Fotovoltaico Conectado à Rede 2.Análise de Viabilidade Técnica e Financeira. 3.Dimensionamento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus pela oportunidade que foi concedida de poder concluir este curso que tem desde o seu início agregado conhecimento e oferecido oportunidades.

Agradeço a minha esposa, Fátima Camargo, pela paciência, apoio e incentivos. Cada passo em busca de um aperfeiçoamento é para levar um conforto melhor ao lar. Agradeço a minha filha, Ana Beatriz, pela compreensão nos momentos em que deixei de estar com ela. Como disse David O. McKay *“nenhum sucesso compensa o fracasso no lar”*. Ao meu querido cunhado, Roger, por ter apresentado o PECE e incentivado o meu ingresso neste curso

Agradeço aos meus colegas de classe, em especial ao meu amigo Halph Macedo, pelo apoio e incentivos. Aos colegas de trabalho pelo apoio e compreensão nos momentos em que foi necessário me ausentar. Em especial agradecimentos ao Alexandre D’Elia por todos os bons conselhos e a Mary Angelles por todo o suporte e compreensão.

Agradeço aos meus líderes religiosos, por todo o apoio e incentivo. Em especial ao querido Odair Elizeu.

Agradeço aos professores da USP, em especial ao professor Gustavo Barreto pelas excelentes instruções em suas aulas, o que motivou meu pedido para que orientasse este trabalho.

Agradeço por fim a todos os que de alguma forma colaboraram para que eu obtivesse êxito na conclusão deste curso.

RESUMO

O estudo de caso a que se refere este trabalho visou analisar vários aspectos de uma instalação fotovoltaica. Dentre eles a energia solar fotovoltaica, a análise de viabilidade técnica, análise de viabilidade econômica, conhecimento a respeito dos aspectos regulatórios que envolvem a microgeração distribuída, tipos de sistemas disponíveis para conexão a rede, dimensionamento do sistema, materiais e entrega do sistema.

Realizou-se uma prévia análise de viabilidade técnica, onde observou-se as peculiaridades que envolveram esta instalação em específico. Uma destas peculiaridades foi o desenho e disposição do telhado que limitou a quantidade de placas quando observado a inclinação e orientação do telhado em relação ao Sol.

Após a análise de viabilidade técnica foi feito o dimensionamento do projeto, onde os dados obtidos junto ao cliente foram de suma importância para o cálculo.

Diante dos parâmetros definidos, como tamanho do gerador fotovoltaico e tipo de telhado, foi feito a análise de viabilidade financeira. Os estudos que foram feitos após a análise financeira envolveram as normas por parte dos órgãos que regulam o setor e as exigências que a concessionária de energia impõem aos acessantes da rede de energia elétrica.

O projeto executivo foi executado e a instalação deu-se em um período de 4 dias. O que após desta, ocorreu a solicitação de acesso a rede da concessionária de energia CPFL, seguindo seus ritos e procedimentos.

Como resultado deste trabalho foi possível avaliar de modo crítico e técnico as regras impostas pelo órgão regulador e pela concessionária de energia local. Na eminência de ser implantada a revisão da norma regulamentadora, verificou-se que diante dos cenários possíveis para os acessantes do sistema de distribuição após a implantação da revisão da norma, o aumento no pior cenário possível seria de algo em torno de 62% no que o cliente paga pelas regras atuais.

Palavras-chaves: gerador solar, solar fotovoltaico, geração distribuída, microgeração distribuída, energia solar, concessionária de energia, aprovação de projeto na concessionária.

ABSTRACT

This case study has the objective to present and to do analysis based on Solar Photovoltaic installation. Between the several aspects, will be present the solar energy photovoltaic, technical viability analysis, economic viability analysis, norms, legal aspects about distribution microgeneration, kinds of systems, system sizing, materials, characteristics, and the system finished.

A previous technical feasibility analysis was carried out, where the peculiarities that involved this specific installation were observed. One of these peculiarities was the design and layout of the roof, which limited the number of panels when observing the inclination and orientation of the roof when compared to the sun.

After the technical feasibility analysis, the design phase of the project began, where the data obtained from the client were of paramount importance for the calculation.

With the defined parameters, such as the size of the photovoltaic generator and the type of roof, we started the financial feasibility analysis. The studies involve the standards by the agencies that regulate the sector and the requirements that the energy concessionaire imposes to users of the electricity network.

The executive project, once elaborated, was executed and its installation took place within 4 days. After that, there was a request for access to the CPFL energy concessionaire's network, following its rites and procedures.

During the period of elaboration of this work and after the approval of the system by the energy concessionaire, generation data were obtained to compare and check if the sizing calculations are coherent.

Keywords: solar generator, solar photovoltaic, distributed generation, distributed microgeneration, solar energy, utility company, utility project approval.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de energia solar térmica.....	13
Figura 2: Ilustração de uma diferença de potencial.....	14
Figura 3: Células Fotovoltaicas.....	15
Figura 4: Transformação da irradiação solar em energia elétrica por meio de célula fotovoltaica.....	15
Figura 5: Gráfico da matriz elétrica brasileira.....	17
Figura 6: Exemplo de um sistema interligado de energia elétrica.....	18
Figura 7: Representação do funcionamento de uma usina hidrelétrica.....	18
Figura 8: Imagem de torres de transmissão.....	19
Figura 9: Mapa do sistema de transmissão de energia elétrica (situação em 2015).....	20
Figura 10: Imagem da Usina de Belo Monte no Pará.....	20
Figura 11: Exemplo de como funciona uma microgeração na geração distribuída.....	21
Figura 12: Representação simples do sistema atual de compensação da geração distribuída.....	22
Figura 13: Número de conexões (acessos) a rede de distribuição após a Resolução ANEEL 482/2012.....	23
Figura 14: Vista parcial do telhado.....	25
Figura 15: Gráfico da irradiação solar para a localidade.....	26
Figura 16: Croqui do telhado.....	27
Figura 17: Residência vizinha.....	27
Figura 18: Rosa dos Ventos.....	28
Figura 19: Representação da residência no logradouro.....	30
Figura 20: Gráfico que representa a quantidade de Horas de Sol Pico.....	31

Figura 21: Gráfico do consumo no período de 12 meses.....	32
Figura 22: Gráfico do comportamento das variáveis elétricas quando a placa é submetida a diferentes valores de irradiação.....	35
Figura 23: Placas Instaladas.....	38
Figura 24: Inversor e dispositivos de proteção e seccionamento.....	38

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Motivação.....	10
1.2. Justificativa.....	11
1.3. Objetivo.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1. A Energia Solar.....	12
2.2. A Radiação Solar.....	13
2.3. O efeito Fotovoltaico.....	14
2.4. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.....	16
2.5. A Célula Fotovoltaica e o Pannel Fotovoltaico.....	16
3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	16
3.1. Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.....	17
4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ASPECTOS REGULATÓRIOS.....	21
5. ESTUDO DE CASO.....	25
5.1. Análise de Viabilidade Técnica.....	25
5.2. Dimensionamento.....	30
5.2.1. Avaliação do Recurso Solar.....	30
5.2.2. Avaliação do consumo.....	31
5.2.3. Cálculos de geração de energia.....	32
5.2.4. Datasheet dos equipamentos oferecidos.....	34
5.3. Análise de viabilidade econômica.....	37
5.4. Instalação.....	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2021 (BEN 2021) publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz elétrica brasileira atingiu em 2020 a marca de 84,8% de participação das renováveis na matriz elétrica. Para se ter noção do que este valor representa, em 2018 quando somado a participação de todos os países ao redor do planeta atingiu-se a marca de 23% das renováveis na matriz elétrica.

A maior parcela de geração de energia elétrica no Brasil é proveniente de hidreelétricas, ou seja, uma fonte hídrica, que apesar de contribuir na participação das energias renováveis possui desvantagens, como a necessidade de um complexo sistema que envolve a geração, a transmissão e a distribuição da energia. É na distribuição que o consumidor final recebe a energia produzida na geração.

A norma regulamentadora ANEEL nº 482 vigente desde 2012, permitiu que o consumidor obtivesse por meio da microgeração e minigeração distribuída o acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica.

Em outros termos, significa dizer que o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e ao mesmo tempo conectar-se a rede de distribuição local.

A norma estabelece as condições gerais para o acesso a rede de distribuição, do sistema de compensação de energia elétrica, da medição de energia elétrica e das responsabilidades por dano ao sistema elétrico. Foi revisada pelas resoluções normativas ANEEL nº 687 de 2015, ANEEL nº 786 de 2017 e ANEEL nº 517 de 2012.

Como alternativa da geração distribuída, dentro das fontes de energias renováveis, a energia solar fotovoltaica apresenta-se em crescimento exponencial no mercado brasileiro e em plena expansão.

Ainda, segundo o BEN 2021, no ano de 2020 o Brasil atingiu a marca de 1,7% de participação da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. O número, que pode parecer pequeno a primeira vista, representa um aumento de 61,5% em

relação a 2019, passando de 6.655 GWh produzidos em 2019 para 10.750 GWh em 2020.

Quando analisado especificamente a micro e minigeração distribuída o valor é mais significativo ainda, passando de 2.226 GWh em 2019 para 5.269 GWh em 2020, um aumento de 137% na geração distribuída.

Utilizando os conhecimentos e ferramentas disponibilizadas durante a especialização foi ofertado e instalado um sistema fotovoltaico, incluindo o projeto, dimensionamento, instalação e comissionamento. O estudo desta instalação abordará desde os aspectos regulatórios que envolvem a geração distribuída, dimensionamento, viabilidade técnica e econômica e avaliação do potencial de geração.

1.2. Justificativa

De posse dos dados do crescimento da energia solar fotovoltaica no país e com base nos conhecimentos teóricos obtidos, desde a viabilidade técnica até o dimensionamento de um sistema fotovoltaico e sua instalação, realizei a instalação de um sistema na cidade de Ibirá, interior de São Paulo. Tal sistema foi objeto de estudo, e subsidiou a elaboração deste trabalho.

Devido a peculiaridade do telhado e o fator sombreamento discutiu-se a viabilidade técnica e econômica para a execução do projeto. Na fase de projeto, ocorreu um estudo a respeito dos procedimentos exigidos pela norma regulamentadora e os exigidos pela concessionária de energia local.

1.3. Objetivo



O trabalho será o de analisar os aspectos regulatórios e os procedimentos adotados pela concessionária de energia em consonância com tais aspectos, apresentar os estudos de viabilidade econômica e técnica bem como os dados de geração de energia e as metodologias utilizadas para um projeto e instalação de um gerador de energia fotovoltaico na cidade de Ibirá, interior de São Paulo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Energia Solar

Responsável por 99,86% da massa do Sistema Solar e com raio médio de 696.000 km, o Sol é a estrela central do sistema solar e todos os outros corpos do sistema solar giram ao seu redor (INPE).

Trata-se o Sol de fonte inesgotável de energia, fornecendo luz e calor. É o Sol recurso energético gratuito provendo o necessário para que os processos climáticos ocorram.

Com relação ao Sol e sua interferência em processos climáticos e energia encontramos o seguinte:

“O Sol é a principal fonte de energia de todo o planeta, seja no fornecimento de energia para a realização de todos os processos climáticos naturais, seja como fonte de calor e luz para os vegetais e os animais e para o homem nas suas próprias atividades (MORAES, J.R.S. et al 2017, pg 1).”

Dos processos químicos e físicos que ocorrem no Sol resultam em uma grande quantidade de energia liberada que atinge a Terra. Mediu-se a energia liberada pelo Sol e que atinge a Terra e a densidade média desta energia fora da atmosfera terrestre é de 1367 W/m^2 - a constante solar.

A energia solar térmica e a energia solar convertida em energia elétrica são exemplos de como podemos converter a energia que recebemos do Sol como alternativas para as fontes poluentes de energia. Na energia solar térmica coletores solares recebem o calor irradiado pelo Sol e aquecem a água que passa pelos coletores até o local onde esta água está armazenada e depois para o consumo de água quente. Na energia solar convertida em energia elétrica placas solares (placas fotovoltaicas) a irradiação proveniente do Sol é transformada em energia elétrica.



Figura 1: Sistema de energia solar térmico

Fonte: Solaris Energia Fotovoltaica

A figura 1 exemplifica um sistema de energia solar que utiliza o calor proveniente do Sol para o aquecimento de água.

Ainda, quando falamos do Sol e fonte de energia devemos considerar a grande influência que tem sobre outras fontes de energia:

“Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do Sol (PINHO, J.T. et al, 2014, pg 47).”

2.2. A Radiação Solar

Conforme citado anteriormente a constante solar é proveniente do Sol e representa a energia que é recebida por unidade de área, tendo seu valor médio de 1367 W/m^2 . Algumas literaturas podem apresentar um valor diferente porém próximo deste, como por exemplo 1353 W/m^2 .

A respeito do termo radiação solar:

“O termo “radiação solar” é usado de forma genérica e pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, quando é especificamente denominado de irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, denominado então, de irradiação solar (PINHO, J.T. et al, 2014, pg 70).”

Ou seja, em termos simples e para todos os efeitos utilizaremos o termo irradiação solar ao tratar da constante solar.

A respeito da irradiação solar também encontramos que:

“A irradiância solar que atinge a Terra, no topo da camada atmosférica, é denominada irradiância extraterrestre. A constante solar (I_0) é definida como o valor da irradiância extraterrestre que chega sobre uma superfície perpendicular aos raios solares na distância média Terra-Sol, e tem valor aproximado de 1.367 W/m^2 adotado pelo WRC - World Radiation Center (PINHO, J.T. et al, 2014, pg 71).”

2.3. O Efeito Fotovoltaico

Em 1839, Alexandre-Edmond Becquerel observou uma diferença de potencial entre eletrodos imersos em uma solução ácida ao serem iluminados. Ou seja, ocorreu um movimento ordenado de elétrons gerando assim uma tensão elétrica, cuja unidade de medida é o volts.

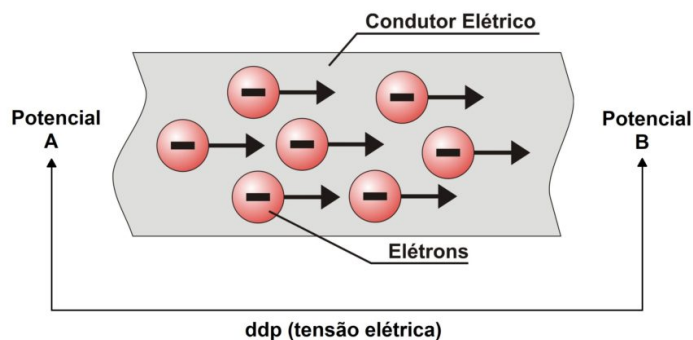


Figura 2: Ilustração de uma diferença de potencial

Fonte: Site Conhecimentos Específicos R7

A figura 2 representa de forma simples a diferença de potencial encontrada por Becquerel. A partir deste momento, passando por novas descobertas científicas após Becquerel, na década de 1950 o laboratório norte-americano Bell Labs

produziu célula solar a partir de lâminas de silício. Na atualidade existem outros materiais e tecnologias que também fazem esta transformação, como o telureto de cádmio (CdTe), o disseleneto de cobre índio e gálio (CIGS), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) entre outros. A figura a seguir ilustra como é a aparência de células fotovoltaicas



Figura 3: Células Fotovoltaicas

Fonte: [Blog BlueSol.com](http://BlogBlueSol.com)

A ilustração a seguir exemplifica como surge a energia elétrica a partir da irradiação solar incidente na célula solar:

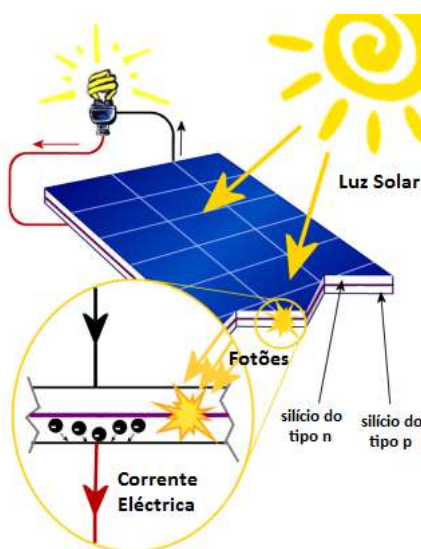


Figura 4: Transformação da irradiação solar em energia elétrica por meio de célula fotovoltaica.

Fonte: RD9 Central

2.4. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Dentre os tipos de sistemas fotovoltaicos cita-se os sistemas conectados à rede (on-grid ou grid tie) e os não conectados à rede (off-grid).

Quando um sistema é conectado à rede significa dizer que ele está conectado à rede de distribuição da concessionária de energia. Neste tipo de sistema a energia gerada é consumida pela carga, como uma residência por exemplo, e injetada na rede da concessionária durante o período de Sol, e a noite a rede da concessionária é utilizada como fonte. Já nos sistemas não conectados o projeto é dimensionado normalmente utilizando-se de baterias para suprir a demanda de energia no período sem Sol.

2.5. A Célula Fotovoltaica e o Painel Fotovoltaico

As células fotovoltaicas são lâminas fabricadas a partir de semicondutores como o silício, o mais comumente usado. As placas, ou também conhecidas como painéis solares, são compostas por estas células e possuem características elétricas.

3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Conforme o já citado Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2021 (BEN 2021), e em relação a oferta de energia elétrica, a matriz elétrica brasileira é composta pelas fontes de energia hidráulica, de gás natural, eólica, biomassa, nuclear, de derivados de petróleo, de carvão e derivados, e solar.

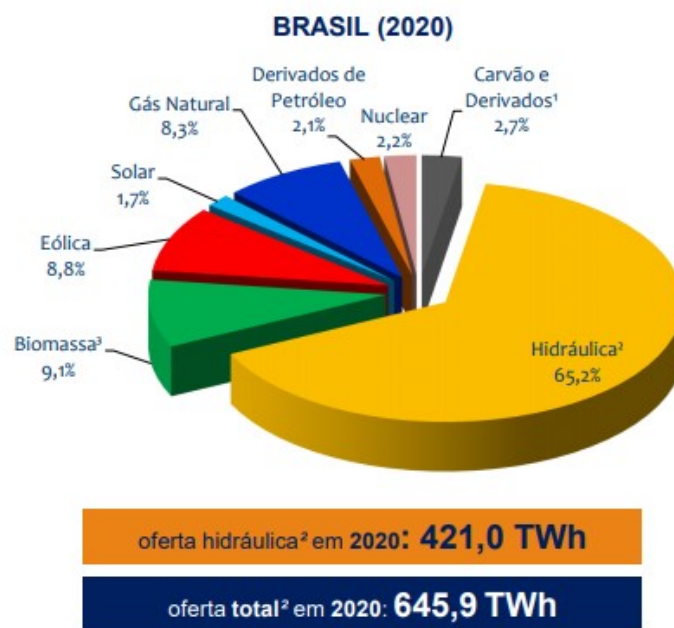


Figura 5: Gráfico da matriz elétrica brasileira

Fonte: BEN 2021 epe

A energia elétrica ofertada é consumida por diversos setores da economia, de residências a indústrias, de setores como o de serviços a órgãos públicos, dentre outros. A unidade de medida utilizada para o consumo é o Watts (W) por uso no período de tempo hora (h).

O que gera este consumo trataremos como carga, que nada mais é do que a soma das potências nominais dos equipamentos instalados nas unidades consumidoras, tendo como unidade de medida o Watts (W).

3.1. Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

No modelo que será apresentado neste momento a energia elétrica consumida percorre um “caminho”, um circuito, em que a energia é gerada, transformada, ou algumas vezes transformada, e transmitida até que seja distribuída e finalmente consumida.

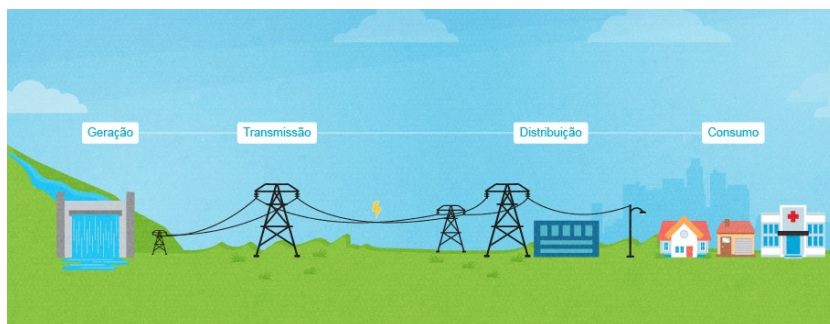


Figura 6: Exemplo de um sistema interligado de energia elétrica

Fonte: Linhares Geração S.A.

Conforme representado pela figura 6, o sistema ilustra a geração de energia elétrica por meio de uma hidrelétrica. Esse potencial gerado para que chegue até o consumidor final necessita, neste modelo, de grande investimento na construção e manutenção do sistema de geração, transmissão e distribuição. Vale destacar que a energia elétrica ofertada por meio de hidrelétricas representou 62,5% da oferta em 2020, conforme o relatório síntese BEN 2021. A figura 7 representa o funcionamento de uma usina hidrelétrica:

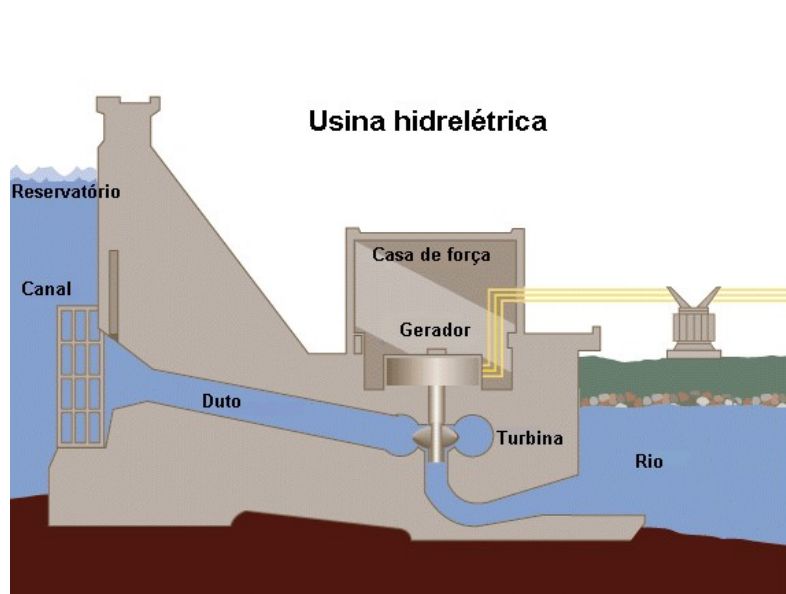


Figura 7: Representação do funcionamento de uma usina hidrelétrica

Fonte: Brasil Escola

Na geração de energia em hidrelétricas a água é represada e depois de modo controlado é conduzida até as turbinas. Há uma diferença de altura entre a água que está represada nível acima com relação as turbinas que são instaladas em nível abaixo. A energia cinética, da queda desta água, é transformada em energia elétrica conforme a força da água movimenta a turbina.

Depois de gerada, a energia é então transmitida por linhas quilométricas de cabos de energia elétrica a elevadas tensões. Nada mais é que o transporte de energia elétrica às redes e subestações das distribuidoras. A figura 8 fornece uma noção do sistema de transmissão:



Figura 8: Imagem de torres de transmissão

Fonte: Arquivo Agência Brasil

Para se ter uma idéia em grandezas do que representa um investimento em transmissão de energia, a extensão da rede básica de transmissão atingiu o valor aproximado de 146.600km em 2020, e a perspectiva de investimento fará com que em 2025 este valor seja de 186.054km (ONS 2020 Sumário PAR/PEL 2021 2025).

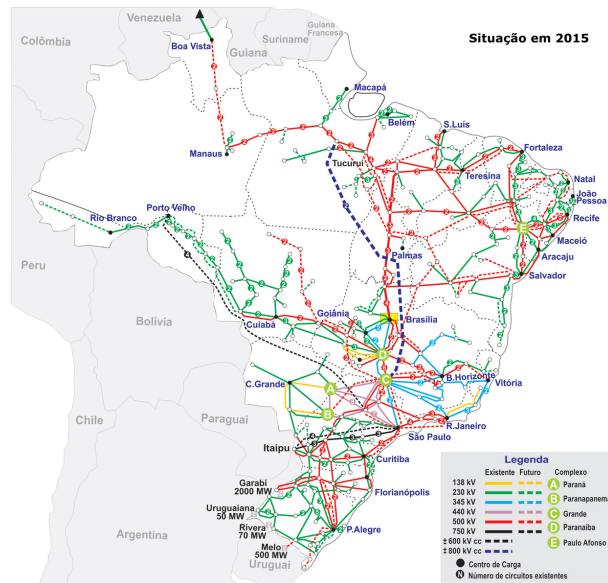


Figura 9: Mapa do sistema de transmissão de energia elétrica (situação em 2015)

Fonte: ANEEL

Outras variáveis envolvidas no investimento de geração e transmissão de energia elétrica que envolva hidrelétricas são a disponibilidade de espaço físico para instalação e questões que envolvem legislação ambiental. A exemplo a área alagada para os reservatórios da Usina de Belo Monte localizada no estado do Pará totalizam um área de 478 quilômetros quadrados, e a implantação custou anos de atraso devido a questões ambientais que foram apreciadas inclusive pelo judiciário. A figura 10 ilustra e fornece uma noção das dimensões da usina de Belo Monte:

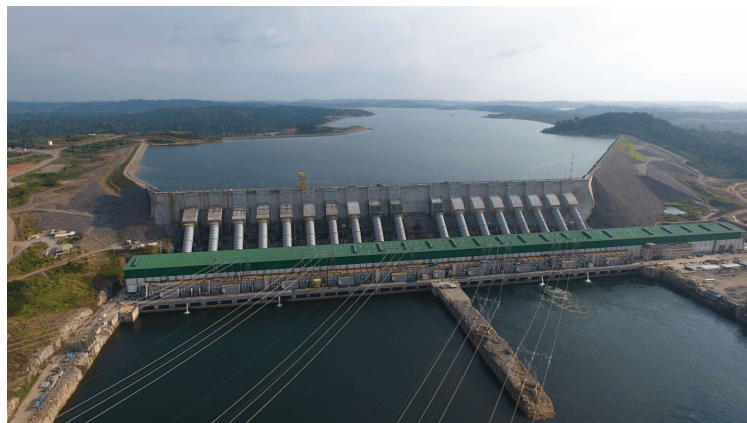


Figura 10: Imagem da Usina de Belo Monte no Pará

Fonte: Norte Energia S.A.

4. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ASPECTOS REGULATÓRIOS

Uma das alternativas para garantir e expandir a oferta de energia elétrica é a geração distribuída. Neste modelo ao invés da energia gerada percorrer o caminho da transmissão após ser gerada, ela então é consumida junto a carga. Ou seja, um gerador de energia é instalado junto a unidade consumidora.

A próxima figura ilustra como funciona a geração distribuída:

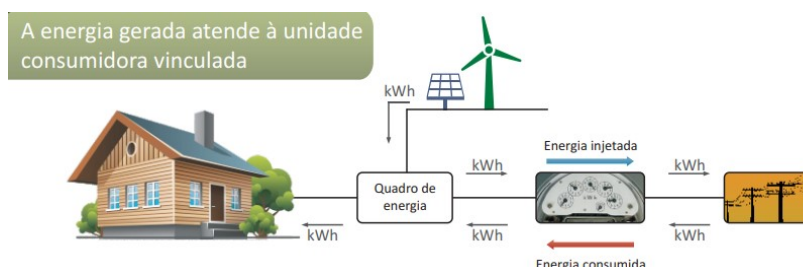


Figura 11: Exemplo de como funciona uma microgeração na geração distribuída

Fonte: Cadernos Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída 2ª Edição

A normatização que trata da geração distribuída é a norma regulamentadora ANEEL nº 482 vigente desde 2012, revisada pelas normas ANEEL nº 687 de 2015, ANEEL nº 786 de 2017 e ANEEL nº 517 de 2012, todas emitidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. A norma estabelece a microgeração distribuída e a minigeração distribuída como formas da unidade consumidora ter acesso a rede de distribuição de energia elétrica.

Dentre as características comuns aos dois tipos cita-se a necessidade de que a fonte geradora de energia elétrica seja renovável. Na definição por norma podem solicitar acesso a rede de distribuição da concessionária como microgeração os geradores com potência instalada menor ou igual a 75 kW, enquanto na minigeração os geradores são superiores a 75 kW até a potência máxima de 5 MW.

Em 2015, quando a ANEEL revisou a norma regulamentadora 482 de 2012, ela publicou a norma regulamentadora ANEEL 687 e resolveu em seu artigo 15 que

a norma seria revista também em 2019. O grande debate desta revisão é uma possível taxação para aqueles que acessam a rede de distribuição por meio da geração distribuída, o que a ANEEL classificou em um aperfeiçoamento do modelo do sistema de compensação de créditos.

No modelo atual, os que obtêm acesso a rede de distribuição por meio da geração distribuída pagam apenas a taxa de disponibilidade, que varia conforme o tipo de ligação, se monofásica, bifásica ou trifásica para os clientes do grupo B.

A figura 12 representa em termos simples como se dá o sistema de compensação até o presente momento:

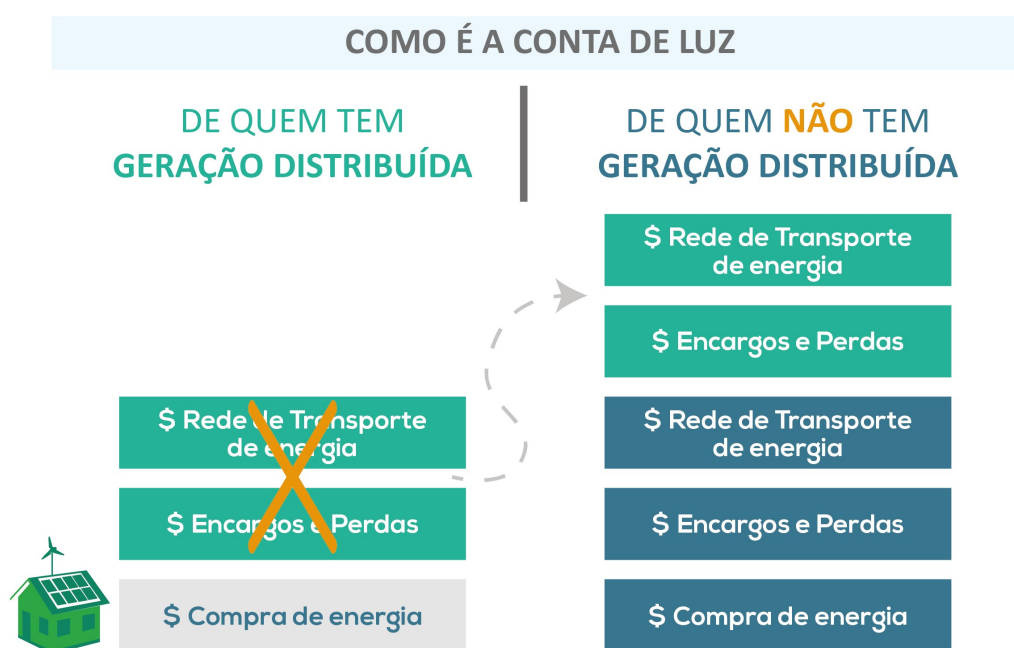


Figura 12: Representação simples do sistema atual de compensação da geração distribuída

Fonte: ANEEL

Em 2012 quando a ANEEL regulamentou a geração distribuída, a intenção do órgão era justamente estimular o setor e incentivar o crescimento das energias renováveis no país, principalmente no que dizia respeito a tecnologia solar fotovoltaica. Talvez o que o órgão regulador não esperava era o crescimento

exponencial do setor e a quantidade de acessos a rede de distribuição após a regulamentação.

A figura 13 fornece uma visão do quão significativo foi este crescimento:

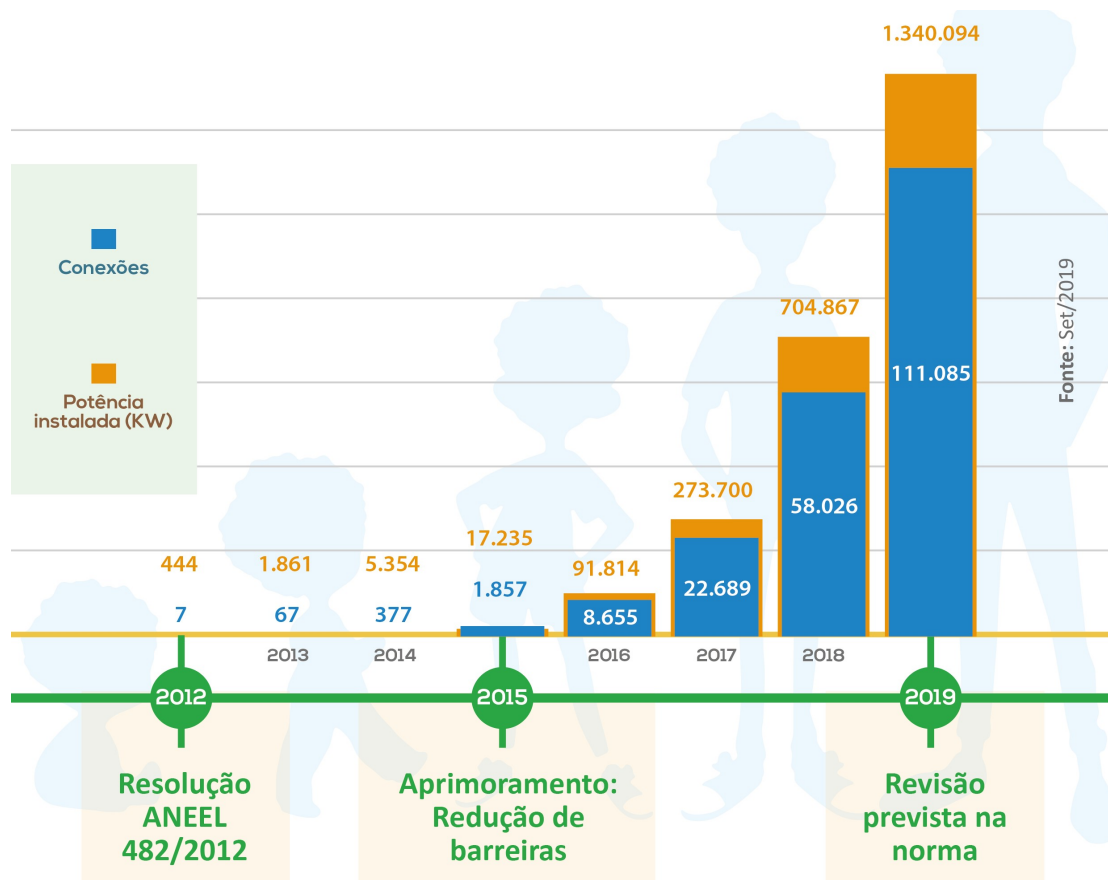


Figura 13: Número de conexões (acessos) a rede de distribuição após a Resolução ANEEL 482/2012

Fonte: ANEEL

Dá para notar o quão expressivo foi esse crescimento, passando de 7 conexões em 2012 para 111.085 conexões em 2019. Muito da atratividade de uma conexão a rede de distribuição gerando a própria energia deve-se justamente aos fatores incentivo de tributação reduzida e a redução no preço dos equipamentos no decorrer dos anos.

Uma das alegações da ANEEL para a revisão da tributação é de que os consumidores que não geram sua própria energia estão pagando custos de quem gera a própria energia.

Em 2019, a época da revisão prevista na norma regulamentadora 687 de 2015, a ANEEL promoveu consulta pública a respeito do assunto e apresentou suas propostas para o que ela nomeou de equilíbrio da regulamentação. Na época houve grande debate a cerca do assunto, inclusive com o envolvimento de políticos que se posicionaram e defenderam a “não taxaço do Sol”.

Foi apresentado pela ANEEL alternativas para o equilíbrio do sistema de compensação da geração distribuída, e a intenção era aprovar a alternativa em que o consumidor não pagaria pela tarifa completa de energia, pagando pelos encargos da tarifa de energia, deveria também arcar com os custos do uso do sistema de distribuição em sua totalidade, somando encargos, perdas e o transporte por fio.

Para ilustrar o que são essas componentes segue a tabela 1:

Tabela 1: Componentes da tarifa de energia

TARIFA DE ENERGIA					
TE		TUSD			
ENERGIA	ENCARGOS	TRANS FIO A	TRANS. FIO B	ENCARGOS	PERDAS
38%	12%	6%	28%	8%	8%

Fonte: Casa do Micro Inversor

Basicamente, a soma das parcelas de tributos na proposta apresentada pela ANEEL é de 62%.

5. ESTUDO DE CASO

Trata-se da aplicação prática do que trata a microgeração distribuída, estando este projeto atendendo as qualificações de potência para um microgerador e de fonte, sendo a energia solar fotovoltaica uma fonte de energia renovável.

5.1. Análise de Viabilidade Técnica

O local de instalação fica situado na Rua José Rabelo Reis, 1117 Centro de Ibirá, interior de São Paulo.



Figura 14: Vista parcial do telhado.

Fonte: Google Maps

Os dados de irradiação solar foram obtidos através do programa SunData disponível no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), utilizando as coordenadas geográficas 21° 4' 50" Sul e 49° 14' 25" Oeste. Obtendo-se assim o contido na quadro 1 e figura 15:

Quadro 1: Dados de irradiação solar para a localidade

Estação: Ibira
Município: Ibira, SP - BRASIL
Latitude: 21° S
Longitude: 49,249° O
Distância do ponto de ref. (21,08242° S; 49,24° O): 9,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,80	5,90	5,19	4,85	4,10	3,67	4,09	5,00	5,09	5,62	5,93	6,11	5,13	2,24
✓	Ângulo igual a latitude	21° N	5,27	5,63	5,31	5,44	4,98	4,94	5,13	5,86	5,39	5,48	5,45	5,46	5,36	,93
✓	Maior média anual	20° N	5,30	5,66	5,32	5,42	4,95	4,90	5,09	5,83	5,39	5,50	5,48	5,50	5,36	,94
✓	Maior mínimo mensal	25° N	5,12	5,52	5,28	5,49	5,10	5,08	5,26	5,96	5,39	5,40	5,30	5,29	5,35	,88

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Ibira–Ibira, SP–BRASIL

21° S; 49,249° O

Fonte: CRESESB SunData

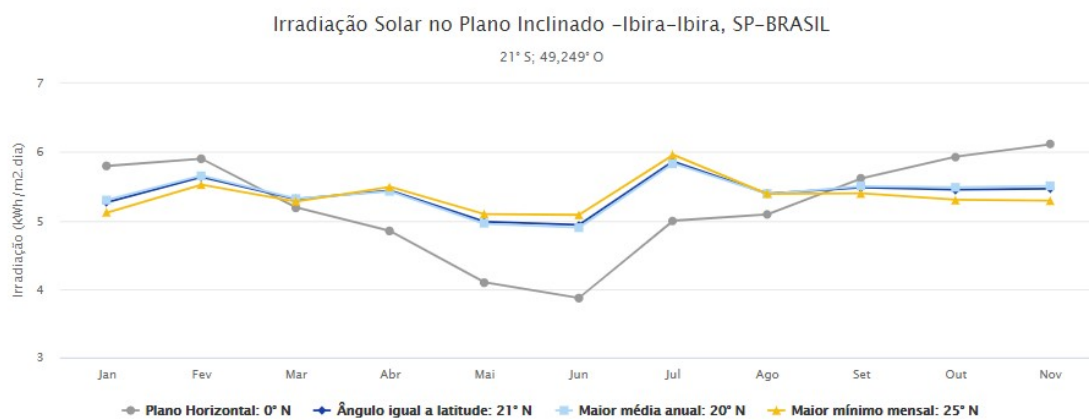


Figura 15: Gráfico da irradiação solar para a localidade.

Fonte: CRESESB SunData

Desde os primeiros contatos com o proprietário do imóvel as duas maiores preocupações falando em termos de viabilidade técnica foram:

- As várias quedas e orientações dos telhados;

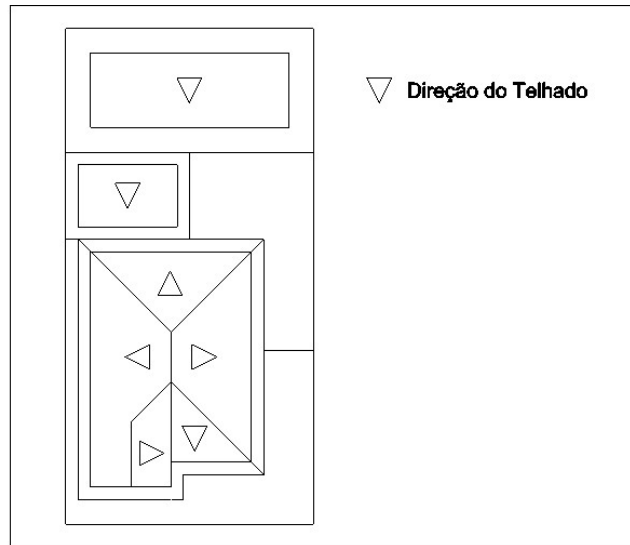


Figura 16: Croqui do telhado

Fonte: o Autor

- O sombreamento proveniente da residência vizinha, conforme figura 17:



Figura 17: Residência vizinha

Fonte: Google Maps

Uma vez que as angulações e orientações do telhado reduziram o espaço útil disponível para instalação, ainda somava-se a isto a preocupação com as Horas de Sol Pico que incidiriam sobre as placas fotovoltaicas. O estudo e o dimensionamento nestas condições foram determinantes para que no conjunto se avaliasse a viabilidade técnica.

Os critérios utilizados para a definição dos locais específicos nos telhados onde seriam instaladas as placas fotovoltaicas foram (1) a orientação geográfica com utilização de bússula e (2) espaço físico disponível em cada queda de telhado.

Em uma primeira análise observamos a quantidade de quedas do telhado e suas orientações geográficas.

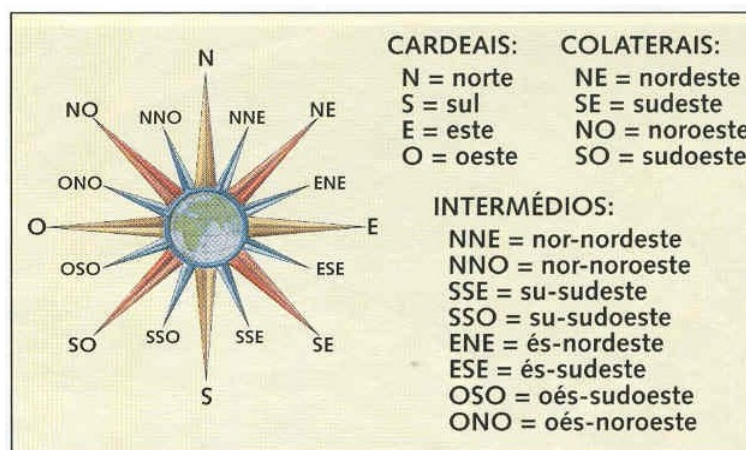


Figura 18: Rosa dos Ventos.

Fonte: Internet

A casa possui 7 quedas nos telhados, sendo as seguintes suas orientações:

- 3 delas no intermédio su-sudoeste;
- 1 no intermédio oés-noroeste;

- 2 no intermédio és-sudeste;
- 1 no intermédio nor-nordeste.

Uma vez encontrado por meio de bússula as orientações do telhado, o próximo passo foi estudar o espaço físico disponível em cada queda.

Dentre essas opções eliminamos qualquer possibilidade de instalação nas 3 quedas com orientação no intermédio su-sudoeste, pois 2 delas possuem espaço físico pequeno e 1 delas trata-se de local em que o proprietário fará uma demolição com posterior execução de projeto para construção.

Das duas quedas no intermédio és-sudeste, uma delas possui espaço físico pequeno, sendo portanto na consideração final dos espaços a serem utilizados definidos os seguintes possíveis locais de instalação:

- 1 queda na orientação és-sudeste;
- 1 queda na orientação oés-noroeste;
- 1 queda na orientação nor-nordeste.

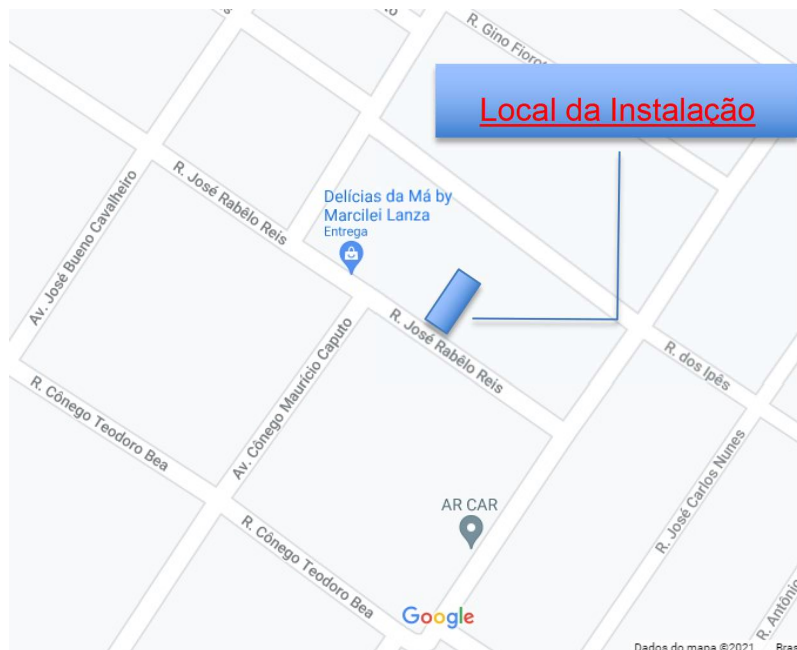


Figura 19: Representação da residência no logradouro

Fonte: o Autor

5.2. Dimensionamento

5.2.1. Avaliação do Recurso Solar

Nesta etapa do dimensionamento foi feito uma avaliação da quantidade de radiação solar que incidiria sobre os painéis fotovoltaicos. Neste momento utilizou-se o conceito de Horas de Sol Pico (HSP) como parâmetro para a avaliação do recurso. Trata-se as Horas de Sol Pico um modo simples representar a integral da quantidade de tempo em que a irradiação solar permanece constante a 1000 W/m^2 . Para exemplificar segue uma ilustração:

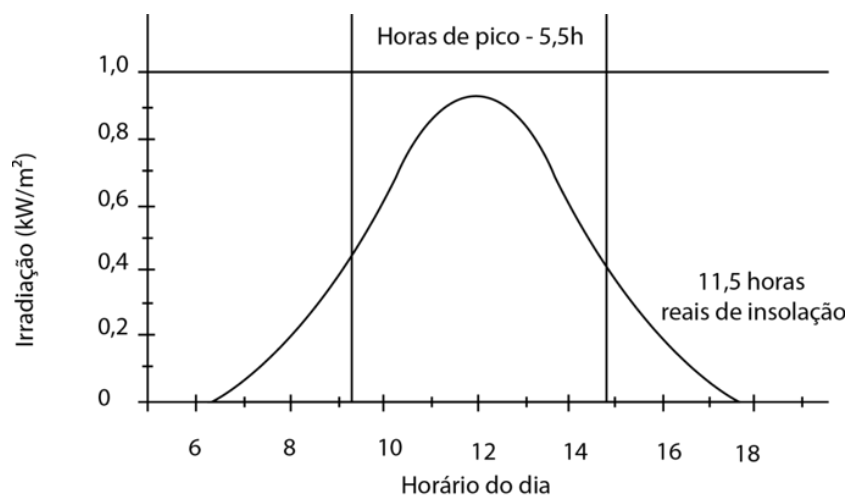


Figura 20: Gráfico que representa a quantidade de Horas de Sol Pico.

Fonte: Bluesol – Livro digital de introdução aos sistemas solares (2017)

De posse dos dados conforme a tabela 1 e o gráfico 1, extraiu-se que a média de horas de sol pico para a cidade de Ibirá é de 5,13 h/dia no plano horizontal.

5.2.2. Avaliação do consumo

Nesta etapa, de posse da fatura de energia elétrica, extraiu-se os dados do consumo mensal a fim de obter o consumo médio mensal no período de 12 meses.

A média do consumo desta instalação considerando o período de 2020 foi de 481 kWh/mês, dado que será utilizado para o cálculo do dimensionamento do sistema a ser instalado.

Obteve-se o seguinte gráfico:

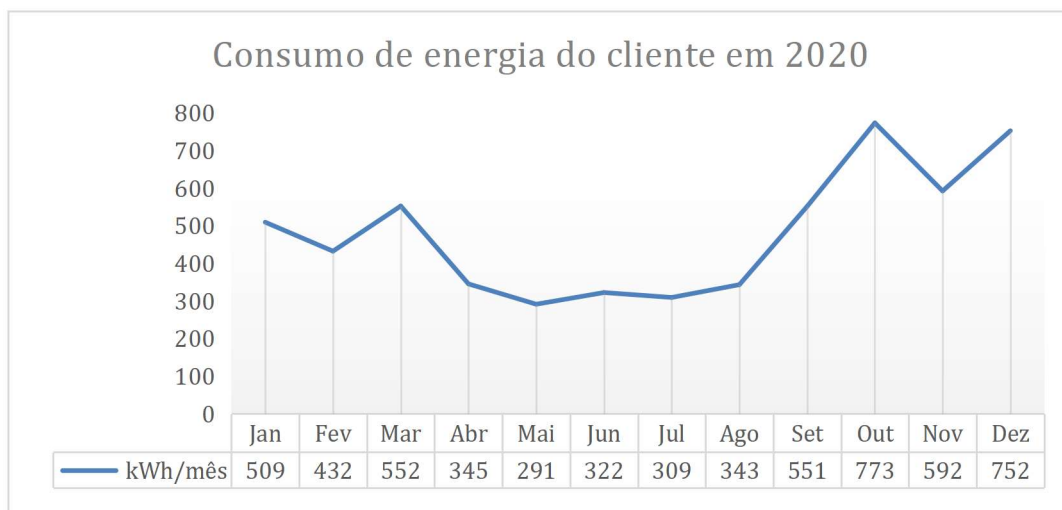


Figura 21: Gráfico do consumo no período de 12 meses

Fonte: o Autor

5.2.3. Cálculos de geração de energia

O cliente deste gerador, ciente do que trata-se a taxa de disponibilidade, optou por não descontar a taxa dos cálculos do sistema, ou seja, para este caso em específico a ligação é bifásica, gerando assim a cobrança de uma taxa por parte da concessionária que incide sobre o valor de 50 kWh/mês. Normalmente ao dimensionar um gerador fotovoltaico desconta-se do total a ser gerado com base no consumo médio o valor desta taxa. Por exemplo, um consumo estimado em 500 kWh/mês descontada a taxa de disponibilidade para um residência com ligação bifásica teria um gerador dimensionado para gerar 450 kWh/mês.

Nesta residência não haverá desconto, gerando o sistema 481 kwh/mês, conforme média indicada no item 6.2.2.

A partir deste dado, estimou-se o consumo diário, e obtivemos 15,81 kWh/dia. A fim de obter dados de datasheet de inversores foi estimado o tamanho do gerador fotovoltaico a partir de um cálculo simples:

$$Potência\ total\ do\ painéis = \frac{E_{diária} [kwh/dia]}{(HSP \times perdas)} = \frac{15,81}{5,13 \times 0,7} = 4,4\ kWp \quad (6.1)$$

Algumas literaturas também tratam esta fórmula da seguinte maneira:

$$P_{FV}(Wp) = \frac{(E/TD)}{HSP} \quad (6.2)$$

Onde:

$P_{FV}(Wp)$: Potência de pico do painel fotovoltaico;

E (Wh/dia) - Energia diária média consumida;

HSP (h) - Média diária anual das horas de Sol pico;

TD - Taxa de desempenho, valor adimensional que no Brasil é algo em torno de 0,7.

Do mesmo modo é obtido o valor de 4,4 kWp. A TD (taxa de desempenho), é um valor que representa a relação entre o valor do desempenho real do sistema e o desempenho teórico máximo possível. Nesta relação já são consideradas as diversas perdas que o sistema fotovoltaico poderá sofrer em condições reais (Pinho, J.T. et al, 2014).

De posse deste dimensionamento preliminar foi selecionado o inversor RENO 4 kW PLUS, e que de acordo com sua especificação é possível injetar em sua entrada a potência máxima de 6 kW.

A energia calculada de 15,81 kWh/dia agora será revisada, considerando o rendimento do inversor, que no caso do inversor RENO 4k Plus é de 98,1%. Portanto, sendo encontrado o valor de 16,11 kWh/dia. Reaplicando a fórmula 6.1 obtemos que a potência total dos painéis é de 4,5 kwp.

Foi dimensionado para este projeto a quantidade de 14 painéis de 335 W.

5.2.4. Datasheet dos equipamentos oferecidos



5.2.4.1. Placa Solar

Painel Fotovoltaico 335W - RENO-335P - Poli - Full Cell:



Quadro 2: Datasheet do painel fotovoltaico

Característica	Valor
Potência máxima	335 W
Corrente nominal de operação	8,87 A
Tensão nominal de operação	37,83 V
Corrente de curto circuito	9,35 A
Tensão de circuito aberto	46,7 V
Eficiência do módulo	17,30 %
Tolerância de potência do módulo	0/+ ou - 3W
Temperatura de operação	-40°C a aproximadamente 85°C
Tensão máxima do sistema	1000 V / 1500 VDC
Corrente nominal de fusível	15 A

Fonte: Renovigi Energia Solar

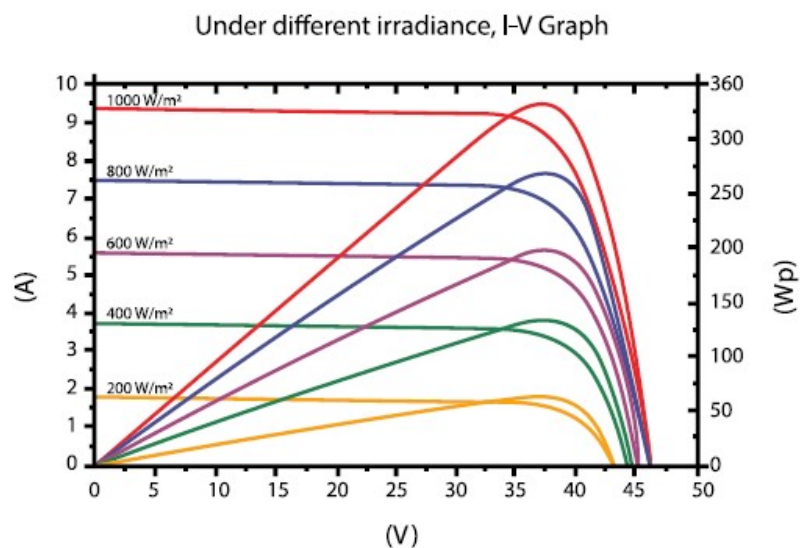


Figura 22: Gráfico do comportamento das variáveis elétricas quando a placa é submetida a diferentes valores de irradiação

Fonte: Renovigi Energia Solar

5.2.4.2. Inversor

Inversor 4,0 kW - RENO-4K-PLUS - Mono - 220V/60Hz:

Quadro 3: Datasheet do Inversor Renovigi RENO 4K - Plus

Entrada (CC)	
Potência máxima CC	6000 W
Tensão máxima CC	600 V
Faixa de tensão MPPT	90 - 520 V
Tensão de inicialização	120 V

Máxima corrente de entrada por MPPT	11 A
Máxima corrente de curto circuito por MPPT	17,2 A
Quantidade de MPPT / Quantidade de entradas por MPPT	2/1
Saída (CA)	
Potência nominal de saída	4000 W
Máxima potência de saída	4400 W
Máxima potência aparente de saída	4400 VA
Tensão nominal da rede	220 V
Faixa de tensão de operação por fase	176-242 V
Frequência nominal da rede (Hz)	60
Máxima corrente de saída	21 A
Fator de potência (ajustável)	0,8 atrasado a 0,8 adiantado
Harmônicas	< 1,5%
Eficiência	
Máxima eficiência	98,1%
Eficiência MPPT	99,5%

Fonte: Renovigi Energia Solar

5.3. Análise de viabilidade econômica

Para a análise de viabilidade econômica foram consideradas algumas premissas em relação ao cálculo que foi utilizado. O custo do kWh estimado com base no histórico de cobranças é de R\$ 0,70 e foi considerado um aumento, um incremento de 2,5% no valor da tarifa de energia elétrica no decorrer de cada ano.

Tabela 2: Valor do investimento e tempo de retorno

DIMENSIONAMENTO TÉCNICO RECOMENDADO	
- Fornecimento com instalação de 1 Kit de 4,69 kWp com 14 placas de 335W , Inversor 4k-plus e toda infraestrutura e acessórios necessários inclusos.	
INVESTIMENTO POR KIT	
Valor do Investimento	R\$ 19.917,30
Tempo do Payback (Retorno do Investimento)	6 anos
Economia em 10 anos	Descontado o investimento inicial : R\$ 20.486,70
Economia em 25 anos	Descontado o investimento inicial : R\$ 81.092,70

5.4. Instalação

Durante 4 dias as estruturas foram fixadas, as placas foram instaladas, o inversor e os dispositivos de proteção foram instalados observando as boas práticas de trabalho e as normas vigentes.



Figura 23: Placas instaladas

Fonte: o Autor

A figura 22 representa as placas fixadas no telhado e o equipamento em destaque na figura 23 é o inversor de frequência, responsável dentre outras funções por converter a energia elétrica em corrente contínua para corrente alternada.



Figura 24: Inversor e dispositivos de proteção e seccionamento

Fonte: o Autor

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fonte alternativa de geração de energia por meio da tecnologia solar fotovoltaica tem crescido de forma exponencial nos últimos dois anos. A quantidade de acessos e ligações deste tipo de sistema a rede de distribuição de energia mostra que o setor está em pleno crescimento e tende a tornar-se uma realidade nas residências, comércios, indústrias e tantos outros empreendimentos no Brasil.

Destaca-se que conforme a norma regulamentadora se apresenta até a elaboração deste trabalho, a vantagem financeira em se ter um sistema deste é significativa. Desembolsar apenas, ou um valor próximo ao referente a taxa de disponibilidade após a quitação do investido no sistema trata-se de uma importante forma de economizar.

As normas das concessionárias de energia para o acesso a rede de distribuição de energia elétrica visam garantir o cumprimento das normas regulamentadoras impostas pela ANEEL, além de garantir a integridade do sistema de distribuição, garantir que a rede não seja afetada por geradores de energia mal dimensionados ou por equipamentos carentes de homologação em órgãos como o Inmetro.

No mais, o sistema se mostrou eficiente, gerando a energia para o qual foi projetado e compensando o gasto de energia elétrica nos momentos em que o sistema está desligado. Não ocorreu qualquer dificuldade relacionado aos aspectos de aprovação do projeto e consequente homologação por parte da concessionária de energia em relação a este projeto, todos os prazos foram respeitados inclusive com etapas sendo cumpridas com antecedência.

Considerando toda a tecnologia envolvida na produção dos equipamentos e complexidade da tecnologia, avaliar tecnicamente a viabilidade de instalação, a viabilidade financeira, dimensionar o sistema e mediar a aprovação junto a concessionária, a instalação de um equipamento gerador de energia solar feito por profissionais habilitados e qualificados não mostrou-se uma tarefa difícil. O sistema mostra-se viável economicamente, uma vez que o tempo retorno do investimento em 6 anos permite que a médio e longo prazo a economia financeira torne-se bastante atrativa. No exemplo deste trabalho a economia estimada em 25 anos, que é

aproximadamente o tempo de vida útil das placas, seja algo em torno de R\$80.000,00 para o cliente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



MOREIRA, J. R. S. et al. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PINHO, J. T. et al. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL CRESESB, 2014.

PEREIRA, E. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução normativa Nº 482**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 27 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Brasília. Revisão 7, 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/PRODIST-M%C3%B3dulo3_Revis%C3%A3o7/ebfa9546-09c2-4fe5-a5a2-ac8430cbca99>. Acesso em 27 mar. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 1 – Introdução**. Brasília, DF. Revisão 10, 2018. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1_Revis%C3%A3o10/f6c63d9a-62e9-af35-591e-5fb020b84c13. Acesso em 27 mar. 2021.

COMPANHIA PIRATININGA DE FORÇA E LUZ (CPFL). **Guia de acesso ao**

sistema de micro e minigeração distribuída no grupo CPFL. São Paulo
Disponível em: https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/assets/files/guia-pratico-geracao-distribuicao/Cartilha_Geracao_Distr.pdf. Acesso em 27 mar. 2021.

COMPANHIA PIRATININGA DE FORÇA E LUZ (CPFL). **Norma Técnica: conexão de micro e minigeração distribuída sob sistema de compensação de energia elétrica.** São Paulo, 2020. Disponível em: <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-15303.pdf>. Acesso em 27 mar. 2021.