

**A FEASIBILITY STUDY ON THE APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS AS
SUPPLEMENTARY POWER GENERATION FOR RESIDENCES IN SERRA CATARINENSE**

**ESTUDO DE VIABILIDADE NA APLICAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COMO GERAÇÃO
COMPLEMENTAR DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS NA SERRA CATARINENSE**

Dariu Schulle Garcia

*Professor no Instituto Federal de Santa Catarina - Lages/SC - Brasil
Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade do Planalto Catarinense
E-mail: dariunx@hotmail.com*

Gabriel Granzotto Madruga

*Professor no Instituto Federal de Santa Catarina - Lages/SC - Brasil
Mestre em Engenharia Elétrica Universidade do Regional de Blumenau
E-mail: ggmadruga@gmail.com*

Jonatas Policapo Américo

*Professor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Pato Branco/PR - Brasil
Mestre em Engenharia Elétrica Universidade do Regional de Blumenau
E-mail: jonatasamerico@gmail.com*

Joaquim Rodrigo de Oliveira

*Coordenador do curso de Eng. de Produção da Universidade do Planalto Catarinense - Lages/SC - Brasil
Doutorando em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina
E-mail: profrodrigo@globo.com*

Stéfano Frizzo Stefenon

*Coordenador do curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Planalto Catarinense - Lages/SC - Brasil
Mestre em Engenharia Elétrica Universidade do Regional de Blumenau
E-mail: stefanostefenon@gmail.com*

ABSTRACT

This article aims to present a study on the applicability of isolated photovoltaic systems. Therefore, it was necessary to conduct an economic feasibility analysis through a basic dimensioning of a photovoltaic power system, using as basis a residence located in the Serra Catarinense. This discussion was based on studies of Cabral et al (2013), Serrão (2010), and Vasconcelos (2013). The methodology was qualitative and quantitative by analyzing the incidence of solar radiation in Brazil and especially in the region of Serra of Santa Catarina, main focus of the study. This research showed that the main factor that makes this application unfeasible is the lack of incentives from the government, while European countries apply public policies with tax incentives for the implementation of sustainable energy, such as solar; the Brazil begins to crawl with regulations for the use of solar energy. Although still very low in Brazil, it is believed that in the future, this source can be explored and better utilized, since solar power is viable in some regions of Brazil even with the high cost of implementation. In relation to social and ecological aspect, this energy source can reduce the overhead on the electric system, and thus reduces energy dependence on fossil fuels, as well as being a clean source that does not emit gases that damage the ozone layer.

Keywords: Photovoltaic panels. Alternative energy sources. Power generation.

RESUMO

Este artigo tem o propósito de apresentar um estudo sobre a aplicabilidade de sistemas fotovoltaicos isolados. Para tanto, foi necessário realizar uma análise de viabilidade econômica através de um dimensionamento básico de um sistema de energia fotovoltaico, utilizando como base uma residência situada na Serra Catarinense. Dessa forma, apresentamos a energia fotovoltaica como fonte complementar de energia elétrica, suprimindo parte da demanda da energia elétrica consumida nessa residência. Essa discussão teve como base os estudos de Cabral ET AL (2013), Serrão (2010), e Vasconcelos (2013). A metodologia adotada foi de forma qualitativa e quantitativa buscando dados da incidência da irradiação solar no Brasil e principalmente na região da serra catarinense, foco principal do estudo. Esta pesquisa mostrou que o principal fator que torna esta aplicação inviável é a falta de incentivos por parte do governo, pois, enquanto países europeus aplicam

políticas públicas com incentivos fiscais, para a aplicação da energia sustentável, como a solar, o Brasil começa a engatinhar com regulamentações para o uso da energia solar. Apesar de ainda muito tímida no Brasil, acredita-se que, no futuro, esta fonte possa ser explorada e melhor utilizada, já que a energia solar é viável em algumas regiões do Brasil mesmo com o elevado custo da implantação. Em relação ao aspecto social e ecológico, esta fonte de energia pode diminuir a sobrecarga no sistema, e desta forma reduz a dependência energética em relação aos combustíveis fósseis, além de ser uma fonte limpa, que não emite gases que prejudicam a camada de ozônio.

Palavras-chave: Painéis fotovoltaicos. Fontes alternativas de energia. Geração de Energia.

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos países não possui um potencial hídrico suficiente para suprir a demanda total de energia, para isso são utilizadas fontes de energia não renováveis que tem um impacto ambiental negativo, como por exemplo, as termoelétricas e as nucleares.

A partir das características geográficas de relevo e localização, o Brasil possui uma alta incidência de sol, o que proporciona um ambiente favorável para instalação de painéis fotovoltaicos, ao invés da exploração e ampliação de fontes energéticas não favoráveis.

1.1 Justificativa

A energia solar é uma energia renovável, que não agride ou altera o meio ambiente, além de seu “combustível” estar presente todos os dias. A energia renovável ou energia alternativa é aquela gerada através de fontes renováveis e que, portanto, não gera impacto ambiental, seja através do esgotamento de recursos ou pela emissão de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera (NEOSOLAR, 2013).

Por isso esta energia está em constante disseminação e aperfeiçoamento nos últimos anos, através de pesquisas sobre a implantação dessa tecnologia em outras regiões do país como o trabalho realizado na região de Curitiba, por Cooper (2013) que mostra a viabilidade de implantação da tecnologia. Com isso, através dessa pesquisa, serão coletados dados para o estudo da viabilidade deste sistema, as vantagens ou desvantagens na aplicação dos painéis fotovoltaicos na região da serra Catarinense. Caso este estudo mostrar-se favorável e viável, será uma forma de tentar popularizar e desmistificar esse tipo de geração, como acontece em outros países, onde esse tipo de geração já está instalado.

1.2 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade de aplicação de painéis fotovoltaicos como fonte complementar de geração de energia na Serra Catarinense, através da realização de coleta de dados obtidos em relação à incidência solar na região.

1.3 Metodologia

Para ser elaborado o presente artigo, foi realizada uma pesquisa qualitativa e quantitativa a partir de referenciais teóricos. Foram levantados dados teóricos, sobre a irradiação solar no Brasil, tais como a incidência na região da serra Catarinense, para avaliar a eficácia da tecnologia na região.

2 ENERGIA SOLAR

A principal fonte de energia que a terra possui é o sol, além de manter o equilíbrio e manutenção da vida no planeta terra, essa radiação se torna uma fonte quase que inesgotável de energia, tendo um enorme potencial que pode ser utilizado por sistemas de captação e conversão, para geração de outras formas de energia, uma delas, por exemplo, é a energia elétrica.

A Terra orbita o sol em um eixo N/S inclinado 23,45° (Pinho e Galdino, 2014). É possível notar que a duração dos dias ao longo do ano variam em relação a inclinação do eixo da terra, onde que na linha do Equador terrestre a duração dos dias vai ser sempre igual ao longo do ano, o mesmo ocorre nos equinócios¹.

De modo a determinar o valor da declinação solar para um determinado dia do ano, positivas ao norte e negativas ao sul da linha do equador, utiliza-se segundo PINHO e GALDINO (2014, p. 70) a equação (1).

$$\text{sen}(\delta) = -\text{sen}(23,45) \cos\left[\left(\frac{360}{365,25}\right)(n+10)\right] \quad (1)$$

¹ Marcam posições do movimento aparente do sol e a incidência de raios solares na superfície

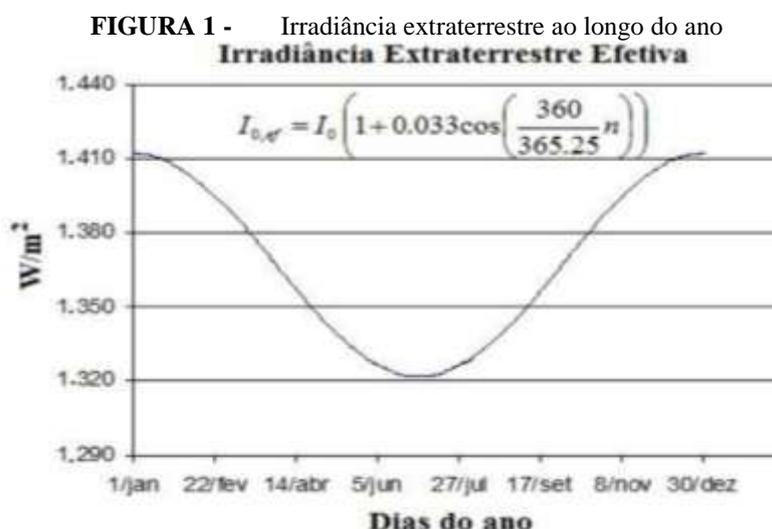
Onde "n" representa o dia do ano em sequência, por exemplo: 1 de janeiro n = 1; 2 de janeiro n = 2; ... 31 de dezembro n = 365, assim obtém-se a declinação solar em relação ao eixo do equador.

O termo "radiação solar" é usado de forma genérica, mas também pode ser conhecida em termos de energia por unidade de área que se denomina irradiação solar. Como existem varias formas de determinar a incidência solar sobre a terra existem varias unidades para representar esses valores da irradiação solar (PINHO e GALDINO, 2014).

A irradiação solar que atinge a terra no topo da camada atmosférica² é denominada como irradiância extraterrestre, que é determinada através da constante solar (I_0), que segundo Pinho e Galdino (2014, p. 70):

"A constante solar (I_0) é definida como valor da irradiância extraterrestre que chega sobre a superfície perpendicular aos raios solares na distância média Terra-Sol, e tem valor aproximado de 1.367 W/m² (dotado pelo WRC – *Word Radiation Center*). A excentricidade da elipse que descreve a trajetória da terra em torno do sol resulta em uma variação no valor da irradiância extraterrestre ao longo do ano".

Como citado acima essa irradiância pode variar em relação aos dias do ano, com isso a Figura 1 mostra um gráfico da irradiação ao longo do ano, relacionando os dias do ano com a irradiação extraterrestre.



(FONTE: Pinho e Galdino, 2014)

Como se pode observar na figura 1, o menor ponto de irradiância extraterrestre efetiva (I_{0f}) é de aproximadamente 1.322 W/m² no período próximo ao solstício³ de inverno para o hemisfério sul, e o valor máximo de 1.412 W/m² próximo ao solstício de verão, pode-se observar também que a equação para o I_{0f} é função da constante solar (I_0), e do dia (n). (PINHO e GALDINO, 2014).

2.1 Ângulos Relacionados À Geometria Solar

O movimento do sol e a superfície terrestre geram variações nas relações geométricas entre os raios solares, isso pode ser descrito por vários ângulos, o ângulo zenital (θ_z), ângulo azimutal da superfície (γ), ângulo azimutal sol (γ_s), o ângulo de incidência (θ), ângulo de inclinação da superfície de captação (β), e o ângulo horário do sol ou hora angular (ω), onde a seguir serão conceituados (PINHO e GALDINO, 2014).

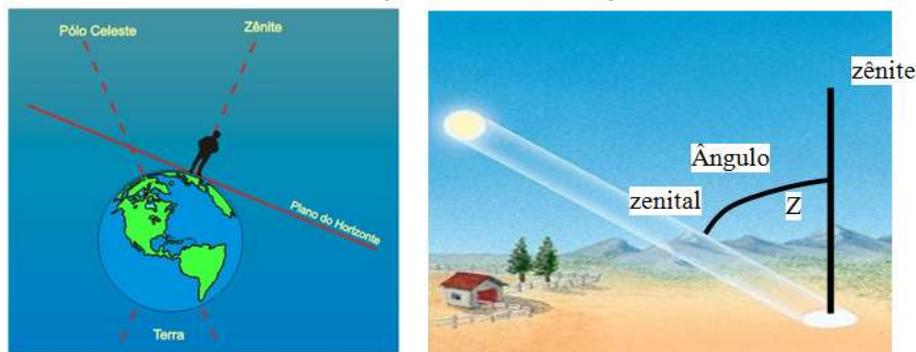
2.1.1 Ângulo zenital (θ_z)

É o ângulo formado entre o Zênite e os raios solares. Varia de acordo com a latitude, a época do ano e a hora do dia. O zênite é uma linha imaginária que liga o centro da Terra e o ponto na superfície, prolongando-se ao espaço acima do observador (SENTELHAS, 2006). A Figura 2 ilustra este conceito.

² É o nome dado à camada gasosa que envolve os planetas.

³ Momento em que o sol, durante seu movimento aparente na esfera celeste, atinge a maior declinação em latitude, medida a partir da linha do equador.

FIGURA 2 - Ilustração da zênite e do ângulo zenital

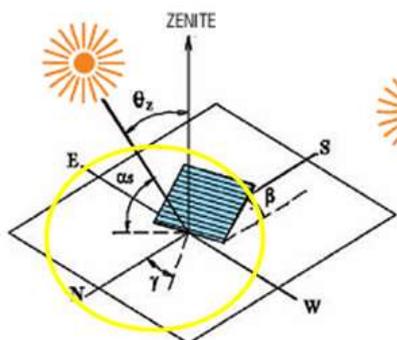


(FONTE: Sentelhas, 2006)

2.1.2 Ângulo azimutal da superfície (γ)

O ângulo azimutal de superfície no plano horizontal normal à superfície em relação ao meridiano⁴ local, no sul é zero, e para leste é negativo e para oeste é positivo, variando de $-180 \leq 0 \leq 180$ (SIQUEIRA, 2009). A Figura 3 ilustra este conceito, onde o círculo amarelo indica o range de deslocamento do ângulo azimutal da superfície.

FIGURA 3 - Ilustração do ângulo azimutal de superfície



(FONTE: Pinho e Galdino, 2014)

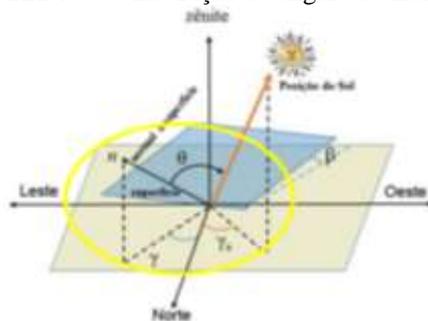
2.1.3 Ângulo azimutal do sol (γ_s)

O ângulo azimutal do sol tem o mesmo princípio de deslocamento, do ângulo azimutal de superfície, obedecendo às mesmas convenções do azimute de superfície, colocada no item 2.1.2.

2.1.4 Ângulo de incidência (θ)

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 72) o ângulo de incidência é “Ângulo formado entre os raios do sol e a normal à superfície de captação.” Em outras palavras, é o ângulo que forma quando o raio incide sobre a superfície horizontal, formando um ângulo, entre a incidência dos raios solares, e a refração do raio, esse ângulo formado entre a incidência e a reflexão se chama ângulo de incidência, conforme ilustrado na Figura 4.

FIGURA 4 - Ilustração do ângulo de incidência



(FONTE: Pinho e Galdino, 2014)

⁴ É uma linha imaginária que se estende de um polo a outro, os meridianos, dividem a Terra como se ela fosse uma laranja com gomos.

2.1.5 Ângulo de inclinação da superfície de captação (β)

É o ângulo formado entre a superfície e os raios do sol, em relação à superfície de captação (PINHO e GALDINO, 2014). Que está representada na figura 4 indicada pela letra grega (β).

2.1.6 Ângulo horário do sol ou hora angular (ω)

É o ângulo de deslocamento leste e oeste do meridiano do sol⁵, que parte do meridiano do local onde está instalada a superfície, e devido ao movimento de rotação da terra. Cada hora solar (Hs) equivale a um deslocamento de 15°, por convenção são adotados valores negativos para períodos da manhã, positivos para o período da tarde e zero para ao meio dia solar que é a hora que o sol cruza o meridiano local (PINHO e GALDINO, 2014). Esse ângulo pode ser determinado através da equação (2).

$$\omega = (H_s - 12) \cdot 15^\circ \quad (2)$$

3 O POTENCIAL SOLAR E A VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA EM RESIDÊNCIAS

O Brasil é um país privilegiado, quando se fala em fontes de energia renováveis, sendo ela hídrica, por meio do vento, biocombustível ou radiação solar. O Brasil tem uma média anual de insolação diária que varia de 4 a 8 horas, sendo que a média anual varia de 1715 a 2300 kWh/m²/ano. (CABRAL ET AL 2013)

3.1 Irradiação Na Serra Catarinense

A radiação na parte sul do país em comparação com o resto do território brasileiro, é o que tem menor incidência de irradiação solar por m², mas mesmo essa radiação sendo inferior tem-se uma energia para ser aproveitada. Através de um sistema de dados do programa SUDATA, disponibilizado *online* pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) / Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL), destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional.

Para a utilização desse banco de dados são necessárias as coordenadas geográficas⁶ da região, latitude e longitude aproximadas do ponto de análise, os dados de irradiação solar obtidos pelo banco de dados são dados em kWh/m²/dia no plano horizontal, correspondentes às horas diárias médias mensais para os 12 meses do ano.

3.1.1 Obtenção da irradiação média diária mensal na região da serra Catarinense

Tendo como ponto central da serra Catarinense a região de Lages-SC, encontra-se a latitude e longitude, sendo elas: Latitude: 27° 48' 58" S Longitude: 50° 19' 34" W, inserindo essas coordenadas no banco de dados se obteve o

QUADRO 1.

QUADRO 1 - Banco de dados SUDATA, mostrando a hora média de radiação no mês.

Estação: Lages
 Município: Lages, SC - BRA
 Latitude: 27,8° S
 Longitude: 50,326111° O
 Distância do ponto de ref. (27,816111° S; 50,326111° O): 1,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,50	5,22	4,47	3,92	3,25	2,50	3,00	3,53	3,92	4,78	5,56	6,11	4,31	3,61
✓	Ângulo igual a latitude	28° N	4,92	4,98	4,66	4,62	4,30	3,41	4,09	4,35	4,25	4,69	5,05	5,35	4,56	1,94
✓	Maior média anual	23° N	5,08	5,08	4,69	4,56	4,17	3,29	3,95	4,26	4,24	4,76	5,20	5,54	4,57	2,25
✓	Maior mínimo mensal	48° N	4,09	4,33	4,32	4,63	4,57	3,69	4,42	4,46	4,05	4,16	4,24	4,35	4,28	,94

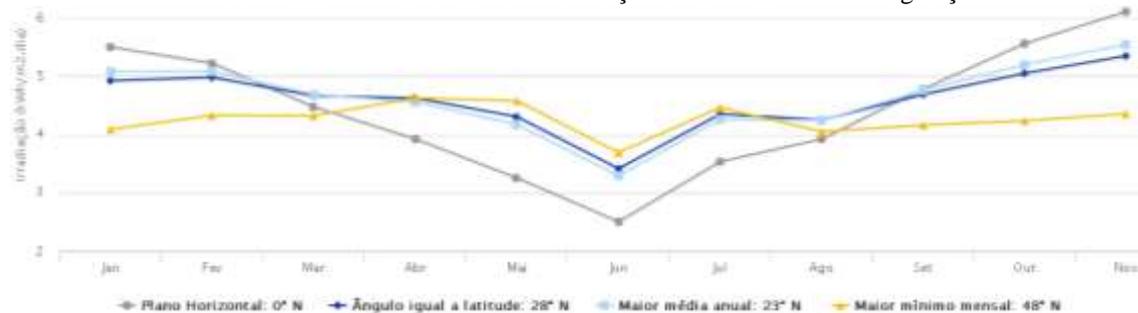
(FONTE: CRESESB, 2015)

O banco de dados realiza uma média mensal com angulações do painel fotovoltaico gerando assim uma média anual mostrando qual angulação é melhor para essa região em relação aos meses do ano e a angulação do sol ao decorrer do ano. Além dessa tabela de média anual referente às inclinações, gera-se um gráfico onde representa essas inclinações como mostra a Figura 6.

⁵ Instante em que o centro do Sol cruza exatamente o meridiano superior do local onde se encontra a medição.

⁶ As coordenadas geográficas são um sistema de linhas imaginárias traçadas sobre o globo terrestre. Suas coordenadas são a latitude e a longitude e o princípio utilizado é a graduação (graus, minutos e segundos).

FIGURA 5 - Hora média de radiação no mês em todas as angulações.



(FONTE: CRESESB, 2015)

Observando a figura 6, pode-se notar as médias anuais, com isso para os cálculos do dimensionamento dos painéis para o estudo da viabilidade que serão vistos no decorrer desse capítulo será utilizado a pior média, que é a do plano horizontal sem inclinação, com o pior caso pode-se ter um dimensionamento ideal sem risco de falta de energia na geração nos períodos do ano onde á menor média de irradiação solar por hora. A figura 7 destaca os valores que serão utilizados para os cálculos no decorrer do trabalho.

FIGURA 6 - Hora média de radiação no mês.



(FONTE: CRESESB, 2015)

3.2 Carga que será alimentada pelo sistema fotovoltaico

A obtenção de um sistema fotovoltaico que supre totalmente a demanda de uma residência no Brasil ainda não é uma realidade, pois o custo dessa tecnologia infelizmente é muito alta, com isso será levantada uma carga na qual a energia fotovoltaica irá complementar o consumo elétrico dessa residência e não suprir o consumo total da residência, sendo assim uma fonte complementar de energia para o local. A carga escolhida é a iluminação total de uma residência de aproximadamente de 70 m² que é comum no Brasil, com as seguintes divisões: 03 quartos; 02 banheiros; 01 cozinha; 01 área de serviço; 01 varandas; 01 garagem; 01 sala; 02 corredores

3.3 Cálculo do consumo diário estimado para a residência

Para o cálculo do consumo diário foi considerado uma demanda uniforme de utilização da iluminação, durante todo o ano, sendo estimadas quantas horas cada lâmpada é utilizada em cada cômodo por dia e a potência de cada lâmpada, para estabelecer a quantidade de energia utilizada será quantificado o watt horas (Wh), por isso deve ocorrer a transformação relacionando a potência do equipamento com a quantidade de horas utilizada por dia, a equação (3) é utilizada para a transformação (SERRÃO, 2010).

$$\text{POTÊNCIA EM Wh} = \text{PE} \times \text{N}^{\circ} \text{ DE HORAS} \quad (3)$$

PE = Potência do equipamento.

Nº de horas = número de horas no qual o equipamento é utilizado por dia.

Através de uma multiplicação como mostra a Equação (4) (SERRÃO, 2010), se encontra a potência da iluminação instalada na casa.

$$\text{Potência instalada} = \text{QTD} \times \text{W} \quad (4)$$

QTD = Quantidade de lâmpadas instaladas na casa.

W = potência da lâmpada instalada na casa.

Com isso, somando o consumo diário, se terá uma potência de 525 Wh.

3.4 Dimensionamento do sistema fotovoltaico isolado

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, leva-se em consideração a irradiação média diária mensal para a localidade que será aplicada a instalação do SF (SERRÃO, 2010), que no caso é a região de Lages-SC, foi encontrado o valor mínimo que será utilizado de 4,31 kWh/m²/dia, no qual corresponde a média de 4,31 horas de sol de pico considerando a menor média para a região estudada.

Com esse valor obtido pode-se calcular a potência em Watt Pico (WP), que é a unidade de medida para um sistema fotovoltaico. Esse cálculo é realizado pela equação (5) (SERRÃO, 2010).

$$\text{WP} = \text{Wh} / \text{HORAS DE SOL PICO} \quad (5)$$

WP = watt pico.

Wh = watt hora.

Horas de sol pico = quantidade de horas que tem sol pleno.

Substituindo os valores encontrados, na equação (5) obteve-se o valor de 121,8 WP. Levando em consideração que o sistema deve funcionar corretamente durante todo o tempo, se deve considerar as perdas no decorrer do sistema (SERRÃO, 2010), como nesse caso será um sistema fotovoltaico isolado, o mesmo será composto por baterias, inversores, cabeamentos, por isso se deve levar em consideração uma perda de 10% para a conversão de energia nas baterias, de 6% para cabeamentos, e 10% para os demais componentes, sendo assim a potência mínima corrigida (PMC) será dada pela equação (6) (SERRÃO, 2010) :

$$\text{PMC} = \text{WP} / \% \text{ cabeamento} \times \% \text{ baterias} \times \% \text{ demais componentes} \quad (6)$$

Substituindo os valores, na equação 6 se encontrou um valor de 160 WP, sendo assim a demanda que os painéis devem suprir será de no mínimo 160 WP.

3.4.1 Dimensionamento do banco de baterias

Para o dimensionamento das baterias leva-se em consideração o chamado ciclo de descarga, no qual, o ciclo de vida de uma bateria selada de Chumbo-Ácido, por exemplo, está diretamente relacionado com a profundidade de descarga, esses ciclos correspondem ao uso da bateria é acumulado na forma de ciclos de carga, essa informação de ciclos e porcentagem de descarga da bateria é dada pelo fabricante facilitando assim na hora de adquirir o equipamento com os dados colocados no projeto.

Será utilizado para o cálculo do dimensionamento uma porcentagem de 30% para o ciclo de descarga, por se tratar somente da iluminação da residência, e por não ser utilizada em todo horário do dia pode-se optar por uma descarga rasa, no qual não irá exigir muito da bateria.

A equações (7) e (8) são as formulas básicas no qual serão usadas para o dimensionamento das baterias (SERRÃO, 2010):

$$\text{En} = \text{WH} / \text{CD} \% \quad (7)$$

EN = Energia nominal mínima exigida pela bateria;

WH= consumo diário;

CD = porcentagem do ciclo de descarga;

$$\text{Cb} = \text{En} / \text{VB} \quad (8)$$

C_b = capacidade da bateria;
 E_n = Energia nominal mínima exigida pela bateria;
 V_B = tensão da bateria;

Substituindo os valores na equação (7) determinou-se o valor de 1750 WH, foi considerando a tensão da bateria de 12 V, sendo o mais comumente encontrado, e substituindo na equação 6, encontrou-se um valor mínimo da bateria de 145,83 Amperes hora (Ah), seguindo os valores mais usuais de capacidade da bateria podemos utilizar uma com valor comercial de 150 Ah da marca de baterias Moura.

Considerando que o valor de descarga diária de 30% ocorre em aproximadamente 4 horas, é possível estimar o tempo de descarga total da bateria, sendo representado pela equação (9) (SERRÃO, 2010):

$$D_c = MVU \times 100\% / CD \quad (9)$$

D_c = Descarga completa;
 MVU = máximo valor de horas da carga ligada em horas;
 CD = porcentagem do ciclo de descarga;

Substituindo na equação (9) o valor obtido foi 13,33 horas para uma descarga completa da bateria sem recarrega-la.

3.4.2 Dimensionamento do controlador de carga

O uso do controlador de carga serve basicamente para proteger as baterias, permitindo que elas sejam carregadas de modo ótimo, protegendo-as contra sobrecargas, prevenindo descargas indesejáveis, como uma possível descarga profunda, além de informar o estado da carga da bateria, com isso aumenta-se a vida útil das baterias (SERRÃO, 2010).

De acordo com Quadro 2, pode-se utilizar um fator de demanda de 86 % pois a carga não ultrapassa 1 kW, devido ao sistema de iluminação em uma residência não ser utilizado em sua totalidade simultaneamente (CAGNON, 2015).

QUADRO 2 - Fator de demanda referente a tomadas e iluminação residencial

CARGA INSTALADA (kW)	FATOR DE DEMANDA
0 < C ≤ 1	0,86
1 < C ≤ 2	0,75
2 < C ≤ 3	0,66
3 < C ≤ 4	0,59
4 < C ≤ 5	0,52
5 < C ≤ 6	0,45
6 < C ≤ 7	0,40
7 < C ≤ 8	0,35
8 < C ≤ 9	0,31
9 < C ≤ 10	0,27
C > 10	0,24

(FONTE: Cagnon, 2015)

Sendo assim, multiplicando o fator de demanda de 86%, pelo total da carga instalada que foi calculada anteriormente, de 300 W, se obtém o seguinte valor de 258 W (SERRÃO, 2010).

Através desse valor obtido pode-se determinar a corrente máxima, que o controlador de carga deve suportar, sabendo que a tensão da bateria será de 12 V, e a potência encontrada de 258 W, divide-se o valor da carga pelo valor da bateria encontra-se um valor de corrente máxima de 21 A, com essa corrente máxima encontrada pode-se dimensionar um controlador de carga.

3.4.3 Dimensionamento do inversor

Uma vez que a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, é armazenada em baterias em Corrente Contínua (CC), e a carga será conectada em corrente alternada, há necessidade da instalação de um inversor (SERRÃO, 2010), que possui a função de converter essa energia de CC em Corrente Alternada (CA). Para o dimensionamento do inversor será utilizado o valor da carga de 258 W.

Geralmente os inversores são dimensionados em função da potência aparente⁷, para o cálculo da potência aparente deve-se conhecer a priori o Fator de Potência (FP) da lâmpada eletrônica compacta de 25 W, 220 V, no qual é disponibilizado pelo fabricante. Este fator depende do fabricante variando em torno de 0,6, valor no qual será utilizado para o cálculo representado pela equação (10).

$$S = \frac{P}{FP} \quad (10)$$

S = Potência aparente
P= Potência encontrada
FP = fator de potência⁸

Substituindo os valores na equação encontra-se um valor de 430 Volts Ampere (VA), assim com os valores mínimos de potência nominal, e potência aparente da carga é possível dimensionar o equipamento de forma adequada.

3.5 Viabilidade econômica para a implementação do sistema dimensionado anteriormente

Após o dimensionamento completo do sistema, será realizada a análise da viabilidade econômica para a aquisição e implantação do sistema fotovoltaico isolado. O princípio básico da matemática financeira na engenharia econômica, é que “o valor do dinheiro se modifica com o tempo”, ou seja, pela ação dos juros, o valor de uma quantidade de dinheiro irá se alterar com o passar do tempo.

Para a análise econômica da implantação do texto por extenso (SFFI) serão utilizadas duas metodologias: Tempo de retorno de investimento descontado ou *payback* descontado, e o método do valor atual.

3.5.1 Lista de itens encontrados no dimensionamento do sistema e seus respectivos valores

Os componentes do sistema no qual foi dimensionado são: Lâmpadas compactas de 25 W; Painéis fotovoltaicos de no mínimo 160 WP; Bateria de 150 Ah; Controlador de carga corrente mínima de 21,5 A; Inversor de frequência com potência mínima de 430 VA.

Através dos componentes dimensionados foi levantado uma pesquisa de valores dos componentes, e estipulado uma média do valor de mão de obra no valor de R\$ 500, e cabeamento de R\$ 200,00 para a instalação do mesmo e feito o levantamento dos valores mínimos dos equipamentos dimensionados, encontrou-se um valor total para aquisição individual de cada componente do sistema e instalação será de R\$ 3.361,00.

3.5.2 Valor do kilowatt hora (kWh) cobrado pela concessionária de Santa Catarina

Para o cálculo final da fatura de energia é considerado o valor da energia consumida, em kWh, no qual a ANEEL estipula um valor do kWh e tributos. Desde janeiro de 2015 entrou em vigor uma nova forma de cobrança, o sistema de bandeira tarifária, o sistema possui três bandeiras a verde indica condições favoráveis de geração de energia, a bandeira amarela condições de geração menos favoráveis, e a bandeira vermelha condições com custo mais alto para geração; o desenvolvimento do presente trabalho foi feito com bandeira vigente vermelha (CELESC S.A, 2015). A tarifa cobrada pela concessionária Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A CELESC S.A., para uma residência normal B1 é de R\$ 0,48381 o kWh.

Para conhecimento do valor gasto na iluminação da residência analisada, é necessário determinar o quanto é gasto por mês em kWh. Assumindo, o gasto diário da residência de 525 Wh, pode-se determinar o consumo mensal através da equação (11).

$$Tg = Wh \times 30 / 1000 \quad (11)$$

Tg = total gasto no mês;
Wh= consumo diário;

Substituindo os valores nas variáveis da equação (11) obtém-se o valor mensal de 15,75 kWh, assumindo o valor cobrado do kWh que é atualmente R\$ 0,48381 determina-se o valor mensal gasto com iluminação da residência que será de R\$ 7,62 e anual de R\$ 91,44.

⁷ Indica que a energia consumida é o suficiente para um ou outro abastecimento elétrico

⁸ Fator de potência é a relação de trabalho (ativa) e a potência total consumida (aparente). Basicamente, fator de potência é a medida de como efetivamente a energia elétrica está sendo usada. Quanto maior for o fator de potência, melhor será o aproveitamento da energia elétrica e vice-versa.

3.5.3 Viabilidade econômica

O estudo da viabilidade se inicia através do orçamento estimado realizado anteriormente com o custo estimado de R\$ 3.361,00 para a aquisição e instalação do sistema. Considera-se que o sistema fotovoltaico irá substituir a iluminação da residência, e tendo um valor de retorno anual do investimento de R\$ 91,44, o tempo de retorno de investimento levará em conta a vida útil dos painéis solares, em torno dos 25 anos, valor estipulado pelo fabricante.

Para a análise econômica será utilizado a taxa de juros da poupança, que está em torno de 6,17% ao ano (G1 ECONOMIA, 2015), pois será levado em conta que essa pessoa não tenha dinheiro investido em nenhum outro fundo, somente dinheiro aplicado na poupança.

Com os valores levantados e estipulados, será aplicado dois métodos para o cálculo da viabilidade, o método do valor atual (VA), e o tempo de retorno de investimento descontado (*payback* descontado) (VASCONCELOS, 2013).

3.5.3.1 Método do valor atual (VA)

O método do valor atual permite calcular se o investimento vai ser positivo, através da equação (12) (VASCONCELOS, 2013).

$$P_{\text{retorno}} = R \left\{ 1 - \frac{\left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]}{i} \right\} \quad (12)$$

P_{retorno} = calcula a quantia que será retornada;

R = A quantidade que se ira economizar;

n = tempo do investimento;

i = taxa de juros considerados;

Substituindo os valores na equação (12) se obtém o valor de R\$ 1.150,26, com esse valor da quantia que será retornada pode-se então aplicar o cálculo do valor atual através da equação (13) abaixo:

$$VA = P_{\text{retorno}} - \text{Valor investido} \quad (13)$$

VA = Valor atual;

P_{retorno} = calcula a quantia que será retornada;

Valor *investido* = Valor total do investimento do sistema;

Substituindo os valores do retorno do investimento encontrado pela equação 13 e o valor total do investimento se encontra o valor atual de R\$ -2.210,74.

O resultado do método do valor atual já indica que o investimento não será positivo, assim, o investimento não oferece a remuneração de capital desejada, ou seja, o retorno do capital investido dentro do prazo estipulado de 25 anos.

3.5.3.2 Método do *payback* descontado

Esse método irá mostrar que dentro do prazo estipulado o retorno do investimento não será possível, através da equação (14), mostrada a seguir:

$$VP = VF / (1+i)^n \quad (14)$$

VP = Valor presente;

VF = Valor Futuro;

i = taxa de juros considerados;

n = tempo do investimento;

Para o cálculo do *payback* descontado, através da Equação 11, foi gerado o QUADRO 3, utilizando o juro atual da poupança de 6,17% ao ano, o valor total do investimento de R\$ 3.361,00, e a economia da conta de energia de R\$ 91,44:

QUADRO 3 - Tabela gerada no Excel com Cálculo *payback descontado*

PAYBACK DESCONTADO			
Ano	Fluxo de Caixa Livre (FCL)	VP do FCL	VP do FCL acumulado
0	- 3.361,00	- 3.361,00	- 3.361,00
1	91,44	86,13	- 3.274,87
2	91,44	81,12	- 3.193,75
3	91,44	76,41	- 3.117,35
4	91,44	71,97	- 3.045,38
5	91,44	67,78	- 2.977,60
6	91,44	63,84	- 2.913,75
7	91,44	60,13	- 2.853,62
8	91,44	56,64	- 2.796,98
9	91,44	53,35	- 2.743,63
10	91,44	50,25	- 2.693,38
11	91,44	47,33	- 2.646,05
12	91,44	44,58	- 2.601,48
13	91,44	41,99	- 2.559,49
14	91,44	39,55	- 2.519,94
15	91,44	37,25	- 2.482,69
16	91,44	35,08	- 2.447,61
17	91,44	33,04	- 2.414,57
18	91,44	31,12	- 2.383,44
19	91,44	29,32	- 2.354,12
20	91,44	27,61	- 2.326,51
21	91,44	26,01	- 2.300,51
22	91,44	24,50	- 2.276,01
23	91,44	23,07	- 2.252,94
24	91,44	21,73	- 2.231,20
25	91,44	20,47	- 2.210,74

(Fonte: Garcia, 2015)

Através da realização do cálculo do *payback descontado*, se pode perceber que o retorno do valor investido para a implantação do sistema, pensando para o lado da economia não haverá retorno.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa mostrou que o principal fator que se torna inviável ainda a aplicação desse sistema é a falta de incentivos por parte do governo, pois, enquanto países europeus aplicam políticas públicas com incentivos fiscais, para a aplicação da energia sustentável, como a solar, o Brasil começa a engatinhar com regulamentações para o uso da energia solar.

O custo da implantação do kWp, aqui no Brasil custa em torno de 7 a 10 mil reais, e na Europa sem a necessidade de importação do sistema esse montante é aproximadamente 1.690,00 euros (América Sol, 2015).

Apesar de ainda muito tímida essa mudança no Brasil, acredita-se que, no futuro, ele possa se tornar um potencial consumidor desse sistema, se incorporar essas mudanças, já que a energia solar é viável em algumas regiões do Brasil mesmo com o elevado custo da implantação.

Pensando no aspecto social e ecológico, é uma essencial alternativa porque além de diminuir a sobrecarga no sistema, é um sistema que não polui durante a sua geração, reduz as emissões de CO₂, reduz a dependência energética em relação aos combustíveis fósseis, reduz as perdas de transmissão e distribuição e também o investimento em linhas de transmissão e distribuição, além do principal ponto, de saber que está ajudando a reduzir os malefícios do uso desordenado dos recursos naturais, e pode-se levar em conta a satisfação do consumidor em poder gerar a sua própria energia, se tornando uma peça fundamental do quebra cabeça, em rumo de um mundo mais limpo e auto sustentável.

Com isso foram atendidos todos os objetivos desse trabalho, apesar de não ser com resultados positivos, mas assim levantando a importância da implantação de uma geração de energia sem impactos ambientais e ecológicos, embora ainda de uma forma não viável para a sociedade da região da Serra Catarinense.

REFERÊNCIAS

- _____. Energia fotovoltaica : Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. Rio De Janeiro: ALTENER, 2004. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>. Acesso em: 14/03/2015.
- _____. GERAÇÃO. 2015. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>. Acesso em: 12/04/2015.
- ABINE Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. _____. Abine, 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 16/03/2015.
- ANEEL Resoluções para geração de energia solar. _____. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 04/05/2015.
- Archiproducts. 2014. Disponível em: <http://www.archiproducts.com/pt/produtos/94038/piko-inversor-para-instalacao-fotovoltaica-monofasico-piko-mono-coenergia.html>. Acesso em: 25/05/2015.
- BERTO, ELTON FAGUNDES. ANÁLISE DOS INCENTIVOS À MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOB A PERSPECTIVA DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE. Porto Alegre: Ufpa, 2012. Disponível em: http://www.ufpa.br/gestaoenergia/publicacoes/Elton_Berto.pdf. Acesso em: 18/03/2015.
- BRITO, Miguel Centeno. ELECTRICIDADE SOLAR. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2001. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/p2.pdf>. Acesso em: 10/02/2015.
- Brookfield. 2015. Disponível em: <http://www.br.brookfield.com/Empreendimento/Interna/SP/apartamento-residencial-cambui-unic>. Acesso em: 25/05/2015.
- CABRAL, Isabelle de Souza; TORRES, Adriana Cazelgrandi; SENNA, Pedro Rocha. ENERGIA SOLAR – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BRASIL E ALEMANHA. Salvador: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2013. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/X-009.pdf>. Acesso em: 25/04/2015.
- CABRAL, Isabelle. VIABILIDADE ECONÔMICA X VIABILIDADE AMBIENTAL DO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA NO CASO BRASILEIRO: UMA ABORDAGEM NO PERÍODO RECENTE. _____. _____. 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/X-003.pdf>. Acesso em: 18/02/2015.
- CELESC S.A. Saiba mais sobre Bandeiras Tarifárias. 2015. Disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/index.php/noticias/1456-saiba-mais-sobre-bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 01/05/2015.
- Como é cobrada sua conta de luz?. 2011. Disponível em: <http://blogs.odiario.com/carlossica/2011/08/10/como-e-cobrada-sua-conta-de-luz/>. Acesso em: 25/04/2015.
- CRESESB - Potencial Solar - SunData. 2015. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=o_cresesb. Acesso em: 07/05/2015.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Rio De Janeiro: EPE, 2012.
- FALCÃO, António F. O.. Energia Solar : Movimento e posicionamento relativos Terra-Sol . Lisboa: Instituto superior técnico, 2008. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/download/File/3779572107293/Texto%20Apoio%20Mov.Sol-Terra%2801%29.pdf>. Acesso em: 12/02/2015.
- GHENSEV, ALMIR. MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS. Minas Gerais: UFLA, 2006. Disponível em: http://www.solenerg.com.br/files/monografia_almir.pdf. Acesso em: 13/03/2015.
- IZIDORO, Erick Santos; SILVA, Henrique Nunes Sodré da; SOARES, Ricardo. Painel Solar: uma alternativa para a geração de energia. Campos Dos Goytacazes/RJ: Essentia Editora, 2014. Disponível em: <http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1796>. Acesso em: 14/03/2015.
- LEVA, Flávia Fernandes de et al. MODELO DE UM PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO. _____. _____. 2004. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000200020&script=sci_arttext. Acesso em: 04/02/2015.
- MEIO SÉCULO DE HISTORIA FOTOVOLTAICA. Lisboa: Gazeta de física, 2006. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em: 02/04/2015.
- Mpp solar. 2015. Disponível em: <http://www.mppsolar.com/pt/baterias-serie-paralelo.html>. Acesso em: 25/05/2015.
- Mpp solar. 2015. Disponível em: <http://www.mppsolar.com/pt/home.html>. Acesso em: 25/05/2015.
- Neosolar. 2014. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 25/05/2015.
- PINHO, João tavares; GALDINO, marco antonio. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio De Janeiro: Cepel-cresesb, 2014. p. 530.

-
- RUI M.G. CASTRO INTRODUÇÃO À ENERGIA FOTOVOLTAICA. Lisboa: Instituto superior técnico, 2002. Disponível em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/IntroducaoAEnergiaEolica.pdf>. Acesso em: 18/02/2015
- SERRÃO, Marcos Antonio dos Santos. DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UMA CASA DE VERANEIO EM POUSO DA CAJAÍBA-PARATY. RIO DE JANEIRO: UFRJ, 2010. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>. Acesso em: 12/02/2015
- TIBA, Chigueru et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. RECIFE: Universitária da UFPE, 2000. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbm92b2xmdnB1Y2d0vGd4OjQ1NGVjNjYyZDM5NWQ0Mjk>. Acesso em: 23/04/2015.
- VASCONCELLOS, Marco Antônio S. **Fundamentos de economia**. 2013.