

**Análise da viabilidade econômica e dimensionamento associado à
implementação de painéis fotovoltaicos em uma edificação vertical de
Joinville**

*Analysis of economic viability and dimensioning of photovoltaic panels to
implementation in a residential building of Joinville*

*Análisis de la viabilidad económica y dimensionamiento asociado a la implementación
de paneles fotovoltaicos en una edificación vertical de Joinville*

Andréa Holz Pfitzenreuter

Professora Doutora, UFSC, Brasil.
andrea.hp@ufsc.br

Carlos Eduardo Pscheidt

Mestrando, UFSC, Brasil.
pscheidt.carlos@posgrad.ufsc.br



RESUMO

Novas fontes de energia estão sendo estudadas e desenvolvidas no âmbito mundial. A energia solar ainda é a fonte menos explorada no Brasil, devido ao custo elevado no início da sua aplicação no cenário nacional. Todavia, nos últimos anos, novos meios de produção foram estabelecidos por lei, incentivando o uso da energia solar através de painéis fotovoltaicos em residências e edificações. A geração distribuída e a microgeração de energia são os dois parâmetros existentes na regulamentação que permite ao usuário ter sua produção de energia conectada diretamente à rede de distribuição elétrica e usá-la como banco de bateria. Tal fato reduz o custo do sistema e o torna atrativo em longo prazo. Esse trabalho tem como objetivo analisar o potencial de geração de energia através do sistema fotovoltaico para uma edificação vertical no município de Joinville, bem como realizar uma avaliação de custo e retorno de investimento. Com as demonstrações das condições climáticas da área de interesse, a irradiação solar como um dos fatores de maior relevância ao dimensionamento do sistema, analisando as perdas ocorridas pela análise de sombreamento, consolida-se o orçamento do sistema em R\$ 72.889,85, considerando os valores atuais de custos e instalação. Por fim é apresentada uma estimativa do tempo de retorno do investimento bem como o valor acumulado ao fim da vida útil do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Microgeração. Painéis Fotovoltaicos.

ABSTRACT

New sources of energy are being studied and developed worldwide. Solar energy is still the least explored source in Brazil, due to the high cost at the beginning of its application in the national scenario. However, in recent years, new means of production have been established by law, encouraging the use of solar energy through photovoltaic panels in homes and buildings. The Distributed Generation and Micro-generation of energy are the two parameters connected to the regulation that allows the user to have their energy production connected directly to the electric distribution network and to use it as a battery bank. This reduces the cost of the system and makes it attractive in the long run. This work aims to analyze the economic feasibility of applying a photovoltaic panel system in a vertical building located in the city of Joinville, as well as conduct an assessment of cost and return on investment. With the demonstrations of climatic conditions of the area of interest, the solar irradiation as one of the factors of greater relevance to the system sizing, analyzing the losses occurred by the shading analysis, the system budget is consolidated at R\$ 72.889,85, considering the current values of costs and installation. Finally, a time estimation of return of the investment is presented, as well as the accumulated value at the end of the useful life of the system.

KEYWORDS: Solar Energy. Microgeneration. Photovoltaic panels.

RESUMEN

Se están estudiando y desarrollando nuevas fuentes de energía en todo el mundo. La energía solar sigue siendo la fuente menos explotada en Brasil, debido al elevado costo al inicio de su aplicación en el escenario nacional. Sin embargo, en los últimos años, nuevos medios de producción fueron establecidos por ley, incentivando el uso de la energía solar a través de paneles fotovoltaicos en residencias y edificaciones. La generación distribuida y la microgeración de energía son los dos parámetros existentes en la reglamentación que permite al usuario tener su producción de energía conectada directamente a la red de distribución eléctrica y usarla como banco de batería. Este hecho reduce el costo del sistema y lo hace atractivo a largo plazo. Este trabajo tiene como objetivo analizar el potencial de generación de energía a través del sistema fotovoltaico para una edificación vertical en el municipio de Joinville, así como realizar una evaluación de costo y retorno de inversión. Con las demostraciones de las condiciones climáticas del área de interés, la irradiación solar como uno de los factores de mayor relevancia al dimensionamiento del sistema, analizando las pérdidas ocurridas por el análisis de sombreamento, se consolida el presupuesto del sistema en R \$ 72.889,85, considerando los valores actuales de costos e instalación. Por último, se presenta una estimación del tiempo de retorno de la inversión, así como el valor acumulado al final de la vida útil del sistema.

PALABRAS CLAVE: Energía solar. Microgeración. Paneles fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Rüter (2004), os painéis fotovoltaicos são projetados para serem aplicados em ambientes externos, e com isso, resistir aos diversos agentes climáticos. Neste âmbito, o uso de painéis em edificações verticais torna-se adequado, podendo ter dupla função: geração de energia e acabamento arquitetônico, quando aplicado em fachadas.

Situado no hemisfério sul, o território brasileiro é favorecido em relação à localização no que tange os níveis de irradiação solar, que são superiores aos encontrados nos países europeus e asiáticos. A região Nordeste possui os maiores níveis de irradiação solar do país, enquanto que o Sul apresenta elevados níveis durante o verão, quando ocorrem os períodos de estiagem (MONTENEGRO, 2013).

De acordo o potencial energético presente no país, e em busca de soluções de geração de energias renováveis, o presente artigo tem como objetivo analisar o potencial de geração de energia através do sistema fotovoltaico para uma edificação vertical no município de Joinville, demonstrando as etapas de implantação do sistema solar fotovoltaico, propondo o dimensionamento das placas fotovoltaicas utilizando um software específico e por fim realizando uma análise a viabilidade econômica considerando o retorno do investimento e tempo de vida útil do sistema.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é gerada a partir de células solares que captam a incidência solar, convertendo esta energia solar diretamente em eletricidade, através do efeito fotovoltaico (BRAGA, 2008). O efeito fotovoltaico provém do potencial de conversão de energia solar em energia elétrica. A incidência de radiação solar sobre o planeta é favorável para a aplicabilidade de sistemas de energia solar fotovoltaica. O processo de geração de energia é silencioso, possui um nível baixo de poluição e é renovável. Com isso, o sistema fotovoltaico é visto como uma solução sustentável de grande importância para o desenvolvimento de energias renováveis limpas (RÜTHER, 2004).

Segundo a NBR 10899 da ABNT, os componentes que podem constituir um sistema fotovoltaico são: “inversores, controladores de carga, dispositivos para controle, supervisão e proteção, armazenamento de energia elétrica, fiação, fundação e estrutura de suporte”.

Outra característica de suma importância para um sistema solar fotovoltaico é a orientação e localização dos painéis. Para obter a máxima eficiência e o sistema ser considerado adequado, o mesmo deve estar voltado para o norte geográfico e de acordo com a latitude local, pois a incidência solar sob as placas é maior nessas condições (RÜTHER, 2004).

Entretanto, alguns fatores podem influenciar na geração da energia solar e prejudicar os níveis de eficiência. O sombreamento parcial das placas gera uma considerável perda de rendimento e por isso deve ser evitado. Além disso, intempéries climáticas podem criar uma camada de pó

e sujeira sob a placa, afetando também no rendimento e por isso limpezas periódicas devem ser realizadas.

2.1. Sistemas Fotovoltaicos (FV)

Os sistemas fotovoltaicos podem atuar de duas maneiras, sendo isolados ou conectados direto à rede. De acordo com Rüter (2004), os sistemas isolados têm como característica não serem conectados a rede pública de energia. Estes operam com o auxílio de um banco de baterias para o armazenamento da energia gerada em excesso, visto que a maior parcela de geração ocorre enquanto os raios solares incidem sobre os painéis e o maior tempo de utilização ocorre no período noturno. Por isto, se faz necessário o armazenamento da energia gerada para o uso posterior. Contudo, o problema desse sistema é que o mesmo necessita de um amplo espaço para ser alocado, em muitos casos não sendo adequado para residências e edificações verticais. Os sistemas FV conectados direto a rede tem como característica dispensar o uso do banco de baterias para o armazenamento da energia gerada, utilizando diretamente a rede pública de energia para armazenamento, que recebe a energia gerada e converte em crédito para o consumidor. Com isso, o uso deste sistema tornou-se mais atrativo economicamente para aplicações residenciais e em edificações, pois não se faz necessário uma grande área externa para aplicação do banco de baterias e também pelo alto custo que esses produtos de estocagem representavam no sistema.

De acordo com Rüter (2004), o uso de painéis fotovoltaicos em edificações verticais tem se tornado cada vez mais executável. Isso devido ao avanço tecnológico no desenvolvimento de novos materiais e características dos painéis fotovoltaicos. Dentre as variações existentes, os painéis flexíveis têm sido muito aplicados em edificações verticais devido a possuir função arquitetônica, sendo utilizados para acabamento e revestimento, além da característica principal de geração de energia.

3. ANÁLISE DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO LOCAL

O local definido para o estudo está situado no município de Joinville no estado de Santa Catarina. A edificação trata-se de um edifício residencial localizado na região centro-norte da cidade. O nível de irradiação solar é um parâmetro essencial na aprovação de uma área para implantação de um sistema fotovoltaico. Em razão disso, foi realizado um estudo referente à região de interesse, considerando as variáveis relevantes para um melhor aproveitamento da irradiação solar. Para atingir o maior potencial de irradiação é necessário que o sistema se encontre voltado para a Linha do Equador, nesse caso, para o norte geográfico em países do hemisfério sul, e inclinado de acordo com a inclinação local (RÜTHER, 2004).

Para determinar o nível de irradiação solar foram utilizados os dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB) (2016), através do software SunData. O

software gerou um resultado referente a regiões próximas de Joinville, porém o resultado considerado para estudo foi do município de São Francisco do Sul que possui uma latitude de 26°14'36", valor mais próximo ao encontrado em Joinville, 26°17'10" conforme o Google Maps (2016), sendo este adotado como parâmetro de cálculo no dimensionamento do sistema. As médias mensais mais altas estão entre as latitudes 22° e 26°, sendo a diferença entre ambas um valor inferior a 1%. Com isso, para os futuros dimensionamentos serão adotadas as médias relativas a 26°, latitude local do município de Joinville, conforme recomenda Ruther (2004).

No pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico devem ser analisados fatores como: área disponível para aplicação dos painéis, altura da edificação, dados de consumo energético mensal e localização geográfica. Estes são os dados de maior relevância que possibilitam avaliar a viabilidade de aplicação do sistema.

O objeto de estudo do presente artigo refere-se ao Residencial Palazzo Brunello, sendo assim, a primeira etapa foi coletar informações desta edificação, que estão dispostas da seguinte forma: Edifício residencial contendo 27 unidades; 5 pavimentos tipo com 5 unidades em cada; 1 pavimento cobertura com 2 unidades; 1 pavimento mezanino contendo garagens, academia, brinquedoteca, lan house, sauna, salão de festa; e altura da edificação em relação ao nível da rua de 51,715m

O consumo energético da unidade consumidora é o fator determinante na escolha da quantidade de placas, pois é este quem definirá o tamanho do sistema. Usualmente, nesta etapa coletam-se informações através de faturas de energia da unidade consumidora. Com os dados da fatura, é realizada uma média anual dos consumos mensais obtendo um valor de referência para dimensionar o sistema. Entretanto, para o presente trabalho não foi possível realizar o procedimento desta maneira, visto que o Residencial encontra-se em fase de construção e, portanto ainda não possui fatura de consumo energético. Para isto, a solução foi estimar os consumos através de um levantamento de equipamentos elétricos que serão colocados nas áreas comuns da edificação, visto que este estudo pretende aplicar um sistema capaz de suprimir a demanda de consumo apenas do condomínio, não considerando o consumo individual de cada apartamento.

Para obter dados referenciais para estimativa, foi utilizado o consumo energético de uma edificação com características semelhantes ao objeto de estudo, em relação à quantidade de apartamentos e áreas comuns. Através da fatura de consumo do Edifício American Garden, realizou-se a média dos consumos mensais durante 1 ano, chegando a um valor de consumo referencial de 1102 KWh.

O próximo passo foi realizar uma média entre os dois valores estimados, o consumo de 1372,19 estimado para o Residencial Palazzo Brunello e 1102 para o Edifício American Garden, buscando obter um valor mais próximo da realidade. O resultado obtido foi um consumo de 1240 KWh por mês, sendo este o adotado como critério de cálculo para os futuros dimensionamentos do sistema.

O estudo do sombreamento é outro fator fundamental no pré-dimensionamento de um sistema, visto que em muitas situações pode inviabilizar o projeto. O desejável é, sempre que possível, evitar qualquer tipo de sombreamento sobre os painéis, pois tal situação representa uma redução de geração de energia, acarretando em uma perda na eficiência do sistema.

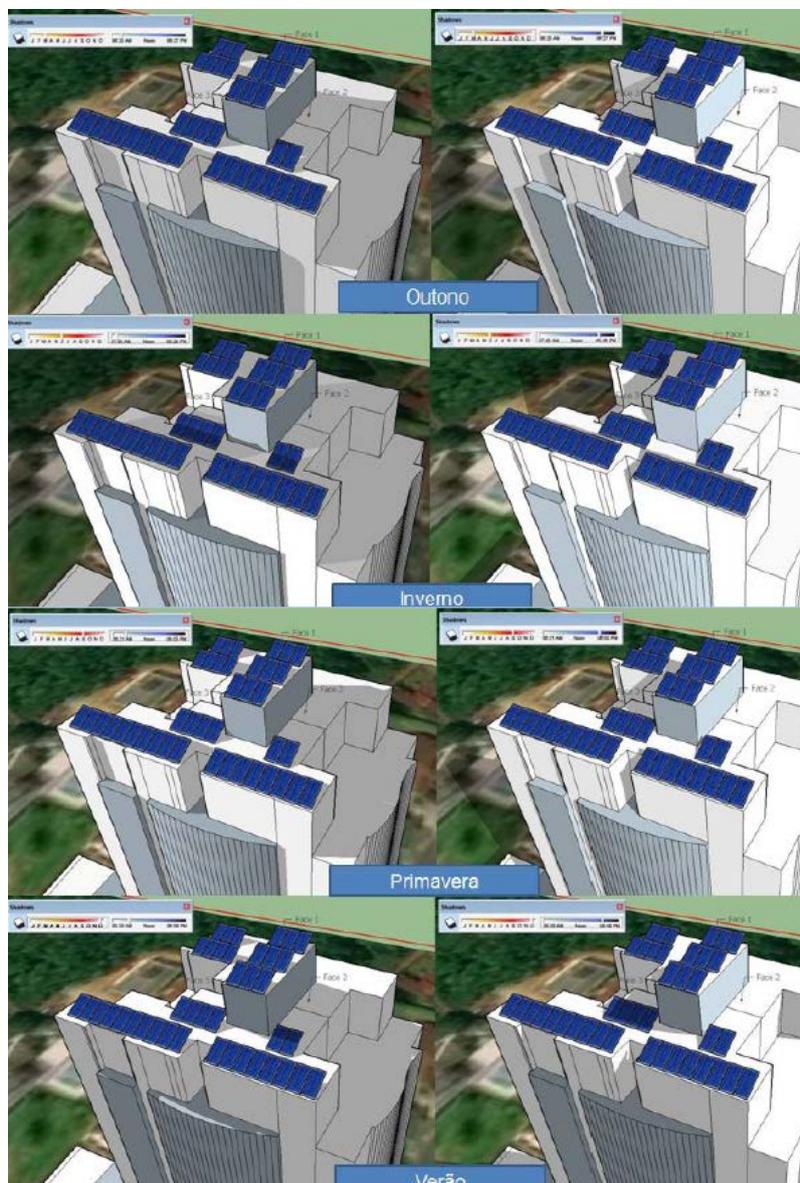
No quesito sombreamento é importante definir os termos arranjo, string e MPPT. O primeiro se refere à disposição dos painéis conectados ao inversor, e neste caso podem estar conectados em série ou em paralelo. Quando há painéis conectados em uma série, pode-se dizer que o sistema possui uma string e, quando estão conectados em paralelo, significa dizer que o sistema terá mais de uma string. Em relação ao termo MPPT, significa o Rastreamento do Ponto de Máxima Potência, presente nos inversores sendo os responsáveis por converter a energia solar em energia elétrica.

Os termos citados tem relevância no fenômeno de sombreamento, pois quando há sombreamento sobre uma placa, todas as outras conectadas a mesma string tem perda de rendimento. Nesta situação, é que atua a MPPT, buscando encontrar o ponto de máxima potência presente na string e utilizar este como parâmetro de conversão, embora ainda seja afetado pelo sombreamento existente, tendo rendimento inferior a um sistema sem sombreamento.

No caso aplicado, optou-se por alocar os painéis no telhado da edificação por razão de área disponível e menor probabilidade de sombreamento. Para simular a aplicação do sistema foi utilizado o software SketchUp, que permite a modelagem tridimensional do projeto a ser realizado nas coordenadas geográficas de projeto, utilizando a base de dados Google Maps.

Além disso, o software possui extensões no âmbito da energia fotovoltaica. Para este projeto foi utilizada a extensão Skeillon (2016) que permitiu inserir os painéis na área de interesse, de acordo com as características de tamanho, modelo e marca do painel, além da orientação e inclinação dos mesmos. Em relação à avaliação do sombreamento, o software permite simular o caminho do sol em todas as horas do dia e meses ano. No presente estudo, foi simulado o sombreamento nas 4 estações do ano, conforme a figura 2 seguinte.

Figura 2 - Simulação de sombreamento da área durante as estações do ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme a figura apresentada é possível analisar o sombreamento sobre os painéis. Verifica-se que independente da estação do ano, a maior parcela de módulos não possui sombreamento parcial, tornando assim o sistema adequado.

Outra função da extensão Skeilon é simular as perdas geradas por sombreamento e gerar um relatório com os resultados, além de um gráfico do caminho percorrido pelo sol.

O gráfico gerado apresentou um maior período de incidência solar durante as 10h e 15h, na estação verão. Durante o inverno a incidência é menor, resultando em menor potencial de geração de energia.. O valor de perda global é de 0,62% e com isso confirma a viabilidade energética do sistema. Estes valores serão compreendidos melhor nas etapas seguintes.

4. PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Após a obtenção dos dados obtidos da seção anterior, é necessário detalhar os locais de aplicação do sistema com valores de cotas reais, bem como apresentar os espaçamentos e detalhes da estrutura de sustentação do mesmo.

No caso do Residencial Palazzo Brunello, foi realizada uma consulta diretamente com a construtora iHome Incorporadora, que informou os dados necessários para prosseguir nesta etapa, referente ao telhado do topo do edifício, que por projeto tem característica duas águas, com inclinação de 10°. Entretanto, visando favorecer o sistema fotovoltaico, será permitida a alteração da inclinação e direção do telhado, se necessário.

Tendo em vista os parâmetros apresentados e a fim de maximizar o espaço disponível para alocação dos módulos fotovoltaicos, de acordo com as tecnologias existentes, definiu-se o emprego do silício policristalino. Esta opção atende consideravelmente as premissas do projeto, que sugerem um sistema com alta eficiência e com maior tempo de vida útil.

Devido a disponibilidade no mercado nacional e o reconhecimento da marca pela ANEEL, optou-se pelos painéis produzidos pela Canadian Solar. As características de operação e eficiência dos painéis escolhidos é Canadian Solar CS6X - 310 P, sendo a potência nominal do mesmo de 310W. Considerando os dados explicitados anteriormente, nessa etapa deve-se escolher o inversor que será utilizado para cada arranjo. As tecnologias utilizadas nesta pesquisa são inversores da marca Fronius Solar (2017) e ABB (2017).

Optou-se por simular sistemas utilizando as duas marcas, para que ao final possa compará-las, em questão de custo e eficiência, e definir a opção mais adequada.

4.1 Definição do arranjo utilizando um inversor Fronius Solar

A marca Fronius Solar oferece uma tecnologia de monitoramento da geração de energia através de aplicativo para computadores e smartphones. No site da Fronius é possível simular arranjos ideais para os dados de entrada de interesse. Nesse caso, os valores e características da marca do painel, inversor e potência anual consumida em KWh da unidade, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 - Parâmetros de cálculo para arranjo ideal do sistema.

PV MODULE		INVERTER		GENERAL	
PV module manufacturer Canadian Solar Inc.		Country Brazil		Project name 2017-05-14_2105	
Model CS6X-310P		Series IG Plus		Storage Without	
Number of PV modules 40 12,400 W		Type IG Plus 150 V-3		Annual power consumption (kWh) 1240	
Module temperature (min. - max. / °C) -10 70		Inverter ratio (min. - max. / %) 80 120		Load profile Employed	

Fonte: Fronius Solar.web (2017).

O sistema obtido como resultado é composto por somente um inversor com potência de 150V, IG Plus 150V, com um arranjo de 4 strings. Sendo que 10 módulos são conectados a cada string, totalizando o sistema de 40 módulos.

4.2 Definição do arranjo utilizando um inversor ABB

A marca ABB também possui um site que permite a simulação da melhor condição de arranjo e indicação do modelo do inversor ideal para o sistema. Visto isso, o resultado para um sistema, adotando os mesmos dados de entrada utilizados no simulador Fronius, com maior eficiência é quando se utilizam 4 strings com 10 módulos conectadas a cada string, totalizando 40 placas fotovoltaicas. Nesse sistema é sugerido somente o inversor ABB PVI 10.0/12.5 - TL.

Coincidentemente o número de strings para os 40 módulos é o mesmo obtido na simulação realizada com a marca Fronius, todavia uma das diferenças expressivas entre os dois modelos é o número de MPPT, que no inversor Fronius utiliza-se apenas uma MPPT e no inversor ABB são necessárias duas MPPT. O termo MPPT (Maximum Power Point Tracking), conforme afirma Sousa (2016), refere-se à um equipamento que opera no sentido de avaliar a potência de saída do módulo e estabelece a máxima corrente possível, dessa forma, melhorando a eficiência do sistema. Sousa (2016) ainda afirma que o número de MPPT tem grande influência sobre o rendimento do sistema, pois quanto maior o número de MPPT presente, mais fácil é o rastreamento do ponto de maior potência para os strings, sendo assim, apresenta vantagens em relação a sistemas com somente uma MPPT.

4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico utilizando PVsyst

O PVSyst (2016) é um software desenvolvido para simulações de sistemas fotovoltaicos. Devido à sua grande base de dados e confiabilidade dos resultados, é um software utilizado mundialmente por empresas que trabalham no âmbito da energia solar. Um dos diferenciais do

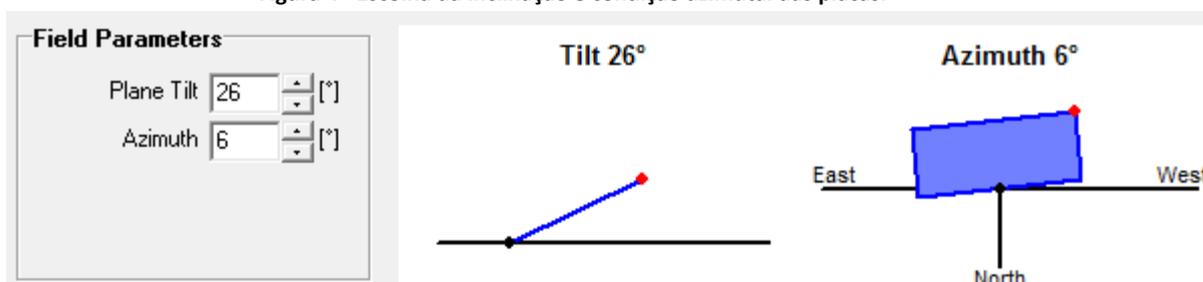
software é a possibilidade inserir os dados relativos ao sistema de interesse, e obter relatórios com gráficos e tabelas informando os resultados. Algumas das características do software são:

- Possibilidade de simular as perdas do sistema por sombreamento;
- Obter um gráfico do caminho percorrido pelo sol em diferentes períodos do ano, através dos dados de irradiação;
- Simular o rendimento de módulos, inversores e arranjos escolhidos;

No decorrer deste capítulo serão apresentadas imagens de ações e resultados obtidos na interface PVsyst, cabe ressaltar que as etapas aqui apresentadas utilizando o inversor Fronius serão as mesmas utilizadas para o inversor ABB, sendo que no final da simulação será realizada uma comparação dos resultados obtidos com cada equipamento.

Com isso, inicialmente é necessário informar os dados climáticos do local de aplicação do sistema contendo as irradiações anuais presentes no município. Para esta pesquisa, foram inseridos os dados de Joinville. Posteriormente devem ser inseridos os dados referentes à disposição dos módulos, no que diz respeito à condição azimutal e inclinação, conforme a figura 4.

Figura 4 - Escolha da inclinação e condição azimutal das placas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Portanto na opção Plane Tilt, deve ser informado o valor de inclinação do módulo, nesse caso 26°, conforme explicado no capítulo anterior, e na opção Azimuth deve-se inserir o valor relativo ao azimute em que se encontra o painel, sendo para esse projeto o valor de 6°, valor obtido através do relatório Sketchup. O intervalo entre 10h e 15h é o mais favorável para geração de energia fotovoltaica nos meses de setembro a março, onde ocorre a primavera e verão. Entre abril e agosto observa-se uma queda nos níveis de irradiação, sendo que junho é o mês mais representativo negativamente.

A confirmação dos resultados é obtida quando compara-se o gráfico gerado pelo PVsyst com o gráfico gerado na extensão Skeilon do software SketchUp, pois os valores de saída são semelhantes, permitindo a confiabilidade do resultado obtido.

O próximo passo é definir os componentes do projeto. Deve-se então escolher a marca e modelo do painel e inversor utilizado, de acordo com a figura 9.

Figura 5 - Escolha do painel e inversor utilizados no sistema fotovoltaico.



Select the PV module

Available Now

Canadian Solar Inc. | 310 Wp 31V | Si-poly | CS6X - 310P MIX | Until 2017 | Manufacturer 2C

Sizing voltages : Vmpp (60°C) **31.0 V**
 Voc (-10°C) **50.0 V**

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now

Fronius International | 12 kW | 230 - 500 V HF Tr 50/60 Hz | IG Plus 150 V-3 | Since 2008

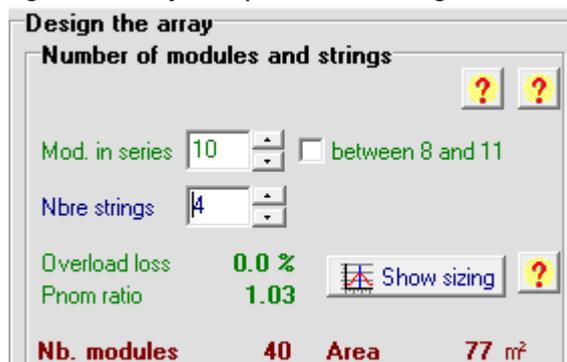
Nb. of inverters: 1 Operating Voltage: **230-500 V** Global Inverter's power: **12.0 kWac**
 Input maximum voltage: **600 V** **"String" inverter with 6 inputs**

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na figura 5, é possível visualizar os dados de entrada inseridos na interface, sendo que para o painel optou-se pela marca Canadian Solar e modelo CS6X - 310P e para o inversor utilizou-se a marca Fronius e o modelo IG PLUS 150 V.

Por fim, a última etapa é definir o arranjo que será utilizado, devendo ser informados os valores referentes à quantidade de strings e módulos conectados em cada uma, conforme a figura a seguir.

Figura 6 - Definição da quantidade de strings do sistema.



Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 10 between 8 and 11

Nbre strings: 4

Overload loss: 0.0 %
 Pnom ratio: 1.03

?

Nb. modules: 40 Area: 77 m²

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na figura 6, primeiramente é informado o número de módulos por string no espaço (Mod. in series), e posteriormente a quantidade de strings utilizada na aba (Nbre strings). Nessa etapa, um diferencial do software é possibilitar um resultado de acordo com o arranjo escolhido. Conforme a figura acima observa-se a diferença na coloração das palavras. O verde significa que o sistema está de acordo com a eficiência gerada, sendo que caso algum espaço esteja na coloração vermelha, significa que o sistema não está de acordo com os parâmetros exigidos, se tornando incompatível. No espaço (Overload loss) é informada a porcentagem de perda atingida

em conformidade com o arranjo, sendo que quanto menos compatível o arranjo for, maior será a perda na eficiência. Conforme a figura acima, os dados de entrada estão coerentes e não há perda na eficiência do arranjo. Cabe ressaltar que os dados informados para quantidade de strings e módulos foram obtidos por meio do simulador Fronius, apresentado anteriormente. Após informar os dados referentes ao arranjo fotovoltaico, o software calcula o potencial nominal de geração do sistema instalado e também as condições de operação à diferentes temperaturas, conforme a figura 7.

Figura 7 - Resultado de condições operacionais e potencial gerador do arranjo escolhido.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Seguindo as mesmas etapas descritas até o presente momento, foram realizadas simulações com o inversor ABB PVI 10.0/12.5 V, de forma que a mudança nos dados de entrada é indicada na figura 8.

Figura 8 - Alteração do inversor para a marca ABB e modelo PVI-10.0V.



Select the PV module

Available Now

Canadian Solar Inc. 310 Wp 31V Si-poly CSE&X - 310P MIX Until 2017 Manufacturer 2C Open

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 31.0 V
 Voc (-10°C) 50.0 V

Use Optimizer

Select the inverter

Available Now 50 Hz 60 Hz

ABB 10 kW 175 - 850 V TL 50 Hz PVI-10.0-TL-OUTD Since 2008 Open

Nb of MPPT inputs 2 Operating Voltage: 175-850 V Global Inverter's power 10.0 kWac
 Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 900 V Inverter with 2 MPPT

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Na figura 8 é possível observar também a alteração no número de MPPT do sistema, o que neste caso altera alguns fatores na representação e operação do sistema. No caso de representação o diagrama unifilar é alterado e no quesito operacional, conforme citado anteriormente, as duas MPPT favorecem o sistema, pois o rastreamento do ponto de máxima corrente é facilitado. Ao final da simulação o software gera um relatório completo das características do sistema como um todo, informando o potencial de geração de acordo com a base de dados fornecida e as perdas geradas do equipamento conforme o arranjo. Em vista disso, na tabela seguinte são apresentados os resultados obtidos para os dois inversores considerando diferentes inclinações, de maneira a estabelecer a melhor condição no que se refere à eficiência do sistema.

Tabela 1 - Produção do sistema devido à inclinação dos módulos.

Inclinação do módulo	Quantidade de módulos	Strings	Módulos/String	Produção (MWh)/ano	
				Fronius	ABB
0°	40	4	10	15,32	15,58
10°	40	4	10	15,97	16,24
15°	40	4	10	16,17	16,45
20°	40	4	10	16,28	16,56
26°	40	4	10	16,3	16,58

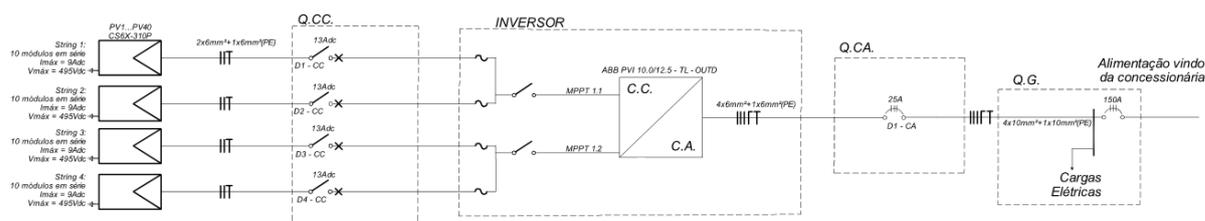
Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Conforme a tabela 1, constata-se que na inclinação equivalente a latitude local, no caso do município de Joinville de 26°, atinge-se o maior potencial de geração, sendo portanto a mais indicada para o sistema. O sistema mais eficiente utilizou o inversor ABB, devido a maior geração de energia e também ao número de MPPT presente no arranjo. Com isso define-se o inversor ABB como sendo o mais adequado para este projeto.

Nos valores informados na tabela 2 ainda não foram consideradas as perdas por sombreamento. Para isto, utilizou-se o relatório obtido através da extensão Skeilon, resultando no valor de produção de 16,48 MWh/ano, considerando a perda de 0,62% por sombreamento.

Por fim, é necessário representar o arranjo fotovoltaico esquematicamente, nesse caso, apresentar um digrama unifilar do projeto (figura 9).

Figura 9 - Diagrama Unifilar.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

5. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO E TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

A etapa do estudo de viabilidade econômica do projeto é realizada de acordo com o levantamento de todos os equipamentos necessários para implantação do sistema, sendo eles os disjuntores, módulos, inversores, conectores, cabeamento, entre outros elementos que compõem o sistema; realizando um orçamento para obter o custo final do projeto.

Esta etapa do projeto foi realizada considerando os dados fornecidos pela Ecoa Energias Renováveis, empresa localizada no município de Joinville, que trabalha no âmbito de energias renováveis, com enfoque nas energias fotovoltaica e eólica.

O valor final do sistema é de R\$ 72.889,85. Neste valor estão contidas todas as despesas relacionadas ao projeto e aplicação do sistema, bem como da ligação do mesmo ao órgão responsável do município. Na análise do tempo de retorno de investimento (payback) são utilizadas as variáveis de Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). O valor presente líquido é uma variável que tem como objetivo fornecer um dado de ganho monetário que seria obtido através de um investimento realizado a determinada taxa de juros. A vantagem do método é capacidade de apresentar o quanto o projeto será lucrativo para a empresa (OLIVEIRA, 2008).

A taxa interna de retorno é aquela que torna o valor presente líquido de projeto um valor igual a zero, assim sendo, é uma taxa de desconto que iguala o valor presente de receita com o valor presente de desembolsos (OLIVEIRA, 2008). Com isso é possível obter o tempo de retorno de investimento e ainda prever o ganho final no ano de interesse.

Para o cálculo do payback, foram consideradas variáveis em relação ao reajuste das tarifas da CELESC, e para isto foi necessário identificar o subgrupo em que a unidade consumidora está especificada. Neste caso a unidade é classificada no subgrupo A4, pois se trata de um condomínio.

Conforme os cálculos anteriores, tendo um investimento de R\$ 72.889,85, estimou-se que em 25 anos de fluxo de caixa acumulado, gera uma economia à unidade consumidora de R\$ 1.927.768,38. Em aplicações puramente financeiras, para se atingir as mesmas economias neste período, seria necessário um investimento hoje de R\$ 789.740,38. Logo nota-se um benefício no investimento no sistema fotovoltaico, haja vista a redução no investimento inicial.

Além da vantagem econômica do sistema, é relevante citar a importância ambiental do mesmo, pois devido à geração de energia renovável do sistema é possível chegar a valores equivalentes a 156 árvores plantadas, 1,64 toneladas de carbono não emitidas e 52.576 quilômetros rodados a menos, ambos relativos a um ano, conforme estimado pela Ecoa Energias Renováveis (2017).

6. CONCLUSÕES

O território nacional possui um grande potencial energético em relação a fontes renováveis e limpas. Destaca-se neste âmbito a energia fotovoltaica devido aos altos níveis de irradiação presentes no Brasil. Um dos objetivos deste trabalho foi, portanto, apresentar uma alternativa de aproveitar esse potencial energético consolidando o interesse de viabilidade econômica e sustentabilidade do ponto de vista ambiental.

Para isto, inicialmente foram realizados estudos referentes aos níveis de irradiação no município de Joinville, sendo estes a base para o dimensionamento do projeto. Além disso, definiu-se a área adequada para o melhor aproveitamento das placas fotovoltaicas, considerando o seu posicionamento e as perdas por sombreamento.

O dimensionamento do sistema foi realizado conforme as condicionantes do projeto, auxiliado pelo software PVSyst para simular o potencial de geração, dado o arranjo do sistema.

Para o estudo de viabilidade econômica do projeto, a base de dados foi fornecida pela Ecoa Energias Renováveis, visando obter um orçamento com valores próximos à realidade do município. Com isso, foi comprovada a viabilidade econômica do sistema, visto que o tempo de retorno de investimento (payback) foi de 5 anos e 3 meses. O sistema foi considerado um investimento significativamente vantajoso, quando comparado a investimentos em aplicações bancárias.

Além de economicamente viável o sistema apresentado nesse trabalho suscita e instiga a mudança em relação ao senso sustentável brasileiro, para promover o desenvolvimento e comprovação de utilização de fontes renováveis de energia por meio de placas fotovoltaicas.

Portanto, esse trabalho encerra afirmando a viabilidade econômica e sustentável do sistema fotovoltaico aplicado ao Residencial Palazzo Brunello, comprovando o potencial energético do país, mesmo na região com menores níveis de irradiação solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ABB. **ABB PVI-10.0/12.5**. 2017. Folha de dados do fabricante. Disponível em: <<http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=BCD.00378&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Lau>>. Acesso em: 28 mai. 2017.

ABB SIZING TOOL. **String Sizer ABB**. 2017. Disponível em: <<http://stringsizer.abb.com/>>. Acesso em: 28 mai. 2017.

ABNT. **Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia**. 2013. NBR 10899.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Resolução Normativa N°482, de 17/04/2012**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. 2008. Monografia – Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

CANADIAN SOLAR. **MAXPOWER CS6X-310/315/320/325 P**. 2017. Folha de dados do fabricante. Disponível em: <http://www.tehnosat.ro/pdf/PVmodules/CS6XP_Maxpower-310-320.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2017.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO (CRESESB). **Potencial Solar - Sundata**. 2016. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 15 out. 2016.

FRONIUS SOLAR. **Fronius IG Plus 150 V-3**. 2017. Folha de dados do fabricante. Disponível em: <http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-E2A361E5-F8EDE740/fronius_international/SE_DS_Fronius_IG_Plus_EN_156927_snapshot.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2017.

FRONIUS SOLAR.WEB. **Fronius Solar Configurator**. 2017. Disponível em: <<https://www.solarweb.com/>>. Acesso em: 28 mai. 2017.

GOOGLE MAPS. 2016. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

MONTENEGRO, A. A. **Avaliação do retorno do investimento em sistemas fotovoltaicos integrados a residências unifamiliares urbanas no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

OLIVEIRA, M. H. F. **A avaliação econômico-financeira de investimentos sob condição de incerteza: uma comparação entre o método de Monte Carlo e o VPL Fuzzy**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Produção – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PANATA, L. H. **Estudo da viabilidade financeira para a instalação de uma unidade de microgeração fotovoltaica no Shopping Center Iguatemi Florianópolis**. 2015. Monografia – Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PVSYST. **PVSYST v 6.62**. 2016. Disponível em: <<http://www.pvsyst.com/en/software/download>>. Acesso em: 10 out. 2016.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.

SKELION. **Skelionv5.2.1**. 2016. Disponível em: <<http://skelion.com/en/download.htm?v1.0.0>>. Acesso em: 10 out.



2016.

SKETCHUP. **SketchUP MAKE**. 2016. Disponível em: <<https://www.sketchup.com/download>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SOUSA, Y.R. **Estudo do rastreamento do ponto de máxima potência - MPPT - Em sistemas de geração fotovoltaica**. 2016. Monografia – Graduação em Engenharia de Energia – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.