

**ESTUDO DE CASO DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA NA UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO - PRÉDIO 5**
*PHOTOVOLTAIC POWER IMPLEMENTATION FEASIBILITY CASE STUDY IN THE SÃO
FRANCISCO UNIVERSITY - BUILDING 5*

Jean Cesar Simões¹

Raian Oliveira Silva¹

Luiz Carlos de Freitas Júnior²

Universidade São Francisco – *Campus Itatiba*

jean.cesarsimes@gmail.com | raian_os@hotmail.com | luiz.junior@usf.edu.br

¹Alunos do Curso de Engenharia Elétrica

² Professor Orientador

RESUMO. Este artigo apresenta o estudo de caso de viabilidade de implementação de energia fotovoltaica na Universidade São Francisco, com ênfase no prédio de número 5. O escrito se inicia com a apresentação de conceitos referentes à geração de energia elétrica através da energia solar. Após isso, foram descritos os principais componentes que formam um sistema fotovoltaico como painéis solares e inversores, a própria configuração a ser utilizada que foi o sistema conectado à rede, além da apresentação de normas, regulamentações e o modelo de crédito de energia para um sistema fotovoltaico. Posteriormente a essa análise teórica, é apresentada a metodologia empregada na realização deste estudo, desde o levantamento de dados do local até a análise de viabilidade de implantação. Na sequência, é descrito o estudo e apresentada a análise do consumo diário do local, levando em consideração duas situações, em que foi realizado o dimensionamento do mesmo, apresentando a quantidade necessária de painéis solares e demais componentes para possível instalação do sistema. Concluídas todas essas etapas citadas são apresentados os impactos técnicos e de custo de ambas situações, realizando o tempo de retorno do capital investido e a economia gerada ao longo dos anos verificando a viabilidade do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, Sistemas Fotovoltaicos *ON GRID*, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT. This article presents the case study of the feasibility of implementing photovoltaic energy at the University of São Francisco, with emphasis on building number 5. The paper begins with the presentation of concepts regarding the generation of electricity through solar energy. After that, it was described the main components that make up a photovoltaic system such as solar panels and inverters, the very configuration to be used that was the grid connected system, besides the presentation of rules, regulations and the energy credit model for a system photovoltaic. Subsequent to this theoretical analysis, the methodology employed in this study is presented, from site data survey to feasibility analysis. Following, the study is described and the analysis of the daily consumption of the site is presented, presenting two situations, where the sizing was performed presenting the necessary amount of solar panels and other components for possible installation of the system. When all these steps are concluded, the technical and cost impacts of both situations are presented, perform the return time of the invested capital and the savings generated over the years, verifying its viability.

KEYWORDS: Solar Energy, Grid-connected Photovoltaic Power System, Economic Viability.

INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos, as fontes de energias renováveis são constantemente estudadas e aprimoradas, com o intuito de se obter o máximo aproveitamento de energia de uma forma alternativa aliada à redução de impactos ambientais e com caráter significativo de sustentabilidade. Diante disso, a conversão de energia solar em energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos é vista como uma das alternativas mais promissoras.

Devido ao constante aumento do consumo de energia elétrica e do preço praticado pelas concessionárias, a proposta deste artigo é mostrar o estudo de uma alternativa para um dos prédios da Universidade São Francisco - USF, com a possível viabilidade da instalação de energia fotovoltaica e o tempo de retorno do investimento. A análise realizada visa apontar o melhor custo *versus* benefício, com base na estimativa de consumo elétrico do local.

Nesse sentido, o objetivo principal é apresentar o estudo realizado sobre a viabilidade, técnica e econômica, buscando uma economia no consumo de energia da USF, além de fortalecer o conhecimento sobre os sistemas fotovoltaicos, seus requisitos, seu funcionamento, os componentes do sistema, as normas técnicas exigidas e as regulamentações técnicas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Energia Solar

O Sol é considerado cientificamente um recurso finito, porém como será possível aproveitar sua energia durante cerca de 8 bilhões de anos, para a humanidade esse tempo é suficiente para considerá-lo inesgotável (VILLALVA, 2015). A energia solar pode ser aproveitada de duas principais maneiras, a primeira é a energia solar térmica e a segunda a energia fotovoltaica, esta última consiste em transformar a energia solar em energia elétrica.

Atualmente o Brasil é dependente de recursos hídricos para sua geração de energia elétrica, com 65% da matriz (EPE, 2018). Um dos grandes motivos para a diminuição do uso desse tipo de geração e exploração da energia solar são os impactos ambientais que estão envolvidos na construção de uma usina hidrelétrica e também buscar diminuir a dependência hídrica e pluviométrica.

Variáveis e Conceitos

Tipos de Radiação

Antes de chegar ao solo, a radiação solar sofre diversas influências do meio, assim surgem tipos diferentes de radiações. Quando a radiação solar chega ao solo sem sofrer nenhuma influência do meio como reflexão ou espalhamento, é chamada de radiação direta. Outro tipo de radiação presente é a difusa, que são raios advindos de todas as direções que em algum momento sofreram alguma influência como espalhamento, por exemplo. A radiação difusa que atinge a superfície em dias de céu limpo é de no mínimo 20%, já em dias nublados essa porcentagem chega a 100%. Uma terceira radiação surge devido à reflexão do ambiente em sua volta, denominada de radiação refletida ou albedo. Essas radiações compõem o que é denominado de radiação global (PINHO e GALDINO, 2014).

Irradiância e Irradiação

A irradiância e irradiação são aplicadas a todos os componentes que utilizam a luz solar e seus valores dependem de variáveis como localização, condições climáticas, épocas do ano, entre outros (MESSENGER e VENTRE, 2004). A irradiância quantifica a radiação solar em

uma superfície, tratando-se de uma quantidade de potência por área, expressa por watt por metro quadrado [W/m^2]. Já a irradiação quantifica a energia solar incidente em uma determinada área de superfície plana, durante um determinado período de tempo, expressa por watt-hora por metro quadrado [Wh/m^2] (VILLALVA, 2015).

Efeito Fotovoltaico e a Célula Fotovoltaica

O elemento incumbido do funcionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica é a célula fotovoltaica, devido ao fato que o efeito fotovoltaico ocorre na mesma (TORRES, 2012). O efeito fotovoltaico é o fenômeno que ocorre quando a radiação eletromagnética do Sol incide sobre uma célula fotovoltaica, deste modo transformando energia derivada do Sol (radiação) em eletricidade (VILLALVA, 2015).

Para esse fenômeno são necessárias células compostas por duas lâminas de material semicondutor, sendo uma do tipo P (com falta de elétrons) e a outra do tipo N (com excesso de elétrons), formando uma junção PN. Os elétrons que estão em excesso na camada N são excitados quando os fótons (partículas de luz solar) colidem com os átomos do material do painel solar pela energia derivada do Sol e migram para a camada P atravessando a junção PN, ocupando os espaços vazios das lacunas e originando um campo elétrico. Assim uma barreira de potencial é criada entre as lâminas, que quando atingida pela luz solar, provoca uma diferença de potencial, provocando, dessa forma, uma circulação de corrente quando houver um caminho fechado.

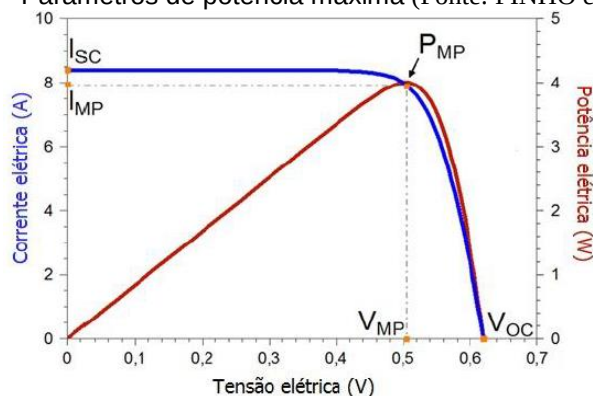
Painéis Fotovoltaicos e suas Características Elétricas

Os painéis fotovoltaicos independente do material utilizado em sua construção, são constituídos de um conjunto de células fotovoltaicas conectadas eletricamente e dispostas em uma superfície rígida ou flexível de acordo com as propriedades do material do painel. Comumente, para produzir tensões mais elevadas no circuito interno do painel, essas células são ligadas em série (VILLALVA, 2015).

Os painéis fotovoltaicos possuem diversas características elétricas que devem ser analisadas para que atenda às necessidades desejadas (CRESESB, 2008). Essas características são potência de pico (Wp), potência máxima (P_m), tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente de curto circuito (I_{sc}), tensão de potência máxima (V_{mp}) e corrente de potência máxima (I_{mp}).

Para a obtenção das curvas características dos painéis, são estabelecidas algumas condições padrões, como a condição da irradiância máxima de 1000 W/m^2 , a temperatura na célula em torno dos 25°C e a massa de ar (AM) = 1,5. Sob essas condições são traçadas curvas características do painel. A Figura 1 mostra a curva I-V sobreposta a curva P-V (TORRES, 2012).

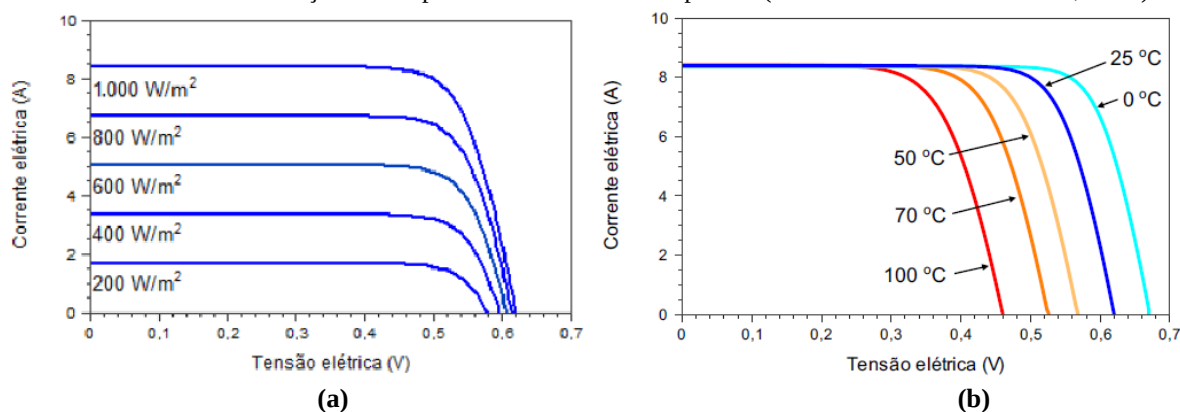
Figura 1 – Parâmetros de potência máxima (Fonte: PINHO e GALDINO, 2014).



Fatores que afetam as características elétricas dos painéis fotovoltaicos (Intensidade Luminosa e Temperatura das Células)

Com o aumento da radiação que incide sobre o painel, há um aumento na potência de saída do mesmo, isso devido à corrente que é gerada que aumenta linearmente conforme o aumento da intensidade luminosa. Deste modo, o painel deve ser posicionado em um ângulo em que ele possa receber o máximo de radiação solar possível, assim aumentando sua eficiência. (TORRES, 2012). A Figura 2(a) demonstra esse efeito.

Figura 2 – (a) Efeito sob a curva I-V devido a variação da radiação solar sobre o painel. (b) Efeito na curva I-V devido a variação da temperatura ambiente sob o painel. (Fonte: PINHO e GALDINO, 2014).



A variação de temperatura das células, que compõem os painéis fotovoltaicos, depende de dois fatores, sendo eles o grau de radiação solar e a temperatura ambiente. Com o aumento da temperatura na célula há uma queda considerável na tensão, ao mesmo tempo em que há um aumento desprezível da corrente (TORRES, 2012). A Figura 2(b) mostra curvas de I-V para algumas temperaturas nas células.

Conexão dos Painéis Fotovoltaicos (Série e Paralelo)

Para a realização da ligação dos painéis em série, é necessário conectar o terminal positivo de um painel ao terminal negativo de outro painel e assim por diante (PINHO e GALDINO, 2014).

De forma semelhante a circuitos elétricos, em um circuito série as tensões são somadas entre os módulos e a corrente permanece a mesma (para módulos de características iguais), como mostrado nas equações 1 e 2:

$$V = V1 + V2 + \dots + Vn \quad (1)$$

$$I = I1 = I2 = \dots = In \quad (2)$$

Em que:

V - Tensão da associação de painéis em volt [V];

V1, V2, ... - Tensões nos terminais de cada painel em volt [V];

I - Corrente de saída da associação de painéis em ampère [A];

I1, I2, ... - Correntes gerada em cada painel em ampère [A].

A associação em série é feita para-se atingir a tensão mínima de *start-up* do inversor e também, não ultrapassar a tensão máxima suportada na entrada do inversor levando em conta os devidos cuidados de tensão de circuito aberto dos painéis conectados.

Para a realização da ligação dos painéis em paralelo é necessário conectar todos os terminais positivos dos painéis entre si e da mesma maneira para os terminais negativos. De

forma semelhante a circuito elétricos, em um circuito paralelo a tensão é a mesma e as correntes são somadas entre os módulos, como mostrado nas equações 3 e 4:

$$V = V1 = V2 = \dots = Vn \quad (3)$$

$$I = I1 + I2 + \dots + In \quad (4)$$

Em que:

V - Tensão da associação de painéis em volt [V];

V1, V2, ... - Tensões nos terminais de cada painel em volt [V];

I - Corrente de saída da associação de painéis em ampére [A];

I1, I2, ... - Correntes gerada em cada painel em ampére [A].

A ligação em paralelo é utilizada para se atingir a corrente e potência desejada no inversor, depois de calculados os painéis em série, calcula-se quantas dessas associações podem ser ligadas em paralelo para se atingir a potência do inversor e também não atingir a corrente máxima do canal de entrada do inversor. Calculadas essas duas etapas descobre-se então a malha de painéis necessárias para cada inversor e como serão conectadas entre si.

Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três classes gerais segundo Cresesb (CRESESB, 2008), sendo eles: sistemas isolados (*off-grid*), sistemas conectados à rede elétrica (*on-grid*) e sistemas híbridos. O uso de cada um desses modelos irá depender dos recursos energéticos disponíveis e sua aplicação.

Sistema conectados à rede elétrica (On-Grid)

São sistemas que operam em paralelo com a rede elétrica com o principal objetivo de gerar energia elétrica para o próprio consumo e com a possibilidade de vender essa energia caso houver excedente. Basicamente, o sistema é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos, um inversor e quadros de proteções (CA e CC) conectados entre o inversor. Para a geração excedente, é necessário a substituição do medidor de energia convencional por um medidor bidirecional (VILLALVA, 2015).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), os sistemas integrados à rede elétrica podem ser divididos em três categorias sendo elas, Microgeração (com potência instalada até 75 kW), Minigeração (com potência instalada de 75 kW até 5 MW) e Usinas de geração (com potência instalada que ultrapassam 5MW).

Inversores (*Off-Grid*) e (*On-Grid*)

No sistema fotovoltaico, o inversor é o componente responsável pela conversão da tensão contínua, obtida dos painéis fotovoltaicos, para tensão alternada usada nos equipamentos. Esse equipamento deve ser adequadamente dimensionado observando-se se o funcionamento do sistema será no modo *on-grid*, ou no modo *off-grid*. Há diferenças importantes que precisam ser levadas em conta no momento do dimensionamento e escolha do inversor porque, segundo Pinho (PINHO e GALDINO, 2014) em um sistema *off-grid*, a tensão C.A. tem que possuir níveis adequados de amplitude em frequência apenas para atender a carga do sistema isolado. Já em um sistema *on-grid*, a tensão de saída do inversor tem de estar seguindo corretamente os padrões exigidos da concessionária, pois esse sinal tem de estar sincronizado com o sinal da rede externa.

Inversores projetados para trabalhar em sistemas *off-grid* são do tipo inversor de onda quadrada e de onda modificada. Para o sistema *on-grid*, é utilizado o inversor modulador por largura de pulsos, que consegue produzir uma senoide semelhante à da rede devido ao seu controle por *PWM*. Seu funcionamento é projetado para ter um valor dependente no tempo que pode assumir qualquer forma de onda em qualquer frequência e amplitude. Com essas qualidades, pode-se ter um sinal senoidal com frequência e amplitude semelhante à da rede, podendo assim, ser conectado à rede no modo *on-grid* (MESSENGER e VENTRE, 2005).

Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Consumo Energético

O consumo energético pode ser determinado a partir do consumo em quilowatt hora (kWh) mensal, que vem descrito na conta de energia elétrica, mas é necessário realizar uma média anual do mesmo. Outra maneira existente é pela soma dos consumos de cada equipamento no mês, sendo necessário listá-los com informações de potência elétrica dada em watt (W), o tempo de funcionamento diário em quilowatt hora (kWh) e a quantidade de dias de utilização. A especificação de potência dos equipamentos, podem ser obtidas através de dados fornecidos pelo próprio fabricante, na ausência dos mesmos, podem ser consultadas tabelas com valores padrão fornecidas por órgãos como o Cepel e Inmetro. A Equação 5 relaciona as variáveis citadas anteriormente para encontrar o consumo médio (PINHO e GALDINO, 2014):

$$Cm = \frac{Pe * Nd * Dm}{1000} \quad (5)$$

Em que:

Cm - Consumo médio de energia mensal, dado em quilowatt-hora por mês [kWh/mês];

Pe - Potência nominal do equipamento, expressa em watt [W];

Nd - Média de horas diárias de uso do equipamento, expresso em horas por dia [h/dia];

Dm - Média de dias de uso do equipamento no mês, dado em dias por mês [dias/mês];

Potência do Gerador Fotovoltaico

O dimensionamento da potência do gerador fotovoltaico é a potência total do sistema. Para isso é necessário o consumo médio diário do local, dado em watt-hora por dia (Wh/dia), a taxa de desempenho do sistema (perdas que existem no sistema, como a temperatura ambiente, resistência dos cabos e conectores, sujeira nos painéis entre outros, em média 70% à 80%) e o recurso solar do local, ou seja, a quantidade de energia solar que deve incidir sobre o painel durante o dia em quilowatt hora por metro quadrado por dia (kWh/m²/dia). Nos consumidores grupo A, a potência do gerador fotovoltaico se limita ao valor da demanda contratada. A Equação 6 relaciona as variáveis citadas anteriormente (PINHO e GALDINO, 2014).

$$Pgf = \frac{(CMD/TD)}{HSP} \quad (6)$$

Em que:

Pgf - Potência do gerador fotovoltaico, dado em quilowatt-pico [kWp];

CMD - Consumo energético médio diário, dado em quilowatt-hora [kWh];

TD - Taxa de desempenho [adimensional];

HSP - Irradiação solar diária, dado em quilowatt hora por metro² por dia [kWh/m²/dia];

Número de Painéis Fotovoltaicos

Para o dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos, é necessário a folha de dados do painel que se pretende utilizar, onde é informado sua potência em quilowatt-pico (kWp). Para o cálculo do número de painéis necessários é utilizada a Equação 7 (SENAI, 2016):

$$Nm = \frac{Pg_f}{P_{mod}} \quad (7)$$

Em que:

Nm - Número de módulos, [adimensional];

Pgf - Potência do gerador fotovoltaico, expressa em quilowatt-pico [kWp];

Pmod - Potência do painel fotovoltaico, expressa em quilowatt-pico [kWp];

Dimensionamento do Inversor

No dimensionamento do inversor se faz necessário conhecer alguns fatores, como a potência do gerador fotovoltaico, características elétricas do painel e o arranjo dos painéis. Um dimensionamento é considerado adequado quando o inversor não trabalha superdimensionado e nem sobrecarregado (PINHO e GALDINO, 2014). Para o inversor deve-se levar em consideração a tensão máxima de operação do arranjo fotovoltaico (Vmpp), a tensão máxima de circuito aberto do arranjo fotovoltaico (Voc), a corrente máxima de entrada (Icc máx) e a tensão mínima para *start* (Vcc inicial). As informações técnicas dos inversores são de extrema importância para o dimensionamento e instalação do mesmo, e segui-las é imprescindível para o correto funcionamento (RÜTHER, 2004).

Componentes de proteção e dimensionamento dos Cabos no Sistema Fotovoltaico

No projeto de um sistema fotovoltaico, o mesmo deve respeitar a norma NBR 5410 que dita instalações elétricas de baixa potência, e também as normas de rede onde o mesmo será interligado. O aterramento do circuito deve ser planejado seguindo a normas também citado por (RÜTHER, 2004). As estruturas que são condutoras que não forem conduzir energia, como os apoios dos painéis ou molduras do mesmo devem ser devidamente aterradas e os cabos com polaridade da parte contínua devem ter as cores devidamente padronizadas tomados os cuidados de tamanho e conexões para que não haja perdas consideráveis na instalação. Deve se levar em consideração também que, os cabos expostos ao ar livre devem possuir dupla isolamento seguindo a norma NBR 5410 pois, esses cabos sofrerão diversas condições climáticas como calor, frio e principalmente radiação intensa (SENAI, 2016).

Resolução Normativa Nº 482 e suas alterações via Resolução Normativa Nº 687

A Resolução Normativa Nº 482 estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e de outras providências (Resolução nº 482, 2012 – ANEEL). A partir dela são realizadas algumas definições de micro e minigeração de energia. A microgeração distribuída ficou definida como uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada de até 75 kW utilizando fontes alternativas de geração de energia, que esteja regulamentada conforme ANEEL, conectadas a rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. A minigeração distribuída ficou definida como uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada entre 75 kW à 3 MW para fontes hídricas e para as demais, a potência instalada entre 75 kW à 5 MW, ambas que estejam regulamentadas conforme

ANEEL, conectadas a rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (Resolução nº 687, 2015 – ANEEL).

Dessa maneira as conexões com a rede elétrica se tornam mais fáceis, e caso haja uma geração excedente ao consumo essa energia pode ser injetada na rede, gerando créditos através do sistema *Net Metering*, sendo assim possível a diminuição do valor da conta de luz.

Sistema de tarifação - Tarifação Net Metering

Conhecido também como Sistema de Compensação de Energia, permite que o excedente de energia gerada na unidade consumidora seja exportado para a rede elétrica da distribuidora, atuando como uma bateria. Com esse sistema o consumidor pode receber créditos em energia (kWh), podendo ser abatido em faturas futuras, com a validade de 60 meses (ANEEL, 2016). O grande diferencial desse sistema é o medidor de energia, que necessita ser bidirecional, ou seja, o medidor é capaz de registrar o consumo, ao mesmo tempo em que a energia exportada para rede é subtraída do valor já registrado do consumo (VILLALVA, 2015).

É importante ressaltar que os consumidores de grupo B (baixa tensão), mesmo que a energia gerada cause excedente, é necessário o pagamento da disponibilidade de serviço da concessionária de energia sendo esse valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Para os consumidores do grupo A, será pago apenas a parcela referente à demanda contratada (ANEEL, 2016).

Para os consumidores que pagam energia consumida por “posto horário”, caso o consumo destinado a compensação de energia seja na tarifa de pico é necessário que a energia gerada seja proporcional à diferença das tarifas de ponta e fora ponta.

Payback simples (Retorno de Capital Investido)

Conhecido também como tempo de retorno de capital, o mesmo tem a função de indicar qual o momento que o projeto gerou a mesma quantidade do custo gasto para a sua execução, assim pode-se verificar em quanto tempo será necessário para recuperar o dinheiro que foi investido no projeto. A partir desse momento, o fluxo de caixa se opõe, ou seja, de negativo (gasto) para positivo (lucro). Para o cálculo do *payback* é utilizada a Equação 8 (SENAI, 2016).

$$Payback = \frac{Inv}{Rec} \quad (8)$$

Em que:

Inv - Valor do Investimento [R\$];

Rec - Valor da Receita esperada por mês [R\$ / mês];

METODOLOGIA

Nesta sessão os objetivos principais são organizar os materiais necessários para o projeto da instalação dos painéis fotovoltaicos corretamente dimensionados. Esses tópicos se dividem em:

- Levantamento do Consumo de Energia Elétrica e Estimativa de Geração de Energia;
- Caracterização do Recurso Solar;
- Caracterização do Local de Instalação;
- Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico (*On-Grid*);
- Demais componentes (Proteção CC, proteção CA e cabos);
- Custo e Economia.

Levantamento do Consumo de Energia Elétrica e Estimativa de Geração de Energia

O levantamento do consumo foi o primeiro passo e possui a maior influência no desenvolvimento do projeto, sua mudança no decorrer do projeto influencia todas as etapas posteriores. Como mencionado na seção anterior, há duas maneiras de se obter esses dados, sendo a primeira através da fatura de energia elétrica e a segunda através de uma estimativa realizando o levantamento dos equipamentos em uso. Neste artigo foi utilizado a segunda opção, devido ao foco do mesmo ser o prédio 5, e a fatura contempla o consumo total da universidade, ou seja, todos os departamentos existentes. Deste modo para esse levantamento foi realizada uma estimativa do consumo de energia elétrica, em quilowatt hora (kWh), se baseando na lista dos equipamentos presentes em cada departamento do prédio, com uma média de horas de utilização por dia (dado em horas), uma média de dias utilizados no mês (dado em dias) e suas respectivas potências (dado em watt [W]). No caso das potências, alguns aparelhos possuem o selo do Inmetro/Procel informando o mesmo como ar-condicionados e bebedouros, nos demais foi necessário pesquisar nos sites dos fabricantes ou até mesmo no site da Procel, que informa alguns valores considerados padrões para certos equipamentos. Com a multiplicação desses elementos, o valor retornado é consumo de energia elétrica em quilowatt hora por mês (kWh/mês).

A estimativa de geração de energia elétrica é quem define o quanto é necessário produzir diariamente para suprir o consumo de energia elétrica, para isso foi preciso encontrar o consumo diário, dividindo o consumo mensal por trinta dias.

Caracterização do Recurso Solar

A caracterização do recurso solar foi necessária para quantificar o índice de radiação solar que incide em um determinado local, esse índice é identificado como Horas de Sol a Pico (HSP), basicamente sendo a quantidade de horas durante um dia que o módulo fotovoltaico irá produzir o máximo de energia (SENAI, 2016).

Para esse levantamento é possível a utilização de *softwares*. Neste artigo o *software* utilizado foi o *SunData v 3.0*, que é um *software* livre, desenvolvido pela equipe da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito) e que utiliza um banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição, desenvolvido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponibilizando uma base de dados de radiação solar produzida a partir de um total de 17 anos de imagens de satélite, entre 1999 à 2015 (CRESESB, 2018).

Os valores de irradiação foram informados após o preenchimento do local desejado, através das coordenadas geográficas (Latitude e Longitude), podendo ser em graus decimais (00.00°) ou graus, minutos e segundos (00°00'00"). Os valores de irradiação solar fornecidos são em kWh/m²/dia no espaço horizontal, e correspondem a médias diárias mensais para 1 ano.

Caracterização do Local de Instalação

Essa análise é importante para a identificação do local em que se pretende realizar a instalação do sistema fotovoltaico (painéis solares). São coletadas informações de área e perímetro (em metro quadrado e em metro, respectivamente), a orientação geográfica (em pontos cardeais e colaterais) e inclinação do plano de instalação dos módulos (dado em graus). A coleta desses dados pode ser realizada de diversas maneiras, por exemplo, pela planta do edifício e inspeção no local com equipamentos adequados ou através do *Google Earth*, no qual foi utilizado neste artigo. O *Google Earth* se baseia em imagens que são obtidas de várias fontes, como imagens de satélite, fotografia aérea, e sistemas de informação geográfica. Identificando o local pretendido, as informações de orientação e localização geográficas são obtidas. Já para

a questão da informação de área e perímetro, o *Google Earth* dispõe de uma função chamada “Régua”, onde demarcando o território desejado, automaticamente já é calculada a área e o perímetro do mesmo.

Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico (On-Grid)

No dimensionamento do sistema fotovoltaico foram analisadas duas situações e algumas etapas foram seguidas, visando em se obter o maior aproveitamento possível da energia solar, atendendo a potência necessária e buscando a maior eficiência possível atrelado ao custo benefício. As etapas seguidas foram:

- Estimar a potência nominal diária necessária para atender o consumo energético;
- Atribuir rendimentos no sistema;
- Selecionar o modelo do painel solar e definir a quantidade necessária;
- Selecionar o modelo do inversor;
- Determinar a melhor configuração entre painéis e inversores;

Com o levantamento do consumo energético em mãos (explicado na seção anterior), foi estipulado um rendimento no sistema, devido a perdas em várias partes do mesmo, como perdas por temperatura nos painéis, acúmulo de sujeira e cabeamento. Em geral um sistema fotovoltaico possui um rendimento de 70% a 80%, deste modo foi necessária uma correção, ou seja, que a potência a ser gerada seja maior para suprir essas perdas e atender o consumo energético levantado.

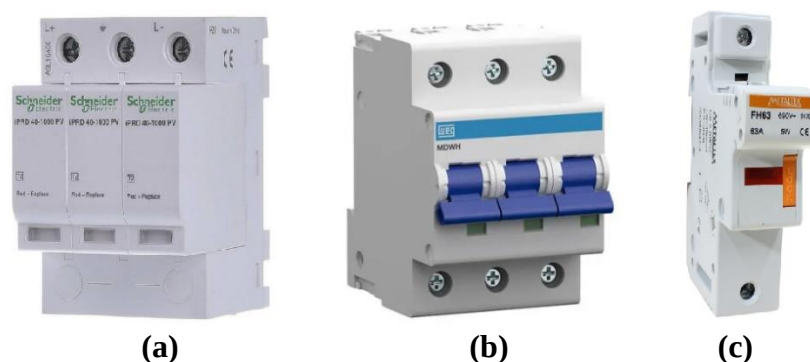
Após realizada a correção, foi reunido diversos modelos de painéis solares de diferentes potências, onde para cada modelo foi calculado o número necessário para o sistema. A análise de determinados parâmetros do fabricante aliada à análise econômica, juntamente com a disponibilidade no mercado nacional, foi importante para encontrar o melhor custo benefício. Um ponto que foi levado em consideração, foi área útil do local da instalação do sistema, pois dependendo da quantidade de painéis a área não comporte, assim tornando a dimensão do painel um parâmetro importante.

Os inversores são um dos principais componentes na instalação fotovoltaica, da mesma forma também foram reunidos diversos modelos com diferentes potências dado em kW (quilowatt), assim sendo possível uma comparação entre os modelos dos inversores e os painéis fotovoltaicos. Além da potência, outras características foram analisadas, como tensão mínima de funcionamento, que implica na quantidade de painéis em série e corrente máxima de operação, que implica na quantidade de painéis em paralelo. Com o sistema de painéis interligados de acordo com as características construtivas do inversor, pode-se então continuar com o projeto dos demais componentes de proteção e monitoramento.

Demais componentes (Proteção CC, proteção CA, cabos)

No estudo do circuito de proteção realizou-se uma análise adequada em relação ao dimensionamento dos painéis e ligação dos mesmos de acordo com as características do inversor selecionado, tendo em vista que a instalação fotovoltaica não será instalada em si e sim avaliados os custos de implementação e tempo de retorno do investimento. Para a proteção dos painéis fotovoltaicos e da entrada do inversor, os disjuntores foram projetados para suportar em média 20% a mais da corrente total dos equipamentos protegidos tanto em tensão alternada como na tensão contínua. Para os cabos da parte contínua da instalação, foi levado em consideração a isolamento especial do cabo, pois o mesmo quando instalado localiza-se ao ar livre, sofrendo mudanças de clima, temperatura e radiação intensa. Portanto a isolamento deste cabo é especial para suportar essas condições. Na Figura 3 é possível observar alguns componentes presentes no dimensionamento, como (a) DPS, (b) Disjuntor e (c) Porta fusível.

Figura 3 – Componentes de proteção (a) DPS, (b) Disjuntor tripolar e (c) Porta fusível. (Fonte: Adaptado NeoSolar, WEG e Metaltex, 2019)



Custo e Economia

Dentre os aspectos importantes de qualquer projeto em engenharia estão: o aspecto econômico-financeiro, o retorno financeiro que será possível dentro de um tempo estimado e a viabilidade do mesmo. Para sistema fotovoltaico dimensionado em ambas situações, foi realizada uma estimativa em relação ao custo de aquisição e instalação do mesmo através do uso de planilhas com diversas configurações de painéis e inversores, e aquisição dos componentes de proteção aliada ao custo de instalação do sistema. De acordo com a estimativa de geração que será produzida, realizou-se uma análise econômica verificando o tempo necessário que o projeto retorna o investimento realizado (*payback*). Outra análise realizada foi sobre o impacto que a geração de energia elétrica, através do sistema fotovoltaico, teve sobre o valor pago de energia elétrica na Universidade São Francisco. Esses dados foram analisados seguindo o sistema de compensação de energia elétrica (*Net Metering*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consumo de Energia Elétrica e Estimativa de Geração de Energia

A determinação do consumo de energia elétrica do prédio 5 da universidade, conforme detalhado na metodologia, foi obtido através da lista de equipamentos presentes no mesmo. Essa lista foi obtida realizando uma contagem dos equipamentos em cada departamento do prédio. Após isso foi elaborado uma planilha de dados dos equipamentos, com suas respectivas quantidades, potência (Watt), horas de uso diária, dias de funcionamento e consumo, deste modo foi calculado o consumo médio do prédio utilizando a Equação (5) (PINHO e GALDINO, 2014), dividido em 5 áreas sendo elas térreo, escadas, 1º andar, 2º andar e 3º andar. A Tabela 1 apresenta um trecho da planilha descrita anteriormente, sendo possível observar os dados levantados no ambiente da biblioteca presente na área do térreo do prédio 5.

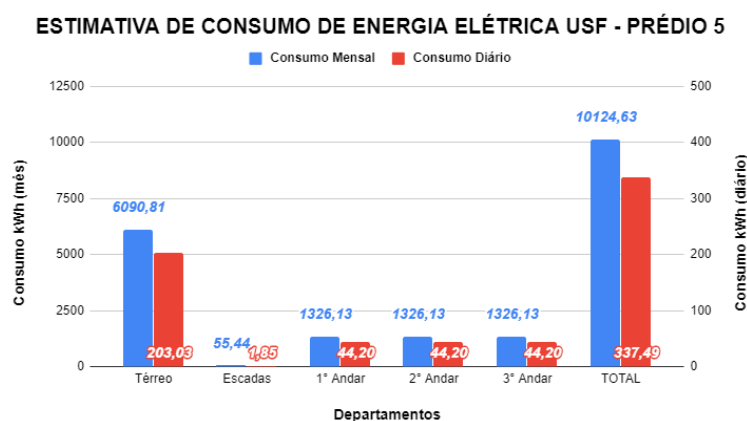
Tabela 1 – Levantamento das cargas presente na biblioteca do Prédio 5.

Equipamento	Qtd	Pot (W)	Horas Diárias (h)	Dias de uso (dias)	Consumo (kWh/mês)	Consumo na ponta (kWh/mês)	Consumo fora de ponta (kWh/mês)	Consumo (kWh/mês) tabelado
Lâmpadas LED (18W)	252	18	8	22	798.34	399.17	399.17	18
Ar Cond. Carrier	8	4890	5	22	3021.33	2417.07	604.27	103
Ar Cond. LG	8	815	5	22	501.60	401.28	100.32	17.1
Projeto	1	291	5	22	31.90	25.52	6.38	8.7
Roteadores	2	6	24	30	8.64	1.44	7.20	
Desktop	12	300	8	22	633.60	316.80	316.80	
TOTAL					4995.41	3561.27	1434.13	

As potências dos equipamentos foram obtidas de duas maneiras, uma delas sendo através das especificações de potência do próprio fabricante como por exemplo as lâmpadas, projetor, entre outros. A outra forma foi através de valores tabelados pelos órgãos como Cepel e Inmetro quando a etiqueta estava disponível no equipamento. No caso dos ar-condicionados e bebedouros que são equipamentos que não consomem energia elétrica continuamente, foi considerado o consumo estipulado pela etiqueta da PROCEL, onde é informado o consumo em kWh/mês com uma utilização diária de 1 hora.

A base de um dimensionamento de sistemas *On Grid* é compreender que, é necessário gerar mais energia do que o limite estabelecido (PINHO e GALDINO, 2014), deste modo a tabela considerou o tempo de uso diário e dias de funcionamento maior do que o real. Um exemplo disso seria a iluminação das salas de aula, onde foi considerada 5 horas de uso por 22 dias no mês, porém é conhecido que nem todas as salas são utilizadas por esse tempo e dias. A partir disso foi possível obter um consumo de energia elétrica maior do que o real, onde foi utilizado como referência para os cálculos de estimativa e dimensionamento do sistema que serão abordados posteriormente. Após o levantamento do consumo de cada ambiente, foi realizado o somatório dos mesmos de cada área presente no prédio 5. Todos os cálculos da estimativa de energia foram realizados em planilhas excel, atribuindo neste artigo destaque aos resultados. A Figura 4 apresenta o consumo em kWh diário e mensal de cada área e o total.

Figura 4 – Estimativa de consumo de energia elétrica mensal e diário.



Com esse levantamento foi possível obter uma incógnita da Equação (6), para a realização da estimativa de geração de energia elétrica diária para suprir esse consumo. A outra incógnita é a média de irradiação solar no local que será abordado na próxima seção.

Caracterização do Recurso Solar

Na caracterização do recurso solar como mencionado na metodologia, foi utilizado o *software SunData v 3.0*, porém, antes foi necessário obter as coordenadas geográficas da universidade. Utilizando o *software Google Earth*, foi localizado a universidade e em seguida o prédio 5, onde os registros de orientação geográfica foram: latitude 23,00° Sul e longitude 46,84° Oeste.

Após o preenchimento dos dados no *software SunData v 3.0*, o mesmo consulta o seu banco de dados e redireciona para uma página com as regiões mais próximas das coordenadas informadas. Os resultados são informados em forma de tabela, onde são informados as médias de irradiação solar diária para os doze meses do ano para quatro inclinações dos painéis. Essas inclinações correspondem ao ângulo de plano horizontal (0°N), ao ângulo igual a latitude do local (23°N), ao ângulo com maior média anual (21°N) e ao ângulo com o maior mínimo mensal

(29°N). Esses dados de irradiação solar para a localidade do prédio 5 podem ser observados na Figura 5 e sua média na Tabela 2.

Figura 5 – Irradiação solar diária média mensal no prédio 5 USF Itatiba-SP.
Irradiação Solar Diária Média Mensal - Universidade São Francisco - Prédio 5, Itatiba-Sp

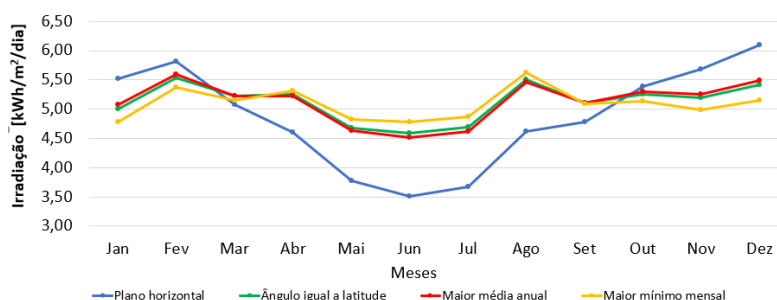


Tabela 2 – Dados de índice de irradiação solar para a cidade de Itatiba-SP.

Ângulo	Inclinação	Média de irradiação solar diária média mensal [kWh/m²/dia]
Plano horizontal	0° N	4,88
Ângulo igual a latitude	23° N	5,12
Maior média anual	21° N	5,12
Maior mínimo mensal	29° N	5,09

Fonte: Adaptada CRESESB - SunData v 3.0

Os painéis solares devem ser posicionados de forma que obtenham o melhor aproveitamento da irradiação, dessa forma de acordo com a análise dos dados da Tabela 2, foi possível identificar que o melhor posicionamento dos painéis fotovoltaicos possui uma inclinação de 21°N e sua média anual é de 5,12 kWh/m²/dia, porém para os cálculos foi utilizado o pior caso que possui uma média anual é de 4,88 kWh/m²/dia e ângulo de 0°N.

Caracterização do Local de Instalação

Para a possível instalação do sistema fotovoltaico, a proposta foi em utilizar o próprio telhado do prédio 5. Para a caracterização foi utilizado o *software Google Earth*, sendo possível determinar que a cobertura do prédio 5 possui aproximadamente 1.360,43 m².

Figura 6 – Área de Cobertura do prédio 5 USF Itatiba-SP. (Fonte: Adaptado *Google Earth*, 2019).



Para dispor de uma margem de segurança foi considerado no projeto uma área útil inferior, deste modo a área útil considerada para a implementação dos painéis fotovoltaicos foi de 1.250 m². É possível observar que o telhado não possui pontos de sombreamento e que o mesmo está disposto para o norte. Em relação ao ângulo do telhado, como o mesmo se encontra entre um valor de 0°N e 23°N, foi usado nos cálculos o ângulo do pior caso possível como dito anteriormente, ou seja 0°N. Outro ponto importante é a verificação da estrutura do prédio 5 para a possível instalação dos painéis.

Dimensionamento dos SF (On-Grid)

Para o início do dimensionamento do sistema fotovoltaico, primeiramente foi realizada a estimativa energia consumida do prédio 5, baseando-se nos dados da figura 3, onde do total de 337,49 kWh consumidos diariamente, sabe-se que aproximadamente 80% desse consumo ocorre no horário ponta. Como o objetivo do projeto é de abater os créditos de energia gerado no período fora ponta com o consumido nos dois postos tarifários, foi necessário considerar o consumo maior, sendo a proporção entre a tarifa ponta e fora ponta. Essas tarifas estão disponíveis no site da CPFL Paulista, concessionária que fornece energia elétrica para a região de Itatiba-SP. No caso a universidade se enquadra no subgrupo A4 (2,3 a 25 kV) com a tarifa azul, com uma tarifa em horário de ponta sem impostos de R\$ 0,43686/ kWh e a tarifa fora de horário de ponta sem impostos de R\$ 0,2633/kWh. Incluindo os impostos (PIS – 0,86%, COFINS – 3,97% e ICMS – 18%) (CPFL Energia, 2019) como sendo valores fixos, foi estimada a nova tarifa ponta sendo R\$ 0,56610/ kWh e fora ponta R\$ 0,34119/ kWh. Com essas tarifas em mãos foi possível determinar a proporção entre a tarifa ponta e fora ponta, onde o valor encontrado foi de aproximadamente 1,66 vezes que o valor em ponta é maior que o fora de ponta, mas para se ter uma margem de segurança foi considerado 15% a mais nessa diferença, deste modo o valor se tornou aproximadamente 1,90.

Após isso foi realizada a estimativa de potência nominal diária para atender o consumo energético do prédio 5, com a nova estimativa do consumo de energia elétrica e a média anual diária de irradiação do local, onde foi utilizada a Equação (6) atribuindo um rendimento de 75% conforme explicado na metodologia.

$$Pg_f = \frac{(CMD/TD)}{HSP} = \frac{((337,49 \cdot 1,9)/0,75)}{4,88} = 175,20kWp \cong 176kWp$$

Dessa maneira para atender o consumo estimado, são necessários pelo menos 176 kWp (quilowatt-pico) de potência instalada, porém a universidade possui uma demanda contratada de 134 kW (quilowatt) sendo o limite de potência instalada. Deste modo foram realizadas duas situações, a situação 1 foi considerada a potência de instalação com o limite até o valor da demanda, sendo de no máximo 134 kWp. A situação 2 foi considerado um aumento na demanda contratada para 200 kW e a potência instalada de no mínimo 176 kWp e no máximo 200 kWp.

A partir disso foi realizado um levantamento e feito uma tabela de painéis e inversores com diversas potências para ambas. Para a criação da tabela dos inversores, foram catalogados suas principais características elétricas e custo. A Tabela 3 apresenta os inversores analisados, onde todos os inversores são trifásicos devido a rede da universidade ser 220V trifásica.

Tabela 3 – Tabela com o levantamento dos inversores.

Inversores Trifásicos Fronius	Pot (W)	Corrente máx de entrada por canal (A)		Tensão nominal de entrada (V)	Tensão mínima (Udc start) (V)	Custo Unitário (R\$)
		C1	C2			
SYMO 12.5kW	12500	27	16.5	600	200	15.990,00
SYMO BRASIL 10kW	9995	25	16.5	350	200	14.627,97
SYMO 15kW	15000	33	27	600	200	17.399,37
ECO 25kW	25000	44.2	-	850	650	20.682,27
SYMO 20kW	20000	33	27	600	200	19.036,17
ECO 27kW	27000	47.7	-	580	650	21.370,47
SYMO BRASIL 12kW	11995	25	16.5	350	200	20.290,00

De forma análoga ao realizado com os inversores, os painéis foram catalogados com suas principais características elétricas, dimensões e custo. Para o cálculo do número de painéis necessários, foi utilizada a Equação (7), utilizando na situação 1 a potência limite de até 134

kWp e na situação 2 a potência necessária de pelo menos 176 kWp. Na Tabela 4 pode-se observar esses dados.

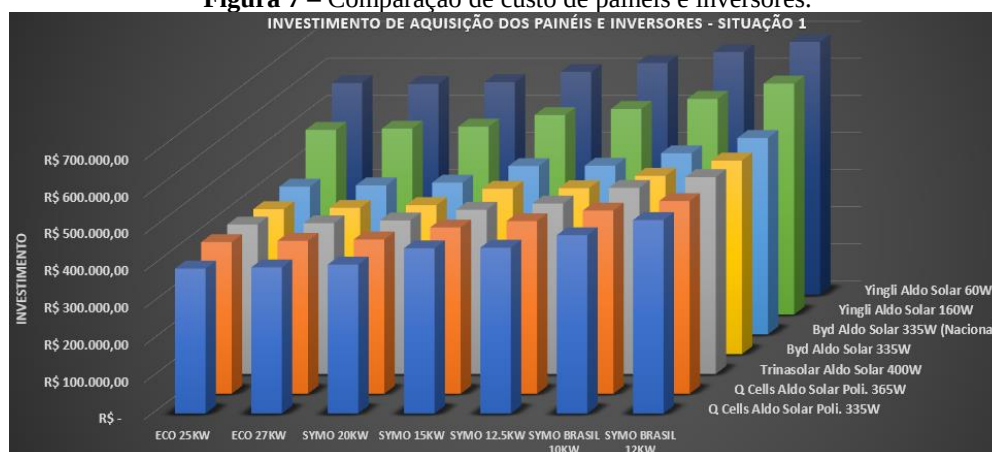
Tabela 4 – Tabela com o levantamento dos painéis fotovoltaicos.

Painéis Solares	Pot (W)	Tensão circuito aberto (V)	Tensão ponto máx. de pot. (V)	Corrente ponto máx. de pot. (A)	Área (m²)	Preço Unitário (R\$)	Qtd Painéis Situação 1	Qtd Painéis Situação 2
Q Cells Aldo Solar Poli. 335W	335	46.3	37.8	8.87	1,94	799.00	400	526
Q Cells Aldo Solar Poli. 365W	365	48.16	39.38	9.27	1,94	899.00	368	482
Trinasolar Aldo Solar 400W	400	49	40.3	9.92	2,03	999.00	336	440
Byd Aldo Solar 335W	335	45.44	38.1	8.79	1,95	799.00	400	526
Byd Aldo Solar 335W (Nac.)	335	47.28	37.35	8.97	1,94	819.00	400	526
Yingli Aldo Solar 60W	60	22.9	18.5	3.25	0,42	229.00	2234	2934
Yingli Aldo Solar 160W	160	23	18.6	8.6	1,03	519.00	838	1100

Com a criação dessas tabelas foi realizada várias combinações dos inversores e painéis, com o objetivo de encontrar o melhor custo benefício entre ambos. Essas combinações foram realizadas com base nas características elétricas das tabelas de inversores e painéis, como por exemplo, utilizando as Equações (1) e (2) foi possível encontrar o número máximo de painéis em série para cada inversor de modo que a tensão não exceda o limite do canal do inversor. Utilizando as Equações (3) e (4), foi possível encontrar o número máximo de ramos de painéis em paralelo para cada entrada de modo a não exceder a corrente nominal. Com isso foi possível determinar o número de inversores necessários para suprir a potência necessária da instalação em cada combinação. Todos os cálculos para as configurações dos painéis e inversores foram realizados em planilhas excel, atribuindo neste artigo destaque aos resultados.

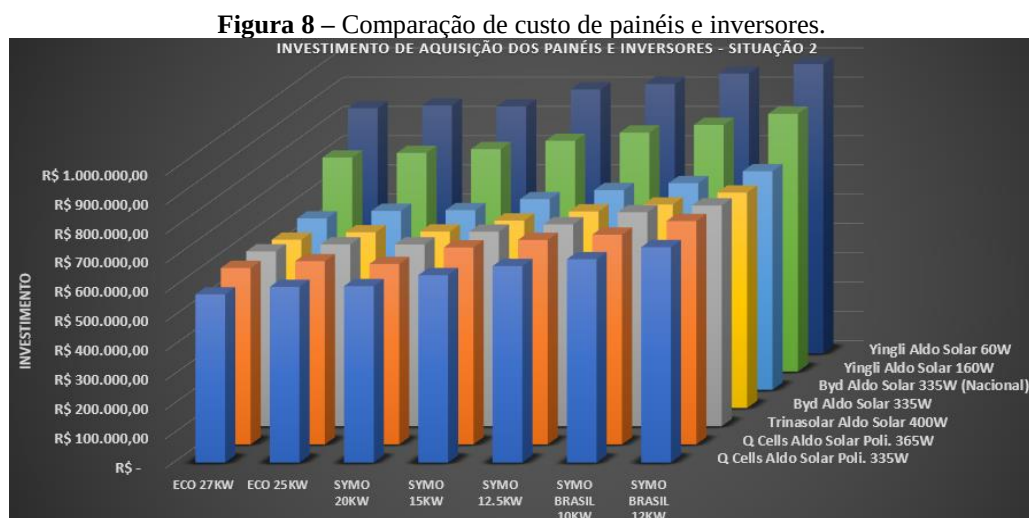
Deste modo foi possível obter que a combinação que apresentou melhor custo benefício na situação 1 foi o inversor Fronius ECO 25kW com os painéis fotovoltaicos Q Cells Aldo Solar Poli. 335W, onde o custo para aquisição é de R\$ 391.051,35. Essa combinação é composta pela seguinte configuração: 5 inversores, com 72 painéis em cada inversor, formando 4 arranjos de painéis em paralelo com 18 painéis em série. No total sendo 360 painéis fotovoltaicos, totalizando 120,60 kWp de potência instalada, o que obedece ao limite da demanda e a área disponível, ocupando uma área de aproximadamente 720 m². Na Figura 7 pode-se observar os custos das combinações dos painéis e inversores na situação 1.

Figura 7 – Comparação de custo de painéis e inversores.



Para a situação 2 foi possível obter que a combinação que apresentou melhor custo benefício foi o inversor Fronius ECO 27kW com os painéis fotovoltaicos Q Cells Aldo Solar Poli. 335W, onde o custo para aquisição foi de R\$ 574.661,29. Essa combinação é composta pela seguinte configuração: 7 inversores, com 76 painéis em cada inversor, formando 4 arranjos de painéis em paralelo com 19 painéis em série. No total sendo 532 painéis fotovoltaicos,

totalizando 178,22 kWp de potência instalada, obedecendo a potência mínima de instalação e a área disponível, ocupando uma área de aproximadamente 1064 m². Na Figura 8 pode-se observar os custos das combinações dos painéis e inversores na situação 2.



Demais componentes (Proteção CC, proteção CA, cabos)

Os painéis ligados em série em uma string devem ser conectados a um ponto em comum, denominado *string box*, promovendo mais segurança contra surtos no circuito CC. As *strings box* são compostas basicamente por disjuntores ou chave seccionadoras, fusíveis e DPS (VILLALVA, 2012). Para o dimensionamento correto foi necessário observar as tensões e correntes na entrada da *string box*. Para os disjuntores e DPS são necessárias somar as correntes de saídas dos conjuntos dos painéis e para os fusíveis são consideradas um para cada polo da *string*. A Tabela 5 mostra a tensão, corrente e potência máxima para cada *string box*.

Tabela 5 – Relação componentes para a instalação do sistema fotovoltaico.

Especificações	Situação 1	Situação 2
Número de Módulos	4 <i>strings</i> de 18 painéis	4 <i>strings</i> de 19 painéis
Tensão Nominal Máxima das Strings	680,4 V	718,2 V
Corrente Nominal Máxima das Strings	35,48 A	35,48 A
Potência Nominal Máxima das Strings	24.140,59 W	25.481,74 W

Após isso foi verificado que para atender a situação 1 foram necessários dimensionar 10 *strings box*, sendo 2 para cada inversor, sendo posicionado uma próxima as saídas dos painéis e outra na entrada CC do inversor. Essa duplicidade é necessária quando os painéis e inversores ficam a mais de 10 metros de distância entre eles. De forma análoga para atender a situação 2 foram necessários dimensionar 14 *string box*, sendo 2 para cada inversor. Para a construção de cada *string box* em ambas as situações foram necessários os seguintes componentes: 1 porta fusíveis 2P de 1000V até 63A, com 2 fusíveis cartucho de efeito ultra rápido de 40A, 1 disjuntor bipolar de 40 A e 1 DPS Classe II 40kA 1000V de uso fotovoltaico. Cada *string box* deve ser interconectada em um quadro de distribuição com o grau de proteção IP65.

De forma análoga às *strings box*, o quadro de proteção do circuito CA deve proteger o inversor de surtos de corrente e obter a possibilidade de desconectar o mesmo do circuito. São compostas de disjuntores e DPS com aplicação CA. Os inversores selecionados na situação 1 e 2 possuem a ligação trifásica (3~ NPE 380/220 V) com a rede de distribuição. Para a situação 1, o inversor Fronius ECO 25 kW possui uma corrente máxima de saída de 36,1 A. Para a situação 2, o inversor Fronius ECO 27 kW possui uma corrente máxima de saída de 39,1 A. Deste modo para o dimensionamento de cada quadro de proteção CA para ambas situações,

foram necessários os seguintes equipamentos: 1 disjuntor tripolar de 40 A e 4 DPS Classe II 40 kA 275 V (1 para cada fase e neutro). Cada quadro de proteção CA deve ser interconectada em um quadro de distribuição com grau de proteção IP65.

Para os condutores foi escolhido o cabo CC unipolar flexível NH 6 mm² preto e vermelho para a parte contínua do circuito. Esses cabos são adequados para a instalação em ambiente externo onde ficam os painéis fotovoltaicos. Considerando a área ocupada pelos painéis e com uma margem de aproximadamente 20% para ligação entre os painéis, foi definida uma quantidade de 450m de cada cabo (preto e vermelho) com 200m de cabo (verde) para ligações de aterramento na situação 1. Já para a situação 2 foi definida uma quantidade de 650m de cada cabo (preto e vermelho) e 300m de cabo (verde) para ligações de aterramento.

Para a interligação dos painéis foram escolhidos os conectores do modelo MC4 6 mm², que também são projetados para ambientes externos, com proteção IP 67. Para a situação 1 foram calculados 20 pares de conectores pela configuração de ligação dos painéis ao inversor selecionado e na situação 2 foram calculados 30 pares de conectores.

O medidor a ser utilizado na instalação em ambas situações, seguindo as normas da ANEEL para instalações acima de 75kW a 500kW deve ser um medidor de 4 quadrantes.

E também para instalações nesse nível de potência instalada, é obrigatório a instalação de um transformador de acoplamento.

Para a estrutura de fixação dos painéis foram selecionados kits prontos que abrangem 4 painéis. Esses kits são compostos por perfis de alumínio, prendedores para os painéis, parafusos e vedações. Para a situação 1 foram estimados 90 kits para a instalação e para a situação 2 foram estimados 132 kits.

Custo e Economia

Após realizar o levantamento dos equipamentos a serem usados, foi criado uma tabela com os valores dos mesmos para a situação 1 e 2, desde os painéis até as estruturas descritas na seção anterior. Alguns componentes como o medidor bidirecional de quatro quadrantes e o transformador de acoplamento serão deduzidos com um valor de cerca de 10% do valor total do custo de cada instalação dos painéis e inversores na situação 1 e 2, pois são equipamentos sem um valor comercial estabelecido. Na Tabela 6 é possível observar os valores dos equipamentos descritos anteriormente onde foi possível obter o valor total do investimento para as duas situações. Para a situação 1 o valor foi de R\$ 490.624,35 e para a situação 2 o valor foi de R\$ 706.239,29.

Tabela 6 – Relação componentes para a instalação do sistema fotovoltaico na situação 1 e 2.

Componente	Qtd S1	Qtd S2	Preço Unitário (R\$)	Total S1 (R\$)	Total S2 (R\$)
Painel Solar Q Cells Aldo Solar Poli. 335W	360	532	799,00	287.640,00	425.068,00
Inversor Fronius ECO 25kW	5	-	20.682,27	103.411,35	-
Inversor Fronius ECO 27kW	-	7	21.370,47	-	149.593,29
Rolos cabos CC unipolar flexível NH 6 mm ² (Vermelho)	45	65	59,00	2.655,00	3.835,00
Rolos cabos CC unipolar flexível NH 6 mm ² (Preto)	45	65	59,00	2.655,00	3.835,00
Rolos cabos flexível 6 mm ² (Verde)	2	3	120,00	240,00	360,00
Par Conector Macho/Fêmea MC4 6 mm ²	20	30	22,90	458,00	687,00
DPS Schneider PRD-DC40r 1000PV Fotovoltaico	10	14	579,00	5.790,00	8.106,00
DPS CA WEG SPW-275-20	20	28	72,00	1.440,00	2.016,00
Porta Fusível 2p 14x51mm 63a Fh632 - Metaltex	10	14	160,00	1.600,00	2.240,00
Fusível Cartucho 40A Super Rápido FC63-40GL	20	28	10,00	200,00	280,00
Mini Disjuntor Bipolar Weg MDW-C40-2 40A Curva C	10	14	24,00	240,00	336,00
Mini Disjuntor Tripolar Weg MDW-C40-3 40A Curva C	5	7	37,00	185,00	259,00
Medidor 4 quadrantes	1	1	10.000,00	10.000,00	10.000,00
Transformador de acoplamento	1	1	20.000,00	20.000,00	20.000,00
Suporte Painel Solar 4 Módulos RSM-990X4	90	132	299,00	26.910,00	39.468,00
Mão de obra / Instalação	1	1	-	27.000,00	40.156,00
TOTAL				490.624,35	706.239,29

Para a parte de economia foi calculado através da Equação (6) com a potência real do sistema, qual o é máximo consumo que depende apenas da geração fotovoltaica. Com isso na situação 1 foi encontrado o valor de 441,40 kWh por dia, aproximadamente 70% do valor necessário para abatimento total do consumo. Após isso foi calculado o retorno anual, multiplicando o valor de consumo máximo (441,40 kWh), a tarifa fora ponta (devido a geração ocorrer nesse posto tarifário) e número de dias com condições favoráveis (264 dias ao ano, sendo 8 dias por mês sendo nublados e chuvosos), sendo encontrado o valor de R\$ 39.758,93. Com isso foi calculado o *payback* utilizando a Equação (8), considerando um aumento na tarifa anual de 4% segundo a média encontrada nos anos anteriores no site da CPFL (CPFL Paulista, 2019) e também uma queda de rendimento no sistema de 0,7% ao ano (PINHO e GALDINO, 2014). De forma análoga na situação 2 foi encontrado o valor de 652,28 kWh por dia e calculado o retorno anual, obtendo o valor de R\$ 58.754,86. Deste modo foi calculado o *payback* utilizando os mesmos parâmetros descritos para a situação 1. Todas as equações de *payback* e economia foram realizadas em planilhas excel, atribuindo neste artigo destaque aos resultados.

A Figura 9 mostra o gráfico de *payback* da situação 1, onde pode-se observar que a curva cruza o eixo do tempo entre o 10º e 11º ano, sendo respectivamente R\$ -29.081,83 e R\$ 25.778,77, ou seja, o investimento é resgatado entre esse período. O decaimento no 13º se deve ao custo de troca dos inversores, visto que sua vida útil varia de cerca de 10 a 15 anos. Ao final do período é obtido um fluxo de caixa de aproximadamente R\$ 5.923.736,37.



A Figura 10 mostra o gráfico de *payback* da situação 2, onde pode-se observar que a curva cruza o eixo do tempo entre o 10º e 11º ano também, sendo respectivamente -R\$ 24.181,92 e R\$ 56.889,86, ou seja, o investimento é resgatado entre esse período. De forma análoga a situação 1, o decaimento no 13º é o custo de troca dos inversores, visto que sua vida útil varia de cerca de 10 a 15 anos. Ao final do período é obtido um fluxo de caixa de aproximadamente R\$ 9.077.818,55.



Com o cálculo de *payback* realizado, pode-se então calcular a real economia incluindo o pagamento da demanda contratada. Na situação 1, o gasto em 25 anos com energia seria R\$ 5.038.565,24 e com a instalação fotovoltaica seria de R\$ 3.276.777,72 gerando assim uma economia de R\$ 1.761.787,52. De forma análoga na situação 2, o gasto bruto seria de R\$ 5.705.178,62 e com a instalação fotovoltaica seria de R\$ 3.258.279,03 gerando assim uma economia de R\$ 2.446.899,59.

CONCLUSÕES

Com os dados obtidos a partir da criação dos dois cenários propostos, pode-se calcular um levantamento dinâmico da instalação fotovoltaica tanto no seu lado técnico, dimensionando corretamente os equipamentos utilizados, quanto pelo seu lado financeiro analisando o *payback* da instalação como um negócio de investimentos.

Diante dos dois cenários pode-se concluir que ambas as situações 1, quanto à situação 2, indicam a viabilidade do projeto. Porém a situação 2 é ainda mais rentável para a Universidade São Francisco. Mesmo que na situação 2 tenha-se que pagar uma demanda maior para se gerar mais, a situação ainda apresenta uma economia muito maior de dinheiro e com a vantagem de que, com a demanda maior, não terá o risco de se tomar multa por excesso de consumo em meses com mais gasto de energia elétrica.

Outro ponto a ser levantado diz respeito em relação ao peso adicional da possível instalação dos painéis no telhado do prédio 5, onde seria necessário verificar se a estrutura suportaria a instalação.

Uma das limitações para o artigo e que pode causar certa divergência dos valores aproximados apresentados e os reais de consumo foi a impossibilidade de se ter em mãos a fatura de energia elétrica detalhada por prédios da Universidade São Francisco. Com esse detalhamento poderia se chegar a valores bem mais precisos de consumo e valores de demanda utilizados.

Para uma continuidade e refinamento deste trabalho de graduação o interessante seria refazer os cálculos utilizando dados reais de consumo e demanda do local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL, 2016 Agência Nacional de Energia Elétrica. **Caderno Temático ANEEL: Microgeração e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. 2ª edição**, 2016.

_____, 2012 Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº482**. Disponível online < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em 20 de abril de 2019.

_____, 2015 Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº687**. Disponível online < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acessado em 20 de abril de 2019.

CPFL ENERGIA, 2019 **Tarifas CPFL Paulista** – Disponível em <<https://www.cpflempresas.com.br/institucional/tarifas.aspx?emp=CPFL>> Acesso: 28, out 2019.

CPFL ENERGIA, 2019 **Tributos Municipais, Estaduais e Federais** – Disponível em <<https://servicosonline.cpfl.com.br/agenciacontingencia/tributos.aspx>> Acesso: 28, out 2019.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Componentes de um sistema fotovoltaico**. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=341>. Acesso em 10 de abril de 2019.

_____. – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em 07 de maio de 2019.

EPE. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em 17 de abril de 2019.

MESSENGER, Roger A.; VENTRE, Jerry. **Photovoltaic Systems Engineering**. 2.ed. Editora: CRC PRESS. Washington DC, 2004.

METALTEX. **FH - Porta fusível para fusíveis cilíndricos** em: <<https://www.metaltex.com.br/produtos/automacao/protecao-eletrica/fh-porta-fusivel-para-fusiveis-cilindricos>> Acesso em 28 de outubro de 2019.

NEOSOLAR. **DPS Schneider PRD-DC40r 1000PV Fotovoltaico** em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/dps-schneider-prd-dc40r-1000pv-fotovoltaico.html>> Acesso em 28 de outubro de 2019.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CRESESB. 2014.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: Editora UFSC - LABSOLAR, v. Único, 2004.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Instalação de Sistema de Microgeração Solar Fotovoltaica**. 1. ed. Editora SENAI-SP, v. Único, 2016.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2012.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. 2.ed. Editora: Érica Ltda. São Paulo, 2015.

WEG. **Minidisjuntor Termomagnético MDWH-C40-3** em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Circuitos-El%C3%A9tricos/Disjuntores/Minidisjuntores/Minidisjuntor-MDWH/MINIDISJUNTOR-TERMOMAGN-MDWH-C40-3/p/11422720>> Acesso em 28 de outubro de 2019.