

# ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA INTEGRADA EM UM SHOPPING CENTER DE FORTALEZA - CE

Sofia da Costa Barreto – sofia\_barretu@hotmail.com  
Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

**Resumo.** Com os elevados custos de energia elétrica nos grandes empreendimentos como shopping centers, os empreendedores procuram uma redução nos custos energéticos. Devido aos preços cada vez mais acessíveis, incentivos do governo e leis federais, a implantação de projetos de microgeração e minigeração de energia elétrica, através da energia solar, tem a capacidade hoje, de atingir objetivos não somente em favor do meio ambiente mas também objetivos financeiros. O presente trabalho tem a finalidade de dimensionar e analisar a viabilidade para a implementação de geração fotovoltaica (FV) em um shopping center de Fortaleza - CE. Após os conceitos teóricos, a área disponível para implementação do projeto FV é determinada e um estudo de sombreamento é realizado, com a ajuda do programa SketchUP, para assim se ter a área útil para o projeto, foi adotado que 90% dessa área seria utilizada para instalação dos módulos, considerando um espaçamento entre os módulos FV para futuras manutenções, resultando em 3188,11 m<sup>2</sup>. Com base na área útil e com os dados da demanda contratada do shopping, 5500 kW, é desenvolvido o dimensionamento do projeto. Uma comparação entre quatro tipos de placas solares é proposta e por fim, é feita uma análise financeira, com a ajuda do programa RETScreen4, considerando-se a vida útil dos módulos FV de 25 anos para todas as alternativas. É apresentado o tempo de retorno do investimento para cada alternativa, concluindo-se assim a viabilidade do projeto. Das 4 alternativas estudadas, a placa CdTe foi a que apresentou pior payback, com 8 anos e 8 meses, e menor VPL, de R\$ 2.214.785; a placa p-Si foi a que apresentou melhor payback, 7 anos porém, a placa m-Si apresentou maior VPL, de R\$ 6.809.107, se tornando assim a melhor alternativa.

**Palavras-chave:** Geração fotovoltaica, Análise financeira, Dimensionamento fotovoltaico

## 1. INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é composta em sua maior parte por hidrelétricas, a qual em 2016 representou 68,1% da oferta interna de energia. Porém, a forte dependência do país a este tipo de fonte tem demonstrado suas consequências nos últimos anos. O longo período de estiagem sobre importantes bacias hidrográficas do país, tem trazido o racionamento energético e o aumento da tarifa de energia elétrica.

A energia solar, é uma das mais promissoras alternativas energéticas do futuro, por ser inesgotável na escala terrestre de tempo. O Brasil possui altos índices de irradiação solar, entre 1.200 e 2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano, segundo AHK ([201-]), a área com a menor irradiação solar no sul do Brasil, se encontra até 20% mais irradiada do que a área mais irradiada da Alemanha, um dos maiores produtores de energia solar.

O alto consumo de energia elétrica em shopping centers (muitas vezes, 45% dos gastos destas empresas) aliado a grandes áreas inutilizadas, como os terraços e cobertura de estacionamentos, faz da geração solar fotovoltaica (FV) ser uma boa opção para utilização em empreendimentos desse tipo.

O shopping em estudo, situado em Fortaleza, CE, possui uma grande área exposta ao sol, a qual soma mais de 5000m<sup>2</sup>. A área disponível está presente no último piso (L3) e será descrita com mais detalhes adiante.

Dada a motivação do alto consumo de energia elétrica em shopping centers, da necessidade de diversificação da matriz energética do país e dos altos índices de irradiação solar no Brasil, o presente trabalho tem o objetivo de propor a implementação de um projeto básico de um sistema FV integrado em um shopping center de Fortaleza - CE.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Energia solar fotovoltaica

O sol é um recurso inesgotável de energia, levando em consideração a escala de tempo de vida no planeta Terra. Segundo Pereira et al. (2017, p. 15), “a taxa de energia emitida pelo Sol é aproximadamente constante há bilhões de anos com uma potência atual da ordem de  $3,86 \cdot 10^{26}$  W.”

A conversão direta da energia solar em energia elétrica, resulta dos efeitos da radiação sobre determinados materiais semicondutores, através do efeito FV. O efeito FV, relatado por Edmond Becquerel, em 1939, “é o efeito em

que os fótons da luz estimulam os elétrons a saltar para a camada de condução, que sob condições favoráveis irá originar uma tensão e corrente elétrica.” (Santiago, Rocha e Carvalho, 2016, p. 2).

A energia solar possui baixa manutenção, longa vida útil, possibilidade de ser instalada praticamente em qualquer lugar e é uma energia limpa e silenciosa. Das desvantagens da energia solar pode citar-se o alto custo de aquisição, a dependência climática, o fato de não produzir energia durante a noite e as formas de armazenamento da energia solar serem pouco eficientes quando comparadas por exemplo com os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás).

## 2.2 Funcionamento do sistema solar FV

Um sistema solar FV possui dois equipamentos principais e fundamentais: os painéis FV e o inversor. Além deles são necessários também os dispositivos de proteção e de medição.

Os painéis FV convertem a energia solar em energia elétrica, em corrente contínua. Essa corrente é conduzida para o inversor, o qual converte a energia recebida em corrente contínua para corrente alternada, para ser usada em sua casa ou para ser injetada na rede. Para exportar a eletricidade gerada para a rede (GD), é necessário um medidor bidirecional, que mede a energia gerada e a energia consumida, possibilitando assim contabilizar os créditos de energia ao final do mês (Fotaiç energia solar, 2016).

Quando o fornecimento de eletricidade do estabelecimento é feito em alta tensão, o sistema tem que conter ainda um transformador elevador para adequar o nível de tensão de saída do inversor e poder injetar a energia gerada na rede. O esquema do funcionamento do sistema FV, em baixa tensão, pode ser observado na figura 1.

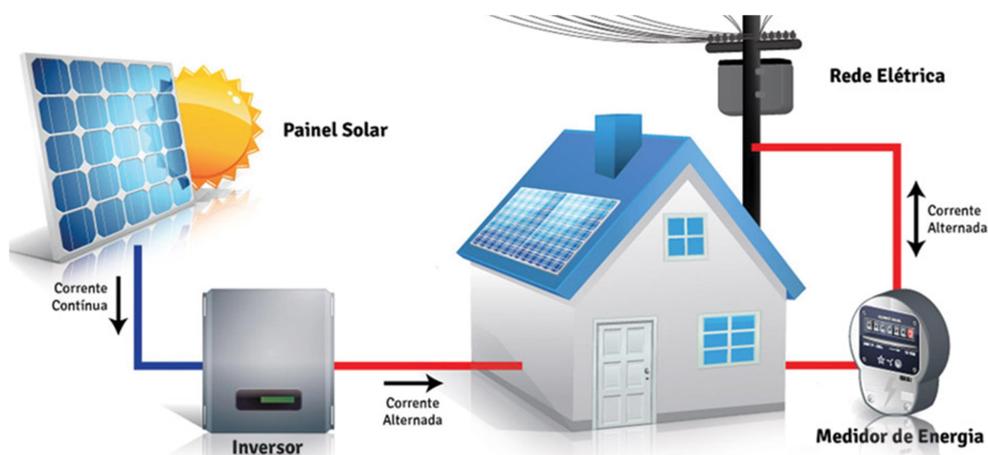


Figura 1 – Esquema sistema FV. Fonte: Espaço Luz energia fotovoltaica, [201-].

## 2.3 Tipos de painéis FV

As células FV são divididas em dois grupos: silício cristalino e filmes finos. O silício cristalino (c-Si) é a tecnologia mais tradicional (representa mais de 85% do mercado), é considerada uma tecnologia consolidada e confiável e possui a melhor eficiência comercialmente disponível. Faz uso de lâminas cristalinas, relativamente espessas, o que aumenta os custos de produção. Pode ser do tipo:

a) Silício monocristalino (m-Si):

É a tecnologia mais antiga e também uma das mais caras, porém possui alta eficiência (entre 14 e 21%) com relação a outras tecnologias. São produzidos através de um único cristal puro de silício, que é cortado em lâminas individuais. Possui cor uniforme, indicando silício de alta pureza, e cantos tipicamente arredondados. Quanto maior a pureza do silício, melhor será a conversão de luz solar em energia elétrica;

b) Silício policristalino (p-Si):

Apresenta menor eficiência de conversão (entre 13 e 16,5%) em comparação com o monocristalino, porém com menor custo de produção. Possui processamento mais simples e menor perfeição cristalina. Os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais (daí o nome ser policristalino).

Os painéis FV de filmes finos tem uma modesta participação no mercado. Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil e rendimento das células. Na sua produção, o material é colocado diretamente sobre uma superfície, como o vidro ou metal, por exemplo. O material pode ser:

c) Silício amorfo (a-Si):

Exige um gasto menor de silício, se tornando mais barato, porém, menos eficiente. Os módulos disponíveis no mercado estão na faixa de 8-9% de eficiência. Esta tecnologia não é afetada pela temperatura de operação. Uma outra vantagem é que este material pode ser utilizado como material de revestimento na edificação (Portal solar, [201-]).

d) Telureto de Cádmio (CdTe):

A eficiência opera normalmente na faixa de 9-11%. Os custos de produção são atrativamente baixos, porém, como são pouco utilizados no Brasil, possuem um custo mais elevado (Lei da oferta e da procura). A baixa abundância dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que devem ser levados em conta (Santiago, Rocha e Carvalho, 2016).

e) Cobre, índio e gálio seleneto (CIS/CIGS):

Em comparação com as outras tecnologias de filme-fino acima, as células solares CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas células solares contêm menos quantidades do cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe). Tem eficiência entre 10-12% e já existem alguns sendo vendidos no Brasil passando dos 13% (Portal solar, [201-]).

Detalhes como a tecnologia do módulo FV, sombreamento, inclinação do painel FV, orientação geográfica, irradiação e análise da fatura de energia elétrica do consumidor, são importantes pontos a serem levados em consideração em um projeto FV, como poderemos observar mais adiante.

## 2.4 Geração FV em shopping Centers

Os elevados custos com energia elétrica em empreendimentos como shopping centers representam grande preocupação aos empreendedores. Muitas vezes, a fatura de energia significa um dos maiores custos destas empresas, ficando atrás somente da folha de pagamento, segundo estudo divulgado pela ABRASCE, a fatura pode chegar a 45% dos gastos (Abegás, 2013). Os shoppings brasileiro estão investindo cada vez mais em medidas de eficiência energética, a qual pode-se incluir a geração de energia solar.

Somado a esses elevados custos com energia elétrica, os shoppings contam com muitas áreas inutilizadas, como as coberturas dos estabelecimentos e dos estacionamentos, sendo boa oportunidade para a implantação de sistemas FV.

O primeiro shopping center do Brasil a produzir energia a partir da geração FV é o Shopping Plaza Casa Forte, localizado em Recife. Com um investimento de R\$ 300 mil, o shopping conta com 156 painéis instalados no estacionamento e potência instalada 38,22 kW. Existem ainda projetos em fase de execução para outros shopping centers no Brasil. Esses empreendimentos também poderão alugar telhados para geração FV, contudo, este tema ainda está em fase de estudo. Segundo Magnabosco (2015, página única), “[...] preocupado em viabilizar o aumento da oferta de energia no curto e médio prazos, o Ministério de Minas e Energia (MME) estuda a possibilidade de autorizar proprietários de indústrias e shopping centers, por exemplo, a alugarem seus telhados para empresas geradoras de energia. Nesses locais seriam instalados painéis fotovoltaicos, com capacidade de geração de energia a partir da incidência dos raios solares.”

## 3. CARACTERIZAÇÃO DO SHOPPING CENTER

O shopping Center em estudo é um dos mais recentes shoppings de Fortaleza - CE, inaugurado em Outubro de 2016. Com uma Área Bruta Locável (ABL) de 54.865 m<sup>2</sup>, nas quais apenas aproximadamente 54,5% em funcionamento e área construída de 159.396 m<sup>2</sup> com diversificado mix de lojas e equipamentos de lazer.

O shopping recebe alimentação em Alta Tensão (69 kV) da Enel (concessionária local). O empreendimento é consumidor Grupo A3, série B-2, tarifa horo-sazonal azul. Caracteriza-se por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia e a época do ano (período seco e período úmido). O horário de ponta na cidade de Fortaleza – CE é entre as 17:30 e 20:30. O período úmido entre dezembro e abril e o período seco entre maio e novembro.

O shopping center conta com uma grande área disponível no pavimento L3, a saber 5082m<sup>2</sup>, exposta ao sol, sendo uma boa oportunidade para se utilizar a geração FV. A figura 2 mostra a planta baixa da cobertura do shopping, a área disponível está destacada em verde. A área em questão possui chão de laje impermeável e está a uma altura de 16,87m do solo.



Figura 2 – Planta baixa da cobertura do shopping com indicação da área disponível.

Além de ter essa área disponível, o shopping tem uma ótima localização geográfica, Fortaleza – CE, que se encontra próximo à linha do Equador. Encontra-se também em um bairro onde a predominância de residências são casas, não tendo portanto, prédios mais altos que a instalação para atrapalhar a geração FV, conforme figura 3.



Figura 3 – Foto do shopping center com indicação de área disponível para geração FV.

De conhecimento da área disponível para o projeto, pode-se dar continuidade ao estudo do projeto.

#### 4. ESTUDO DO SOMBREAMENTO

Para instalar sistemas FV com potências elevadas, faz-se necessário associar módulos em série e em paralelo com o objetivo de obter valores de tensão e corrente apropriados para a aplicação que se deseja.

Possíveis sombreamentos de células FV podem ocasionar perdas na geração de energia elétrica, pois, como os módulos FV são associados em série, se uma ou mais célula recebe menos irradiação solar do que as células do mesmo conjunto, a corrente total vai ser limitada pela célula de menor corrente. Outro fator importante da decorrência do efeito do sombreamento é o risco de danos ao módulo, pois, “uma célula que estiver sombreada pode funcionar como carga para as demais células ocasionando uma dissipação exagerada de potência sobre ela e, por consequência, provocando um aquecimento que pode causar danos à célula. Esse fenômeno é conhecido como *hot-spot heating* (pontos quentes).” (Rampinelli e Krenzinger, 2006, p. 2)

Para evitar essa ocorrência, são utilizados diodos de desvio, chamados *bypass*, que auxiliam com um caminho paralelo a corrente, diminuindo as perdas por dissipação de potência no módulo sombreado. Nesse caso, a célula sombreada não gera energia elétrica, mas também não se comporta como carga para as demais células do módulo.

##### 4.1 Área útil para instalação dos módulos FV

O estudo do sombreamento do local é um elemento chave no projeto da instalação de módulos FV. Na presente pesquisa, a análise de sombreamento foi realizada com a ajuda do programa *SketchUP* que, com uma base de dados, trabalha em conjunto com um mapa da área via satélite.

Após a modelagem tridimensional do shopping e sua correta localização geográfica, foi feita a análise de sombreamento através da simulação da trajetória solar em diferentes horários e meses do ano.

Através da análise da variação da trajetória do sol, optou-se por considerar como área sombreada, a região que é atingida pela sombra no período diário das 8:00h às 16:00h, nos solstícios de inverno e verão. É durante este horário que a intensidade da irradiação solar é mais elevada. Foram escolhido os solstício de inverno e verão para estudo visto que é o momento em que o sol atinge o maior grau de afastamento angular da linha do Equador.

Assim, foi possível delimitar a área atingida pela sombra, traçando-se uma linha contornando a sombra nos horários escolhidos (8:00h e 16:00h), no solstício de verão e de inverno (figura 4). Pode-se observar a área útil para a aplicação de módulos FV na figura 5.

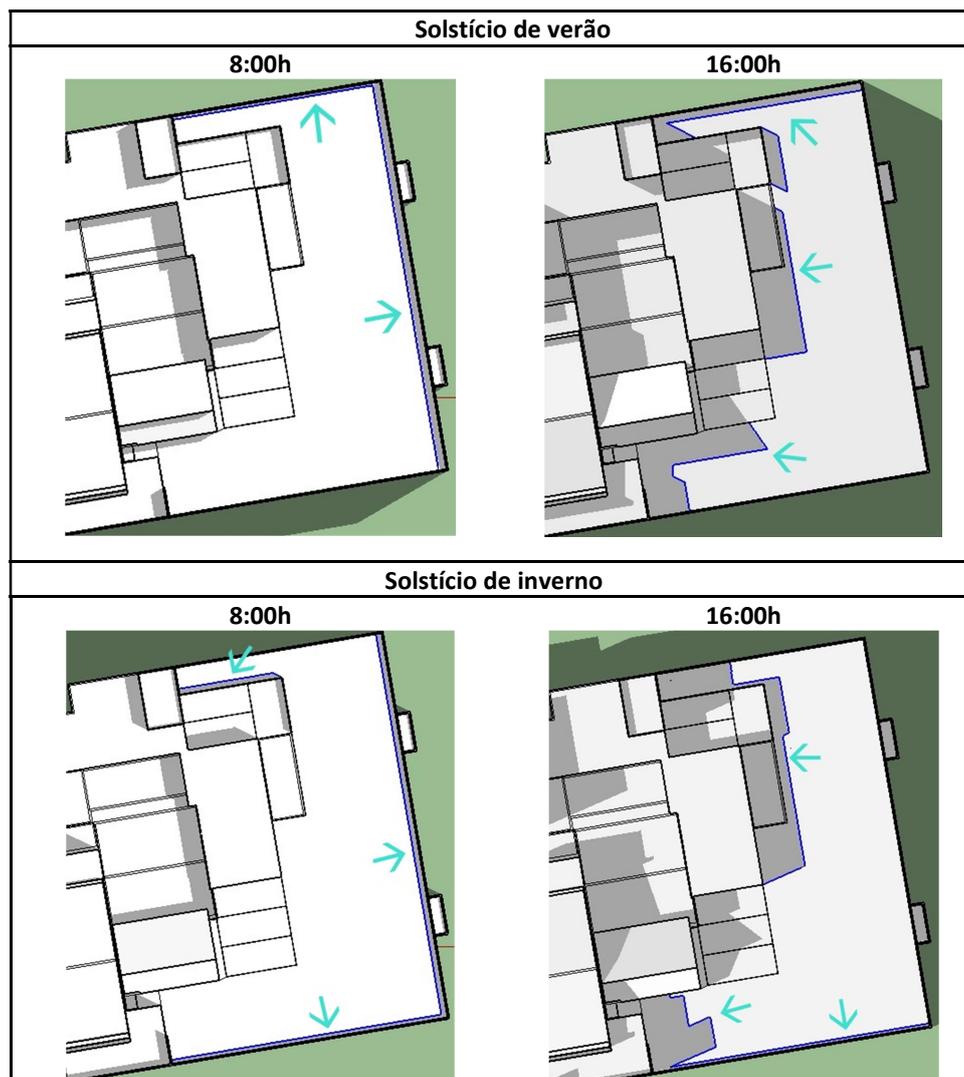


Figura 4 – Contornando o sombreamento para o shopping em estudo.



Figura 5 – Área útil para instalação dos painéis FV.

A área útil para a aplicação de células FV resulta então em 3542,35m<sup>2</sup>, o que corresponde a 69,7% da área disponível, ou seja, boa parte da área disponível pode ser utilizada sem que o sombreamento atrapalhe a produção de energia elétrica, mais uma comprovação das boas condições do local para este tipo de investimento.

## 5. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

### 5.1 Análise da fatura de energia elétrica do consumidor

O consumo médio mensal e diário de energia elétrica foi determinado a partir das faturas de energia do meses de novembro de 2016 (inauguração do shopping) até outubro de 2017, conforme apresentado na tabela 1.

A média de consumo mensal neste período foi de 1.270.817 kWh, já a média de consumo diário foi de 42.361 kWh. A demanda contratada é de 3300 kW fora ponta e 2200 kW ponta.

Tabela 1 – Fatura de energia elétrica do consumidor.

<b>Consumo (kWh)</b>			
<b>Mês</b>	<b>Hora ponta</b>	<b>Fora ponta</b>	<b>TOTAL</b>
Nov/16	134.800	1.406.400	<b>1.541.200</b>
Dez/16	151.900	1.374.100	<b>1.526.000</b>
Jan/17	132.100	1.058.300	<b>1.190.400</b>
Fev/17	129.700	1.075.600	<b>1.205.300</b>
Mar/17	106.100	956.500	<b>1.062.600</b>
Abr/17	116.400	1.016.800	<b>1.133.200</b>
Mai/17	130.100	1.221.400	<b>1.351.500</b>
Jun/17	137.700	1.110.900	<b>1.248.600</b>
Jul/17	130.400	1.112.200	<b>1.242.600</b>
Ago/17	137.500	1.166.200	<b>1.303.700</b>
Set/17	121.300	1.040.900	<b>1.162.200</b>
Out/17	125.500	1.157.000	<b>1.282.500</b>
<b>Média mensal anual</b>			<b>1.270.817</b>
<b>Média diária</b>			<b>42.361</b>

Pode-se notar pela tabela 1 que os meses de maior consumo são novembro e dezembro, relacionados aos meses de inauguração do shopping e final de ano, em que o movimento no comércio é mais elevado; vale salientar também que o mesmo adotou alternativas para diminuir o consumo de energia elétrica a partir do mês de dezembro. Além desses meses, maio e agosto tiveram consumo acima da média mensal.

### 5.2 Irradiação solar

Os dados de irradiação solar foram obtidos através do programa *RETScreen4*, o qual será utilizado para os cálculos de tempo de retorno do investimento, no capítulo 6. O *Software RETScreen4* é um programa para análise de viabilidade de projetos de energia limpa, baseado em Excel, que determina a viabilidade técnica e financeira de projetos de eficiência energética, energias renováveis e cogeração.

A irradiação solar diária horizontal e irradiação solar diária inclinada de 12 meses e a irradiação diária média anual são demonstradas na tabela 2. A média anual de irradiação solar diária horizontal para cidade de Fortaleza é de 5,56kWh/m<sup>2</sup>/dia e inclinada é de 5,46 kWh/m<sup>2</sup>/dia.

Tabela 2 – Dados de irradiação solar em Fortaleza – CE.

Mês	Radiação solar diária – horizontal kWh/m <sup>2</sup> /d	Radiação solar diária – inclinada kWh/m <sup>2</sup> /d
Janeiro	5,33	5,52
Fevereiro	5,14	5,21
Março	4,67	4,62
Abril	4,53	4,36
Mai	5,03	4,68
Junho	5,00	4,57
Julho	5,69	5,19
Agosto	6,19	5,81
Setembro	6,25	6,09
Outubro	6,47	6,53
Novembro	6,36	6,59
Dezembro	6,06	6,35
<b>Anual</b>	<b>5,56</b>	<b>5,46</b>

Pode-se observar que a menor irradiação solar diária são entre os meses de março a junho, considerados os meses chuvosos na cidade de Fortaleza – CE, prevalecendo uma elevada irradiação o resto do ano.

### 5.3 Orientação geográfica e inclinação dos painéis FV

Para maximizar a captação e a geração de energia elétrica ao longo do ano, é importante levar em consideração a orientação geográfica e a inclinação dos painéis FV.

A orientação ideal para os módulos FV, no hemisfério sul, é para o norte geográfico. Pode-se observar na figura 6 o norte geográfico no local em estudo.

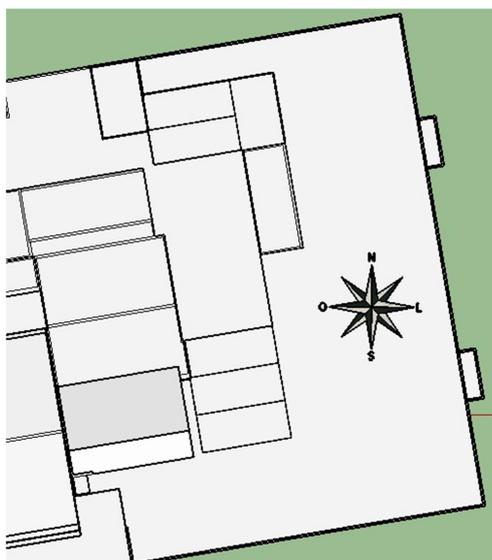


Figura 6 – Correta orientação dos painéis no local em estudo.

Quanto a inclinação dos módulos FV, de acordo com Ribeiro (2015), deve ser levado em consideração a tabela 3.

Tabela 3 – Ângulo de inclinação recomendado para os módulos FV.

Latitude Local	Ângulo de Inclinação Recomendado
0° a 10°	$\varphi = 10^\circ$
11° a 20°	$\varphi = \text{latitude}$
21° a 30°	$\varphi = \text{latitude} + 5$
31° a 40°	$\varphi = \text{latitude} + 10$
41° ou mais	$\varphi = \text{latitude} + 15$

A latitude de Fortaleza é de 3° sul, portanto, a inclinação adotada deve ser 10°, para favorecer uma autolimpeza dos módulos devido ao acúmulo de partículas que podem atrapalhar o funcionamento do painel.

#### 5.4 Painéis fotovoltaicos

A escolha da placa FV envolve fatores como eficiência, área ocupada, potência nominal e preço. Para efeito de comparação, foram escolhidas 4 painéis de tecnologias diferentes: 2 de filme fino e 2 de Silício (Si) cristalino. Os painéis de filmes finos escolhidas utilizam tecnologia Si Amorfo (a-Si) e Telureto de Cádmio (CdTe); os painéis de Si cristalino escolhidas usam Si Monocristalino (m-Si) e Si policristalino (p-Si) de diferentes potências e eficiências.

A quantidade de placas a serem adotadas foi calculada através da fórmula 1.

$$Qntd\ placas = \frac{\text{área útil disponível} \times Fa}{\text{área do módulo FV}} \quad (1)$$

Em que a área útil disponível foi de 3542,35 m<sup>2</sup>, encontrada no tópico 4.1; Fa é o fator de área, de 0,9, adotado para se obter um espaçamento entre os módulos necessário para futuras manutenções preventivas e corretivas do sistema e a área do módulo FV é a área de cada módulo a ser utilizado. Os painéis escolhidos e suas características podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4 – Painéis FV escolhidos para efeito comparativo

Alternativa	Tecnologia	Fabricante	Potência (W)	Área do painel FV (m <sup>2</sup> )	Eficiência	Potência instalada (kW)	Quantidade de placas
1	a-Si	Q-Cells	145	1,78	8,16%	259,69	1791
2	CdTe	BP Solar	80	1,21	8,60%	210,72	2634
3	m-Si	Sunpower	320	1,62	19,62%	629,44	1967
4	p-Si	Kyocera	215	1,49	14,48%	459,88	2139

Em princípio, a eficiência não deve nortear a escolha do módulo a não ser que a área disponível para instalação seja um fator restritivo, o que não é o caso, pois o shopping dispõe de uma boa área disponível. Devem ser levados em consideração não só a eficiência mas também o custo e a durabilidade da placa.

#### 5.5 Estimativa de custos

Para a determinação dos custos envolvidos no estudo de implementação da planta FV, considerou-se a tabela do Histórico de Preços de Sistemas fotovoltaicos – Preços consumidos – Geração Distribuída – Brasil (Greener, 2017). Essa tabela foi elaborada pela empresa Greener, a qual realizou uma pesquisa de mercado entrevistando 454 empresas no período de 31 de maio a 23 de junho de 2017, com amostragem de empresas de todo o país.

Como a tecnologia de painéis FV mais utilizada no Brasil é a de Silício Policristalino, considerou-se que os valores da pesquisa realizada pela Greener seriam referentes a esta tecnologia. Os valores dessa tabela, levam em consideração o sistema FV como um todo, desde o projeto de implantação, módulos e inversores utilizados até a instalação dos mesmos. A composição do preço com relação aos componentes necessários nas instalações FV podem ser observados no gráfico 1.



Gráfico 1 – Composição do custo total da instalação de um sistema FV. Fonte: IDEAL, 2017.

Uma vez que a pesquisa realizada pela Greener acerca do preço do sistema FV só leva em consideração a tecnologia p-Si, foi necessário estimar os valores das outras tecnologias (a-Si, CdTe e m-Si). Essa estimativa foi feita a partir de uma média dos valores encontrados no mercado. Os valores médios por Wp encontrados foram:

- a-Si = R\$ 4,12/Wp;
- CdTe = R\$ 4,57/Wp.
- m-Si = R\$ 3,66/Wp;
- p-Si = R\$ 2,83/Wp;

Os valores mercadológicos dos diferentes tipos de painéis foram utilizados com a finalidade de estabelecer e fundamentar a relação de precificação entre os diferentes sistemas analisados. A partir disso, construiu-se uma equivalência para cada tipo de placa com base nos valores unitários comerciais e os valores encontrados na pesquisa realizada pela Greener para Junho/2017. Obteve-se os valores finais por Wp para cada tipo de placa, como pode-se ver na tabela 5.

Tabela 5 – Resumo sistema para cada tipo de placa

Alternativa	Tecnologia	Fabricante	Potência (W)	Eficiência	Quantidade de painéis	Potência nominal Sistema (kW)	Valor do Wp
1	a-Si	Q-Cells	145	8,16%	1791	259,69	<b>R\$ 5,45</b>
2	CdTe	BP Solar	80	8,60%	2634	210,72	<b>R\$ 5,72</b>
3	m-Si	Sunpower	320	19,62%	1967	629,44	<b>R\$ 4,82</b>
4	p-Si	Kyocera	215	14,48%	2139	459,88	<b>R\$ 4,38</b>

## 6. ANÁLISE FINANCEIRA E RESULTADOS

Para análise financeira da planta FV foi utilizado o programa *RETScreen4*. Foi adotada as tarifas da fatura de energia elétrica do consumidor no horário fora de ponta, que é o horário em que o sistema FV estará produzindo mais eletricidade. Foi considerado uma inflação de 6,29%, referente ao ano de 2016 (Cury, Boeckel e Cavallini, 2017). O tempo de vida útil dos painéis adotado foi de 25 anos, igual para todas as alternativas. A energia exportada para rede por cada sistema, pode ser observada na tabela 6.

Com os valores estimados, pôde-se fazer a análise financeira e estudo de viabilidade no programa *RETScreen4* com base no tempo de retorno (*payback*), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) de cada investimento.

O resumo dos resultados obtidos podem ser observados na tabela 6, para melhor comparação.

Tabela 6 – Resultados obtidos

Alternativa	Tecnologia	Potência instalada (kW)	Energia exportada para rede (MWh)	Investimento inicial (R\$)	Tempo de Retorno (anos)	VPL (R\$)	TIR
1	a-Si	288,55	480,79	1.486.033	7,7	3.356.873	12,30%
2	CdTe	234,16	377,33	1.271.255	8,4	2.529.302	11,10%
3	m-Si	699,52	1086,09	3.276.552	7,5	7.662.375	12,70%
4	p-Si	511,055	793,47	2.139.276	6,7	5.852.480	14,40%

## 7. CONCLUSÃO

O presente trabalho tem como objetivo dimensionar e estudar a viabilidade financeira da implantação de uma usina fotovoltaica integrada em um shopping center de Fortaleza, no Ceará. Como primeira etapa, foi realizado um estudo de sombreamento no local, nos solstícios de inverno e verão, resultando em uma área útil de 3542,35 m<sup>2</sup>, o que significa que 69,7% da área disponível pode ser utilizada para geração FV sem que o sombreamento atrapalhe. Para o dimensionamento foi considerado ainda uma margem de 10% de espaçamento entre os módulos FV para futuras manutenções preventivas e corretivas, resultando em uma área de 3188,11 m<sup>2</sup> para instalação dos módulos. Além do mais, o shopping se encontra em um bairro que tem predominância de casas e a área para instalação dos módulos FV está a uma altura elevada do solo (cerca de 16 metros), sendo mais difícil ter obstáculos gerando sombras e atrapalhando na geração de eletricidade. Todos esses fatores comprovam as boas condições para implementação de geração FV no shopping em estudo.

O estudo de viabilidade financeira foi realizado com a ajuda do programa *RETScreen4*, que a partir do valor do Wp estimado de cada tecnologia de placa analisada, gerou o gráfico do tempo de retorno (*payback*), o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) para cada alternativa. As quatro alternativas estudadas apresentam VPL positivo, sugerindo que são viáveis e que possuem investimento justificável e atrativo. A pior alternativa foi a tecnologia CdTe, a qual possui maior *payback* (8 anos e 8 meses), menor VPL (R\$ 2.214.785), menor TIR (10,4%) e menor taxa de eletricidade exportada para rede (339,56 MWh). A placa p-Si foi a que apresentou melhor TIR (14,4%) e melhor *payback*, com 7 anos, porém a placa m-Si possui o maior VPL, de R\$ 6.809.107, se tornando assim a melhor

alternativa. A placa m-Si possui ainda a maior taxa de eletricidade exportada para rede (977,28 MWh) e um bom tempo de retorno, 7 anos e 7 meses. A placa a-Si também possui um bom tempo de retorno próximo ao da placa m-Si, de 8 anos e 1 mês. Grande parte disso se deve também aos altos índices de irradiação na cidade de Fortaleza.

O projeto pode ainda ter um impacto positivo na demanda contratada do shopping, pois o horário em que ocorre a maior geração FV coincide com o horário em que ocorre o pico da demanda de energia do shopping, referente à grande parcela da carga de ar condicionado nos horários de maiores temperaturas.

Podem ser consideradas para futuros estudos outras áreas para aplicação de geração FV, como a área da cobertura do shopping e o estacionamento da área externa, aumentando assim a geração FV e aproveitando ainda mais as áreas disponíveis do shopping.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi alcançado, concluindo-se que a implementação de geração FV no shopping é viável para todas as tecnologias FV estudadas e que o shopping em estudo possui grande potencial para geração FV.

## REFERÊNCIAS

- Abegás, 2013. Energia mais barata nos shopping centers. Disponível em: < <http://www.abegas.org.br/Site/?p=16685>>. Acesso em: 11 novembro 2017.
- AHK, [201-]. Energia Solar. Disponível em: <<http://ahkbusiness.de/pt/energias-renovaveis/perfil-do-setor-eletrico/energia-solar/>>. Acesso em: 14 novembro 2017.
- Cury, A., Boeckel, C., Cavallini, M., 2017. Inflação oficial fecha 2016 em 6,29%, diz IBGE. G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/inflacao-oficial-fecha-2016-em-629-diz-ibge.ghtml>>. Acesso em: 15 novembro 2017.
- Espaço luz energia fotovoltaica, [201-]. Sistema on grid. Disponível em: <<http://www.espacoluzfotovoltaica.com.br/sistema/>>. Acesso em: 09 novembro 2017.
- Fotovoltaica energia solar, 2016. Manual da energia solar.
- Greener, 2017. Análise do mercado fotovoltaico de geração distribuída.
- Ideal, 2017. O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica.
- Magnabosco, A., 2015. Indústrias e shoppings poderão alugar telhados para gerar energia solar. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,industrias-e-shoppings-poderao-alugar-telhados-para-gerar-energia-solar,1650116>> acesso em: 11 novembro 2017
- Pereira et al, 2017. Atlas Brasileiro de energia solar.
- Portal solar, [s.d]. Tipos de painel solar fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 10 novembro 2017.
- Rampinelli, G.A., Krenzinger, A., 2006. Efeito do sombreamento em células de uma associação de módulos fotovoltaicos.
- Ribeiro, A., 2015. Análise da Influência da Localização, Área e Forma de Sítios no Potencial de Geração de Energia Elétrica de Pequena Escala no Brasil: Um Método para as Fontes Solar e Eólica. Dissertação de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Santiago, M. V., Rocha, D. A., Carvalho, G. L., 2016. Estudo de caso do dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico no Campus João Pinheiro II do Centro Universitário UNA.

## FEASIBILITY STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A PHOTOVOLTAIC PLANT INTEGRATED IN A FORTALEZA - CE COMMERCIAL CENTER

**Abstract.** *With the high costs of electric power in large enterprises such as shopping malls, entrepreneurs seek a reduction in energy costs. Due to increasingly affordable prices, government incentives and federal laws, the implementation of microgeneration projects and the minigeration of electric energy through solar energy have the capacity today to achieve objectives not only in favor of the environment but also objectives financial resources. The present work has the purpose of dimensioning and analyzing the feasibility for the implementation of photovoltaic (PV) generation in a shopping center in Fortaleza - CE. After the theoretical concepts, the area available for implementation of the PV project is determined and a shading study is carried out, with the help of the SketchUP program, in order to have the useful area for the project, it was adopted that 90% of this area would be used for installation of the modules, considering a spacing between the PV modules for future maintenance, resulting in 3188.11 m<sup>2</sup>. Based on the usable area and the consumption demand data of the mall, 5500 kW, the project design is developed. A comparison between four types of solar panels is proposed and, finally, a financial analysis is done with the help of the RETScreen4 program, considering the life of the 25-year PV modules for all alternatives. The time of return of the investment is presented for each alternative, thus concluding the viability of the project. Of the 4 alternatives studied, the CdTe plate presented the worst payback, at 8 years and 8 months, and lower NPV, of R \$ 2,214,785; the p-Si plate presented the best payback, but the m-Si plate presented the highest NPV of R \$ 6,809,107, making it the best alternative.*

**Key words:** Photovoltaic Generation, Financial analysis, Photovoltaic Sizing