



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO**

**Analise de Retorno de Investimento de  
Sistema Fotovoltaico *On Grid***

**Thiago Ferreira Lima**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS - CCS**

**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO**

**Graduação em Administração de Empresas**

Rio de Janeiro, Outubro de 2017.



**Thiago Ferreira Lima**

**Analise de Retorno de Investimento de Sistema  
Fotovoltaico *On Grid***

**Trabalho de Conclusão de Curso**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao programa de graduação em Administração da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de graduação em Administração.

Orientador: ISAO NISHIOKA

Rio de Janeiro  
Outubro de 2017.

*“Qualquer tecnologia suficientemente desenvolvida é indistinguível de magia”.*  
**Arthur Charles Clarke.**

## **Agradecimentos**

Ao meu orientador professor Isao Nishioka, pela parceria, ensinamentos e orientação durante o decorrer desta empreitada.

Ao meu pai Álvaro, minha mãe Carla e meu irmão Bruno, pelo carinho e pela formação recebida ao longo da vida, sempre presentes em todos os momentos. Obrigado para sempre.

Aos demais membros da Banca Examinadora, pela efetiva participação na Banca Examinadora.

A todos os professores da Graduação em Administração da PUC-Rio que se empenharam para que eu solidificasse meus conhecimentos na área de administração.

## Resumo

Lima, Thiago. Análise de Retorno de Investimento de Sistema Fotovoltaico On Grid. Rio de Janeiro, 2017. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este artigo técnico apresenta o retorno sobre investimento de um sistema fotovoltaico conectado à rede. É uma análise altamente importante devido a necessidade de utilizar novas fontes alternativas de energia, impulsionada pelo esgotamento das fontes convencionais em uso (água, carvão, petróleo, etc.), crescimento da população brasileira, aumento da demanda de energia e diversas questões ambientais. Desse modo este trabalho apresenta o processo de cálculo para dimensionamento de um sistema de micro geração solar fotovoltaico conectado à rede elétrica, bem como a análise do retorno sobre investimento desta instalação. Tendo em vista um mercado em rápido crescimento e que contribui fortemente para a sustentabilidade ecológica do país, foi analisado o processo de cálculo para dimensionamento de um sistema fotovoltaico on grid residencial na Barra da Tijuca e análise de retorno sobre investimento deste projeto.

### Palavras-chave

Energia renovável, geração fotovoltaica, micro geração distribuída, Minigeração distribuída, geração *on grid*.

## **Abstract**

Lima, Thiago. Return on Investment Analysis of On Grid Photovoltaic System. Rio de Janeiro, 2017. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Administração. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This technical report presents the return over investment of a grid-connected photovoltaic system. It is a highly important study due to the need of new alternative energy sources, driven by the exhaustion of conventional sources in use (water, coal, oil, etc.), energy demand and various environmental issues. This work presents the calculation process used to design solar photovoltaic systems connected to the electric grid, as well as the analysis of the return over investment of the installation. In view of a rapidly growing market that strongly contributes to the ecological sustainability of the country, this work analysis the calculation process for designing a residential photovoltaic system in Barra da Tijuca and the return over investment of this project.

### Key-words

Renewable energy, photovoltaic solar system, electric power generation, distributed micro generation, Distributed minigeneration, photovoltaic system connected to the grid.

## 1. Introdução

Nos últimos dois séculos, o consumo de energia tem crescido de forma expressiva. Entre 2010 e 2040, a agência americana “Energy Information Administration (EIA)” projeta um crescimento do consumo mundial de energia de 56 % (*U.S. Energy Information Administration, 2013*). Considerando que os recursos para produzir energia são limitados e que impactam o meio ambiente, este crescimento acelerado impõe desafios na busca de energias alternativas e constitui preocupação permanente dos gestores públicos e ambientalistas. Como resultado dessa preocupação e de políticas públicas mais conscientes, especialistas e estudiosos da área estão cada vez mais convencidos da necessidade de explorar as alternativas energéticas renováveis para interromper a dependência, principalmente, dos recursos fósseis e nucleares como fontes de energia para as mais variadas aplicações.

O sol é uma fonte natural e poderosa de energia. Sem sua luz e calor, a vida em nosso planeta não seria possível. É uma fonte de energia abundante, permanente, não poluente e renovável, cujo aproveitamento nas formas de calor e luz oferece alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios de um mundo dominado pelo consumo de energias poluentes.

A energia solar, portanto, é a principal fonte de energia da Terra sendo possível utilizá-la de maneira direta ou indireta. De certa forma qualquer tipo de energia é proveniente do sol direta ou indiretamente poderia ser chamada de energia solar. A energia hidrelétrica, eólica, da biomassa, dos combustíveis fósseis, por exemplo, são todos, formas indiretas de energia solar porque dependem de alguma forma do sol para existir.

Entretanto, costuma-se chamar de energia solar àquela proveniente da obtenção direta de energia do sol, seja por aproveitamento do calor gerado pela sua radiação (energia térmica) usada em aquecimentos de fluidos ou ambientes na geração de potência mecânica ou elétrica, ou ainda, convertendo-a diretamente em energia elétrica por meio de materiais chamados de termoelétricos e fotovoltaicos.

A população mundial e brasileira vem se preocupando a cada ano que passa, com o alto consumo dos recursos naturais para a produção de energia elétrica. Junto a isso, devido ao altíssimo valor da Tarifa energética (taxa de KW/h pago por unidade de energia elétrica), o consumidor individual tem buscado uma alternativa para melhorar todo esse sistema tornando-o mais sustentável e viável.

Por se localizar na região entre os trópicos, portanto próximo a linha do equador, o Brasil se beneficia de altos índices de radiação solar. Apesar do país possuir um enorme potencial de aproveitamento de energia solar, devido ao seu alto nível de insolação, apenas 0,4% das residências utilizam esta tecnologia. O seu uso no Brasil ainda se encontra pouco desenvolvido, quando comparado com outros países.

Sabendo da grande dificuldade de investimentos em infraestrutura que o Brasil vem passando, com o aumento de consumo energético girando em torno de 5% ao ano, e aumento da tarifa energética em média de 9% ao ano, pode-se perceber que em breve o sistema elétrico poderá entrar em colapso, pela a falta de energia para vários consumidores e com vários apagões acontecendo em todas as regiões. Essa “falta de energia” para grandes consumidores (indústrias), faz com que o país entre num ciclo vicioso de perdas de investimentos e conseqüentemente queda do crescimento econômico tão buscado pelos líderes nacionais.

## **2. Contexto da Realidade Investigada**

Neste estudo foi analisado o retorno de investimento de um SFCR (sistema fotovoltaico conectado à rede), um tipo de sistema fotovoltaico que não utiliza banco de baterias para armazenar energia, como são utilizados no sistema off grid. A energia excedente gerada pelo sistema *On Grid* é injetada na rede da distribuidora local, passando por um relógio bidirecional e assim gerando créditos energéticos que podem ser utilizados futuramente para abater o consumo. Este sistema de compensação de energia elétrica chamado de *Net Metering*, introduzido pela resolução normativa 482 da ANEEL em abril de 2012, herdado da Alemanha, viabilizou de forma extraordinária a disseminação deste

tipo de sistema acoplado à rede por todo o Brasil. O custo de um banco de baterias gira em torno de 60% do valor total do projeto. Além disso, o banco de baterias possui uma vida útil baixa de aproximadamente 5 anos o que significa que um sistema *off grid* possui um custo de manutenção bem mais alto do que o sistema *on grid* o qual possui um custo de manutenção desprezível. Por si só o sistema *Net Metering* tornou o SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) uma solução viável para um número muito maior de pessoas, uma vez que o custo se torna mais acessível.

Pelas previsões da ANEEL, até o ano de 2024, 1,2 milhão de unidades consumidoras produzirão sua própria energia, totalizando 4,5 gigas watts (GW) de potência instalada. São milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> que podem deixar de ser emitidas e milhões de reais em recurso públicos que deixam de serem gastos com a construção de hidrelétricas, termelétricas e estruturas de transmissão e de distribuição de energia elétrica.

Nos últimos anos houve um constante aumento na Conta de Luz provocado principalmente pela necessidade de uso de fontes de energia de custo mais elevado do que a da fonte hídrica, na qual se baseia a Matriz Brasileira de Energia. O grande problema da falta de energia no Brasil é que, com a incerteza climática causada pelos vários fenômenos da Natureza como o “El Niño” e “La Niña”, os períodos de estiagem tem aumentado muito, abaixando muito o nível de água dos reservatórios das empresas de geração hidrelétrica, o que se traduz na impossibilidade de gerar energia. Para atender essa falta de energia, o Governo Federal, através de sua agência reguladora e do Operador Nacional do Sistema de Geração, a complementar esse déficit de energia com o de termoelétricas e termonucleares, mais caras e extremamente poluentes. Este fato torna o sistema de geração de energia solar uma excelente opção para economizar e para preservar o meio-ambiente.

Para uma melhor compreensão do presente trabalho, são apresentados primeiramente o aspecto psicológico do comportamento do consumidor com relação à adoção de qualquer inovação tecnológica, seguido dos fundamentos sobre o sistema de conversão fotovoltaica e seu funcionamento.

A da Curva da Difusão de Ideias, sugere que a adoção de novos produtos e serviços segue a curva da figura 1.

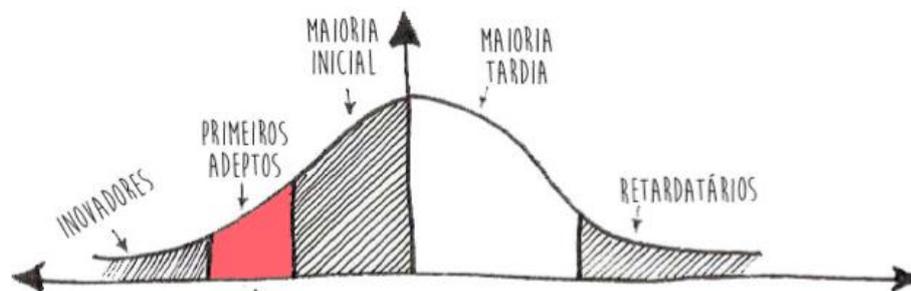


Figura 1 - Curva da Difusão de Ideias

Iniciamos com os chamados “Inovadores” e “Primeiros Adeptos”. A partir deste ponto o consumo é difundido para a grande maioria das pessoas, atingindo por último os consumidores chamados de Retardatários.

A curva demonstra que ao decorrer da vida de um produto ou serviço, o consumo se movimenta da esquerda para a direita, atingindo um número crescente de consumidores, até atingir quase todos os consumidores potenciais. O eixo X retrata os distintos grupos de consumidores que se conscientizam com uma ideia ao decorrer do tempo. O eixo Y retrata a quantidade de pessoas existentes em cada um desses grupos.

Analisando a curva, percebe-se que o sucesso de vendas de um produto ou serviço só é atingido depois que ele for aderido pelos consumidores preparados a tentar algo novo. Estes “Inovadores” ou “Primeiros Adeptos” estabelecem um ambiente favorável para que a grande massa se sinta segura ao testar a inovação. O grande sucesso em vendas só é alcançado depois que a primeira parte da curva for concluída. É desta forma que a informação é difundida.

O problema é que a maioria inicial normalmente ignora novos produtos ou serviços, até que eles sejam adotados pelos dois primeiros grupos. Ao contrário, a maioria inicial busca a opinião dos conhecidos e amigos sobre as suas experiências com produtos recém inseridos no mercado, ignorando a mídia dos fabricantes relacionadas às inovações.

Independente do setor, os produtos e serviços bem-sucedidos normalmente seguem essa curva ao serem introduzidos no mercado. Primeiramente eles são adquiridos pelos “Inovadores”, que são as pessoas que fazem questão de comprar os lançamentos à frente dos demais. Muitas vezes eles nem precisam realmente do produto, mas querem possuí-lo. Em seguida dos “Inovadores” temos os “Primeiros Adeptos”. Estes são os consumidores que se beneficiam realmente do uso de um novo produto e que são capazes de demonstrar os seus benefícios ao resto da população. Depois dos primeiros adeptos temos a “Maioria Inicial”, que não necessariamente irá se beneficiar do novo produto. Para este grupo o importante é que existam amigos suficientes utilizando e comentando a inovação, para que eles se sintam interessados e mais seguros em aderir. Este enorme grupo ignora as inovações dos fabricantes, pois possuem outras prioridades e preocupações que não os lançamentos do mercado e eles dificilmente consideram os “Inovadores” que estão localizados no lado esquerdo da curva. Para a “Maioria Inicial” são necessárias razões e provas para aderir a uma inovação. Por último temos o grupo da curva chamados de “Retardatários”. Este grupo é formado por pessoas que, por exemplo, continuam comprando VHS quando quase todos já mudaram para DVD. Eles não adotam algo novo até que o antigo produto esteja quebrado, velho ou obsoleto.

Portanto, pode-se perceber que a maioria dos consumidores não está buscando algo novo. Eles estão felizes com o que já possuem. A única chance de qualquer produto ou serviço ser bem-sucedido é posicioná-lo para um pequeno grupo de pessoas que gostam de mudanças, de coisas novas, que está constantemente esperando por novidades. Desta forma a inovação poderá ser difundida e atingir o restante da população.

## Formas de Aproveitamento de Energia Solar

A forma mais difundida de geração de energia através do sol é a geração de energia térmica através de concentradores ou coletores solares para o aquecimento de água e posterior utilização em chuveiros, por exemplo.



Figura 2 – Painel térmico com boiler

Como pode ser observado na figura 2, não existem células fotovoltaicas nestes painéis térmicos e, portanto, não há geração de energia elétrica. Outra forma de energia térmica são os concentradores que atingem temperaturas mais elevadas sendo usados para secagem de grãos e produção de vapor que também pode ser utilizado para gerar eletricidade através de turbinas a vapor.



Figura 3 e 4 – Concentradores Solar

Ele capta a energia térmica solar em uma área relativamente grande e depois a concentra em uma região muito menor aumentando consideravelmente a temperatura nesta região. Pela necessidade de concentrar o calor em uma região pequena os concentradores têm o formato de uma antena parabólica feita de material refletor onde a parte a ser aquecida fica no centro. No entanto este sistema exige a operação conjunta de um sistema de orientação (para que a “antena” fique sempre virada para o sol) o que aumenta muito seu custo.

A energia solar fotovoltaica mostra-se uma alternativa promissora para complementar a geração do sistema de energia elétrica Brasileiro. Devido à contínua queda no preço dos painéis (David et al., 2012; IEA PVPS Programme, 2013), este tipo de aproveitamento da energia solar, antes atrativo apenas em regiões remotas ou em zonas rurais, tornou-se uma solução economicamente viável para a utilização em aplicações urbanas como, por exemplo, hotéis, supermercados, farmácias, residências, *shoppings*, condomínios, hospitais entre outros.

### 3. Diagnóstico da Situação-Problema

O processo de geração de energia solar fotovoltaica funciona da seguinte maneira:



Figura 5 – Sistema de Geração Fotovoltaica

1. As placas solares geram a energia solar fotovoltaica
  - A placa reage com a luz do sol e produz energia elétrica que segue em corrente contínua – CC até o inversor. Os painéis solares, instalados sobre o telhado, são conectados uns aos outros e então conectados no Inversor.
2. O Inversor converte a energia solar
  - O inversor converte a energia solar proveniente das placas de Corrente Contínua - CC para Corrente Alternada – AC. A corrente alternada é o formato de energia elétrica que pode ser utilizado pelas cargas da residência.
3. A Energia Solar é distribuída para a residência
  - A energia que sai do inversor vai para o "quadro de luz" da residência e é distribuída para todos os cômodos.
4. A Energia Solar é usada por utensílios e equipamentos elétricos
  - A energia solar pode ser usada para TVs, Aparelhos de Som, Computadores, Lâmpadas, Motores Elétricos, ou seja, tudo aquilo que usa energia elétrica e estiver conectado na tomada.
5. O excesso de energia é injetado na rede da distribuidora gerando créditos.
  - O excesso de eletricidade volta para o quadro de luz e sai para a rede elétrica passando pelo relógio de luz bidirecional. Esse relógio mede a energia que vem da distribuidora que é consumida quando não tem sol e a energia gerada em excesso que vai para a distribuidora quando tem muito sol.

## **Principais Componentes do Projeto de um Sistema Fotovoltaico *On Grid***

Os principais produtos oferecidos pelas empresas EPC aos clientes são:

- 1) Paineis Fotovoltaicos
- 2) Inversor
- 3) Suporte de fixação

Os principais serviços oferecidos aos clientes são:

- 1) Visita técnica
- 2) Elaboração do projeto
- 3) Trâmite de solicitação de acesso à rede
- 4) Instalação
- 5) Manutenção corretiva ou preventiva
- 6) Garantias
- 7) Monitoramento de performance
- 8) Seguros

### **Regulamentação no Brasil**

A Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 tornou obrigatório o sistema de compensação de créditos, também conhecido como net metering. Assim, o usuário que deseja gerar sua própria energia pode injetar todo o excedente na rede elétrica e gerar créditos. Os créditos de energia gerados são válidos por até 60 meses. Há ainda a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades (desde que as unidades consumidoras estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular).

Além da REN 482, a REN 687 define dois novos modelos de utilização da energia fotovoltaica. Uma opção é a geração em um local e com várias unidades consumidoras, desde que as unidades estejam em um mesmo espaço. Essa modalidade é muito utilizada em condomínios. A outra opção é denominada geração compartilhada, onde a usina principal é construída em um local e a energia produzida pode ser utilizada remotamente em outras unidades consumidoras, desde que estejam na mesma concessão. Para isso as unidades precisam estar reunidas por meio de um consórcio ou cooperativa.

## 4. Análise da Situação-Problema

A situação-problema é exemplificada usando-se uma metodologia de dimensionamento em um caso real, onde são dimensionados dois equipamentos. O primeiro se refere às placas fotovoltaicas, responsáveis por converter a energia luminosa em energia elétrica, bem como a quantidade necessária de placas fotovoltaicas necessárias. O segundo é o inversor, responsável por converter a corrente contínua proveniente dos painéis em corrente alternada, tornando a energia adequada para uso em nos equipamentos e eletrodomésticos usados pelo imóvel: dimensiona-se a potência do inversor.

### Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico On Grid

Antes de avançar para o primeiro passo deve-se considerar o conceito de energia. A Figura 6 mostra um exemplo de uma Conta de Energia.

DATA	LEITURA	CONST. MEDIDOR	CONSUMO kWh	Nº DIAS
18/10/2017	13.925	1	1.000	30

INDICADORES	APURADO MENSAL	META MENSAL	META TRIMESTRAL	META ANUAL
DIC	0,68	4,83	0,67	18,34
FIC	1,00	3,17	5,35	12,70
DMIC	0,68	2,60		

DESCRIÇÃO	CFOP	UNIDADE	QUANT.	PREÇO UNIT R\$	VALOR R\$
Energia Elétrica kWh	5.258	kWh	1.000	0,84677	846,77
Contnb. Custeio Ilum Pública					47,53
Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar					
Bandeira Amarela					15,48
Bandeira Vermelha					40,61

Figura 6 – Conta de Luz

O cliente teve consumo de energia de 1000 kWh neste mês. A energia é uma unidade de potência multiplicada pelo tempo.



Unidade de Potência

Tempo

A energia que um determinado aparelho consome é a potência do aparelho multiplicado pelo seu tempo de uso.

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{Tempo}$$

Figura 7 – Equação de Energia

A Figura 7 mostra a equação a ser empregada no cálculo de dimensionamento de um sistema de energia solar.

Energia é a energia de geração, ou seja, a energia que o sistema fotovoltaico vai gerar diariamente.

A potência é a potência total dos painéis, ou seja, a potência da soma de todos os painéis.

O tempo é o tempo de exposição, ou seja, o tempo em que os painéis ficam expostos ao sol diariamente.

$$\text{Energia}_{\text{Geração}} = \text{Potência Total}_{\text{Painéis}} \times \text{Tempo}_{\text{Exposição}}$$

Figura 8 – Equação de Energia aplicada ao sistema fotovoltaico

Assim podemos utilizar essa equação para descobrir a quantidade de painéis necessários. Para isso vamos isolar a potência total dos painéis.

$$\text{Potência Total}_{\text{Painéis}} = \frac{\text{Energia}_{\text{Geração}}}{\text{Tempo}_{\text{Exposição}}}$$

Figura 9 – Potencial total isolada

A potência total dos painéis é igual a energia de geração dividida pelo tempo de exposição. Teoricamente esta equação estaria completa, porém, o sistema fotovoltaico não é livre de perdas de energia, havendo perdas

associadas ao inversor, cabos, módulos, temperatura, sombreamento entre outros, mostrando a necessidade de se adicionar ultimo termo que leva em consideração o rendimento do sistema, como se mostra na fórmula da Figura 10.

$$\text{Potência Total}_{\text{Painéis}} = \frac{\text{Energia}_{\text{Geração}}}{\text{Tempo}_{\text{Exposição}} \cdot \eta_{\text{rendimento}}}$$

Figura 10 – Potencial total com rendimento

A potência total dos painéis é igual a energia de geração dividida pelo tempo de exposição multiplicado pelo rendimento.

Essa é a equação base que se utiliza nos próximos passos para o dimensionamento da quantidade de painéis necessários.

### Passo 1 – Colhendo os dados da conta de energia

Definida a equação base, o primeiro passo que é colher os dados na conta de energia. Aqui define-se a variável energia de geração que é a energia que se requer que o sistema gere diariamente. Da conta de energia deve-se analisar o histórico de consumo nos últimos 12 meses e procurar o valor médio de consumo mensal. Caso esse valor não venha explicito, deve-se somar os últimos 12 meses de consumo e calcular a média.

Valor da Distribuição		ICMS R\$	32%	Total da Nota Fiscal R\$
Valor da Distribuição	186,37	Base de Cálculo	1.075,37	
Total	1.075,37	Alíquota	32%	*****1.075,37
		Valor (já incluído no preço)	344,12	
FINS alíquota 1,960%		VENCIMENTO		
R\$ 21,07		27/10/2017		
Lei 10.833/02 / RES ANEEL vigente)		TOTAL A PAGAR R\$		
		*****1.122,90		
CONSUMO / kWh				
OUTO	1270	NOV	1252	DEZ
AGO	1192	SETE	1132	AGO
JUL	1135	JUN	1427	JUL
MAR	1252	MAY	1408	MAR
FEV	1408	FEB	1408	FEV
JAN	2128	JAN	743	JAN
OUTO	1000	NOV	1044	OUTO

Figura 11 – Histórico de Consumo na Conta de Luz

Mês de Referência	Consumo (KWh)
ago/16	826
set/16	903
out/16	990
nov/16	1.000
dez/16	1405
jan/17	1.310
fev/17	1.058
mar/17	1.007
abr/17	945
mai/17	898
jun/17	840
jul/17	821
<b>Consumo Médio</b>	<b>1000</b>

Tabela 1 – Histórico de Consumo

Nesse caso o consumo médio mensal foi de 1000 kWh mês. Em seguida deve-se procurar, na conta de luz, o tipo de ligação normalmente localizado sobre o campo classe.

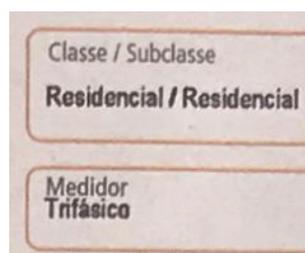


Figura 12 – Classe e tipo de ligação

Coletam-se duas informações importantes neste campo: o tipo de propriedade (se ela é residencial, rural ou comercial) e o tipo de ligação (se ela é monofásica, bifásica ou trifásica). Nesse caso ela é trifásica. Isso é importante pois o tipo de ligação está atrelado ao custo de disponibilidade que o consumidor deve pagar na conta de energia. O custo de disponibilidade é o mínimo que o consumidor é obrigado a pagar para a distribuidora. Para uma ligação monofásica o consumidor tem que pagar no mínimo 30 kWh, para uma ligação bifásica paga 50 kWh e para uma ligação trifásica paga 100 kWh, o que mostra a Tabela 2.

Tipo de Ligação	Consumo Mínimo Obrigatório
Monofásica	30 kWh
Ligação Bifásica	50 kWh
Ligação Trifásica	100 kWh

Tabela 2 – Custo de Disponibilidade

Esse dado é importante, pois influencia no dimensionamento do sistema como se demonstra a seguir.

O consumo médio mensal foi de 1000 kWh conforme observado no histórico da conta e o tipo de ligação é trifásica: portanto o consumidor tem a obrigação de pagar pelo menos 100 kWh mensais para a distribuidora. Como o consumidor é obrigado a pagar por 100 kWh ele precisa gerar apenas 900 kWh/mês para complementar o custo de disponibilidade e somar 1000 kWh de consumo, conforme mostra o esquema da Figura 13.



Figura 13 – Dimensionamento da Geração

Portanto 900 kWh/mês é a variável “Energia de Geração” da equação base, porém como é necessário transformar a energia de geração de kWh/mês para kWh/dia, faz-se esta transformação, conforme mostra a Figura 14.



Figura 14 – Dimensionamento da geração diária

Assim,  $900 \text{ kWh}/30 = 30 \text{ kWh/dia}$ , valor este que se insere na equação base e, em seguida, como passo seguinte, para o cálculo da variável “Tempo de Exposição”.

### Passo 2 – Dados Solarimétricos

No segundo passo determina-se a variável tempo de exposição, ou seja, o tempo que os painéis fotovoltaicos ficam expostos à radiação solar diariamente. Para encontrar esse valor de forma simples, utiliza-se o conceito de HSP que significa horas de sol a pico. Esse conceito se baseia no gráfico de irradiação solar ao longo do dia, conforme se observa na figura 15.

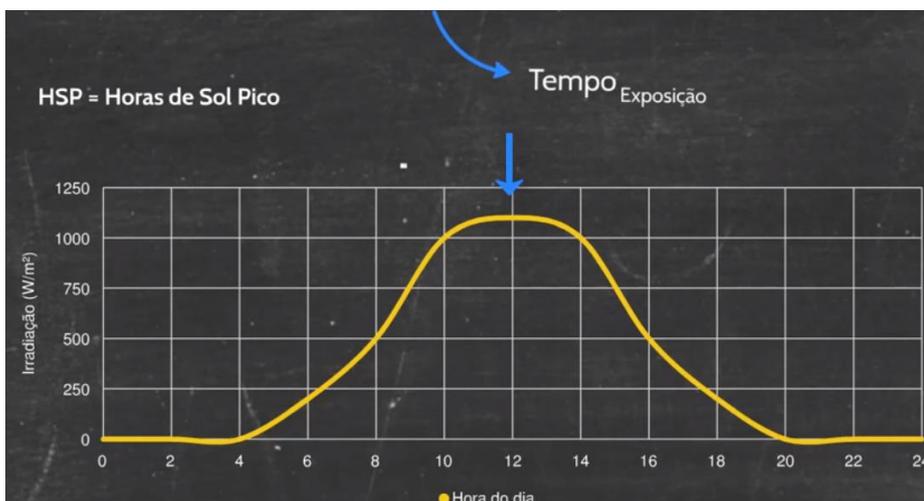


Figura 15 – Gráfico da geração

Pode-se observar nesse gráfico que a partir das primeiras horas do dia a radiação vai aumentando até atingir o seu valor máximo por volta das 12hrs. Em seguida ela vai diminuindo até anoitecer quando o seu valor se torna zero. Como a área abaixo da curva amarela representa a irradiação solar ao longo do dia, faz-se uma adaptação dessa área em formato retangular e comprimir formando um retângulo.

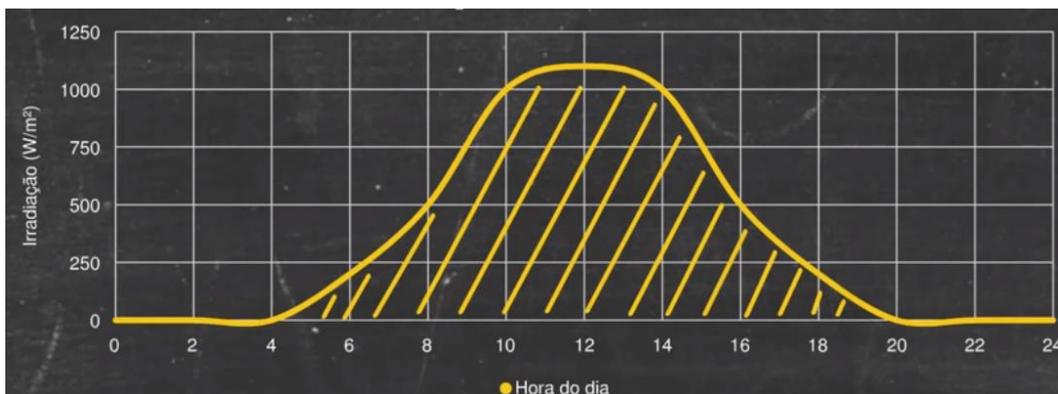


Figura 16 – Area do gráfico de geração

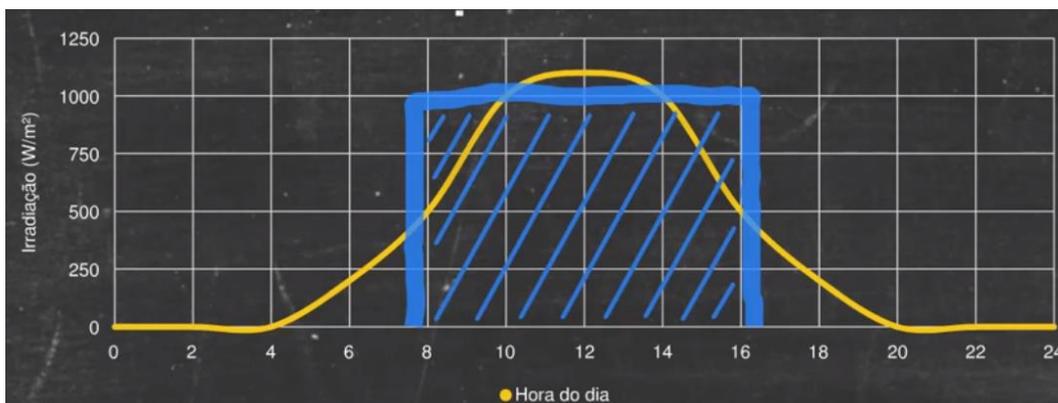


Figura 17 – Area HSP

A vantagem de se utilizar este retângulo é de se ter um valor fixo de irradiação que, no caso em questão (HSP fixado em 1000w por metro quadrado), obtém-se uma determinada quantidade de horas que representa aquela irradiação, ou seja, o próprio tempo de exposição.

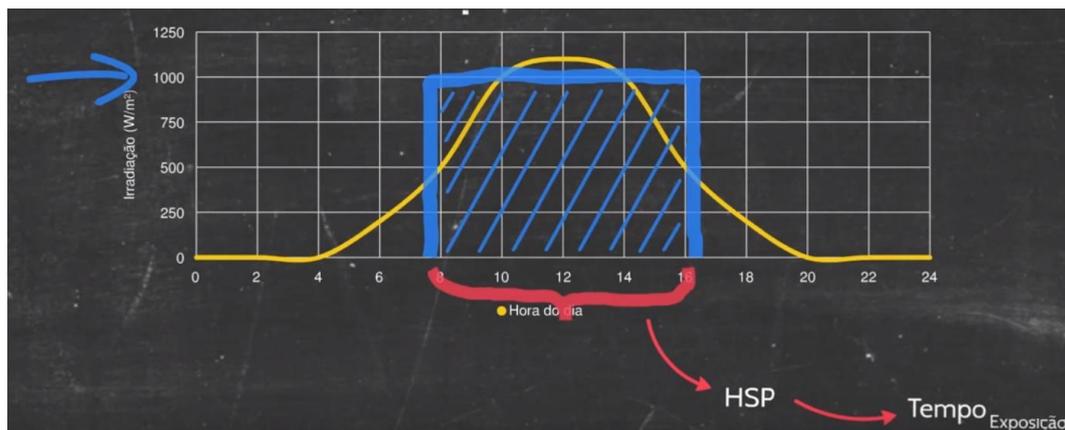


Figura 18 – Tempo de Exposição

Os gráficos das figuras 16, 17 e 18 mostram de maneira resumida o procedimento.

A vantagem de se padronizar a irradiação em 1000w por metro quadrado é que se estabelece a igualdade de condição de irradiação com que se estabelece o teste da placa, e assim poder estar de acordo com a potência máxima garantida pelo fabricante da placa, conforme mostra a tabela 3.

ELECTRICAL DATA / STC*				MECHANICAL DATA	
CS6P	260P	265P	270P	Specification	Data
Nominal Max. Power (Pmax)	260 W	265 W	270 W	Cell Type	Poly-crystalline
Opt. Operating Voltage (Vmp)	30.4 V	30.6 V	30.8 V	Cell Arrangement	60 (6×10)
Opt. Operating Current (Imp)	8.56 A	8.66 A	8.75 A	Dimensions	1638×982×40 mm
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	Weight	18 kg (39.7 lbs)
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.23 A	9.32 A	Front Cover	3.2 mm tempered glass
Module Efficiency	16.16 %	16.47 %	16.79 %	Frame Material	Anodized aluminum
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			J-Box	IP67, 3 diodes
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			Cable	4 mm² (IEC) or 1000 V (UL), 10 (650 mm) (25.6)
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC61730)			Connectors	Friends PV2a (L) Friends PV2b (L)
Max. Series Fuse Rating	15 A			Standard	26 pieces, 515
Application Classification	Class A			Packaging	(quantity & weight)
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			Module Pieces per Container	

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Tabela 3 – Datasheet do Inversor

Assim, o valor de HSP para a cidade do Rio de Janeiro é tomado da Conta de Luz, utilizando-se o *site* do CRESESB inserindo as coordenadas geográficas da residência em questão que pode ser extraída do Google Maps ao pesquisar o endereço do local de instalação, como se mostra nas figuras 19, 20, 21 e 22 e Tabela 4.



Figura 19 – Pesquisa de endereço google

Latitude:

22°59'54.7"S  
-22.998518

Figura 20 - Latitude

Longitude:

43°19'58.9"W  
-43.333030

Figura 21 - Longitude

## Site CRESESB

Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito

Principal | O Cresesb | Links | Fale conosco

- Casa Solar Eficiente
- Centros de Demonstração do SENAI
- Tutorial
- Perguntas Frequentes (F.A.Q)
- Potencial Energético
- Publicações
- Legislação
- Eventos
- Guia de Instituições e Empresas

» Potencial Energético

**Potencial Solar - SunData**

O programa SunData destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média...

- Base de Dados de radiação solar incidente (irradiação solar)
- Busca por Coordenadas
- Cálculo da Irradiação no plano Inclinado
- Apresentação dos Dados
- Sobre o Sundata

**Coordenada Geográfica**

Latitude: 22.998518 | Sul | Longitude: 43.33303 | Oeste

Norte:

- graus decimais (00.00°)
- graus, minutos e segundos (00°00'00")

Buscar | Limpar

Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° Norte e 40° Sul e de longitude na faixa de ... Em caso de dúvida entre em contato conosco.

Figura 22 – Site Cresesb

Estação: Rio: Praça 15 de Novembro  
 Município: Rio de Janeiro, RJ - BRA  
 Latitude: 22,9° S  
 Longitude: 43,174329° O  
 Distância do ponto de ref. ( 22,998518° S; 43,33303° O ): 19,6 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,86	5,67	5,22	4,06	3,83	3,22	3,78	4,06	4,22	4,86	5,28	5,61	4,64	2,64
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	23° N	5,29	5,41	5,38	4,57	4,76	4,15	4,85	4,77	4,47	4,74	4,85	5,01	4,85	1,26
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,36	5,46	5,39	4,54	4,70	4,08	4,78	4,73	4,47	4,78	4,91	5,08	4,86	1,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	34° N	4,84	5,07	5,23	4,62	5,00	4,41	5,16	4,91	4,41	4,51	4,47	4,55	4,77	,82

Tabela 4 – Dados de irradiação

Após realizar a busca pela coordenada geográfica da residência, deve-se analisar a linha Plano Horizontal onde aparecerão os valores de HSP médio diário de cada mês, porem deve-se localizar o valor médio diário anual. Para o Rio de Janeiro o HSP médio foi de 4,64 horas por dia, como mostra a Figura 23.

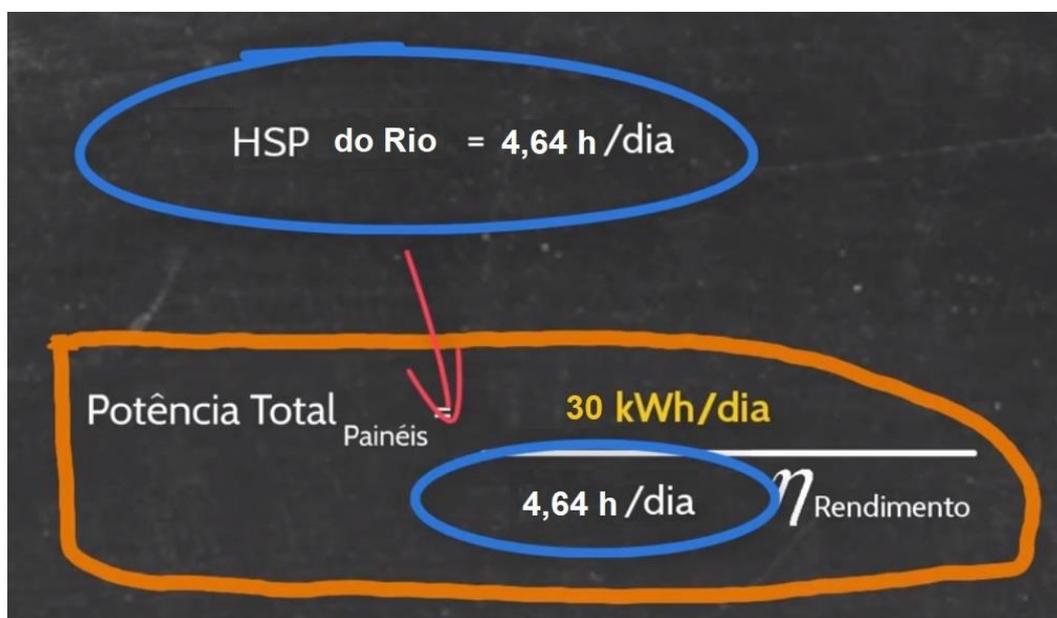


Figura 23 – HSP na equação base

Com o dado assim determinado para a variável “tempo de exposição” para o Rio de Janeiro, entra-se na formula base e determina-se a variável Rendimento.

### Passo 3 – Rendimento

O rendimento está associado a diversos fatores. O principal deles é a perda por temperatura. Na Figura 24 estão determinadas as perdas consideradas para cada um desses fatores.



Figura 24 – Perdas de rendimento

Assim, obtém-se o rendimento global de 80%, valor este utilizado para esta variável na equação base.

#### Passo 4 – Cálculo da potência total dos painéis

Nesta etapa calcula-se efetivamente a quantidade de painéis necessários utilizando as variáveis encontradas anteriormente, usando-se a equação base do

Energia<sub>Geração</sub> = 30 kWh/dia

HSP Rio = 4,64 h/dia

$\eta_{\text{rendimento}} = 80\% = 0,8$

Formula Dimensionamento:

$$\text{Potência Total}_{\text{Painéis}} = \frac{\text{Energia}_{\text{Geração}}}{\text{Tempo}_{\text{Exposição}} \times \eta_{\text{rendimento}}}$$

Potência Total<sub>Painéis</sub> =  $\frac{30 \text{ kWh/dia}}{4,64 \text{ h/dia} \times 0,8} = 6,47 \text{ kWp}$

Figura 25 – Resultado equação Base

Cálculo de potência necessária a ser gerada pelo painel solar, resultando 6,47 kWp, conforme mostra a Figura 25. A potência total dos painéis é comumente chamada de Quilowatt pico (kWp), ou seja, a potência máxima resultante da soma de todas as placas fotovoltaicas.

Portanto somando a potência individual de cada painel, será necessário para este sistema pelo menos 6,47 kW de potência para conseguir gerar os 30 kWh/dia necessários.

### Passo 5 – Calculo quantidade de painéis

Nesta etapa, calcula-se a quantidade de painéis necessários. Com a potência total dos painéis já calculada, basta escolher qual será a potência individual de cada placa. Para a residência em questão foi utilizada placas com potência individual de 330w. Portanto para descobrir a quantidade de painéis basta dividir a potência total dos painéis pela potência individual do painel escolhido. A Figura 26 resume o procedimento da definição do painel a utilizar.



Figura 26 – Definição do painel a ser utilizado

### Passo 6 – Escolha do Inversor

Nesta etapa faz-se a escolha do inversor. Como a potência total das placas ficou no valor de 6,6 kWp, o ideal é escolher um inversor com potência próxima a este valor. A potência do inversor para este sistema deve ser no máximo 20% maior do que a potência total das placas ou no mínimo 20% menor do que a potência total das placas, para não ocorrerem perdas significativas ou risco de danificar o equipamento. Portanto a potência ideal do inversor está compreendida entre 5,28 kW e 7,92 kW. A Figura 27 resume o procedimento.



Figura 27 – Dimensionamento do Inversor

## Local do projeto

O local escolhido para o estudo é uma residência na Barra da Tijuca - Rio de Janeiro, onde foi instalado o sistema *FV On Grid*. Sua localização é aproximadamente 20 metros de altura em relação ao nível do mar. A figura 28 mostra a Imagem aérea do local de implantação do sistema Solar, obtida através do Google Earth, 2017.

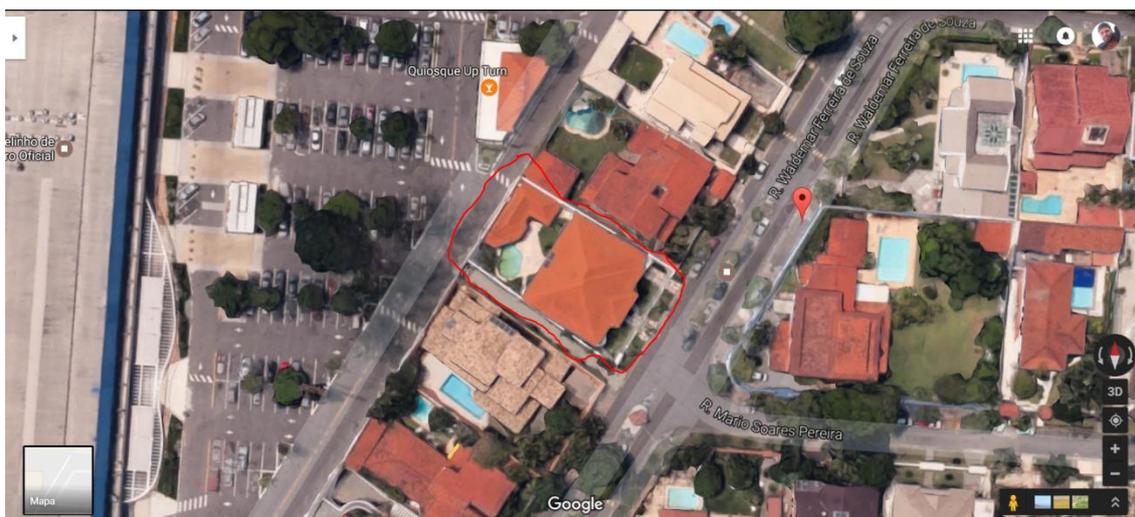


Figura 28 – Local de instalação

## Tipo de Telhado

Os módulos fotovoltaicos foram instalados em telhado do tipo cerâmico, com telhas portuguesas, do tipo identificado na Figura 29.



Figura 29 – Tipos de Telha

## Escopo dos Equipamentos do Sistema FV

O sistema adotado para este trabalho foi o sistema *on grid* constituído pelos equipamentos e materiais identificados na Tabela 5:

Equipamento	Modelo	Quantidade
Módulos Fotovoltaicos	CANADIAN SOLAR 72CELLS 330W	20
Inversor(es)	ABB PVI-6000-TL-OUTD-5	1
	-	-
Cabos	-	Compatível ao projeto
Equipamentos de Proteção	-	Compatível ao projeto
Estrutura	-	Compatível ao projeto
Transformador	-	Compatível ao projeto
Sistema de Monitoramento	-	Compatível ao projeto

Tabela 5 – Escopo dos equipamentos

## Área disponível para Instalação dos Painéis Solares

Área das Águas para instalação do arranjo fotovoltaico:

Água NW = 105 m<sup>2</sup>

Água NE = 55 m<sup>2</sup>



Figura 30 – Telhado Noroeste

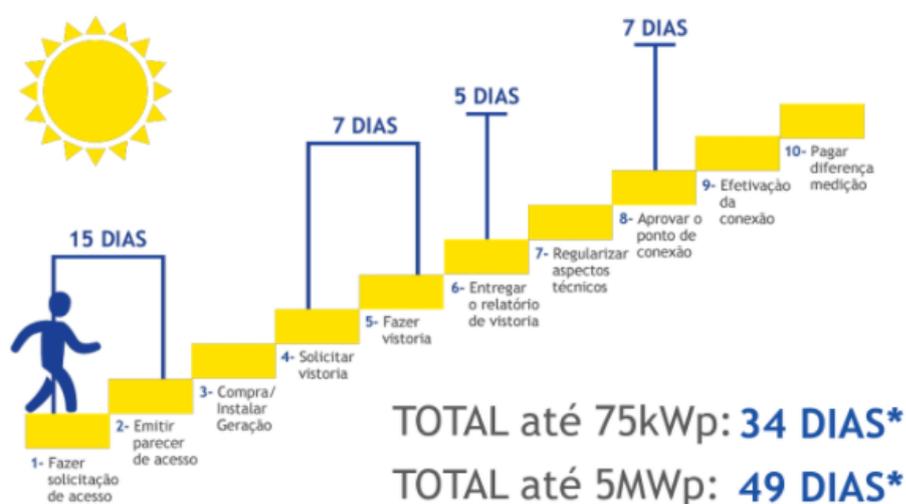
A área disponível para este projeto é de aproximadamente 160 metros quadrados no telhado da residência apresentada na figura 30, dividido em duas

águas de caimento em telhado de cerâmica, que comporta um total de 80 placas solares. O sistema dimensionado utilizará 40 m<sup>2</sup>.

Os módulos fotovoltaicos foram dispostos no telhado no sentido Noroeste e a inclinação adotada para os módulos fotovoltaicos foi a mesma do telhado, ou seja, um ângulo de 30°.

## Processo de Implantação

A Figura 31 demonstra de forma resumida o prazo necessário para a implantação de um projeto de aproveitamento de energia solar pela tecnologia fotovoltaica *on grid*.



\*Tempo da Concessionária de Energia

Figura 31 – Passo a passo para implantação

## Custo total do Sistema

O custo do dimensionamento realizado foi de R\$ 34.139,23 (trinta e quatro mil, cento e trinta e nove reais e vinte e três centavos), considerando todos os componentes e serviços necessários para implantação da usina.

### Preço

**Sistema Fotovoltaico Completo** (Equipamentos, Instalação, Registro na Distribuidora, Monitoramento e Seguros)

**R\$34.139,23**

Figura 32 – Preço total do Sistema On Grid

Este é o valor utilizado para realizar as análises financeiras de retorno de investimento utilizado: Payback, TIR, VPL.

## Análise de Viabilidade

O projeto do estudo da instalação dos módulos solares tem um custo (orçamento do projeto) que, em geral, deve ser desembolsado logo ao início do projeto para capitalizar o maior retorno possível uma vez que não há incidência de juros.

As técnicas de análise de investimento geralmente empregadas são a de *Payback* Simples, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

## Análise Financeira e Vantagens

### Redução IMEDIATA da Conta de Luz

ANTES	ECONOMIA	DEPOIS
<b>R\$846,77</b> Gasto Mensal	<b>R\$762,09</b> 90%	<b>R\$84,68</b> Gasto Mensal



Tarifa Distribuidora: **R\$0,85/kwh** + Inflação Energética de 9,6%

Tarifa Sistema Solar: **R\$0,14/kwh**

O seu sistema gerará energia a um custo de R\$0,14 por kwh, levando-se em conta o investimento e geração em 25 anos. Além disso, o risco da inflação energética é anulado com o sistema solar.

Figura 33 – Comparação conta de luz antes versus depois da implantação



Figura 34 – Fluxo de caixa projeto fotovoltaico

A figura 33 mostra a comparação da conta de luz antes e depois da implantação e a Figura 34 mostra o fluxo de caixa do sistema fotovoltaico dimensionado.

## **Payback**

*Payback*, ou prazo de recuperação do investimento, é uma das técnicas de análise de investimento mais utilizadas. Esta técnica calcula o período (prazo) que o investidor irá precisar para recuperar o capital investido.

Nesse sentido, o *payback* permeia desde o ciclo de vida do projeto até o ciclo de vida do produto. Talvez por este motivo seja dita como uma metodologia apropriada para projetos com risco elevado. Sob o ponto de vista do *payback*, o projeto é considerado viável quando o prazo encontrado como resultado do cálculo for menor que o prazo desejado para a recuperação do investimento.

Considerando que o investimento seja realizado a vista, portanto sem juros, o sistema em análise ficou com *payback* de 3 anos e 10 meses.

## **Valor Presente Líquido (VPL)**

Este método traz a valor presente todos os fluxos de caixa referentes a aplicações e retiradas do projeto (não há necessidade de o fluxo ser constante). Também considera o risco do projeto através da taxa de desconto. Um VPL positivo indica um projeto com lucro. Um VPL negativo indica prejuízo. E um VPL igual a zero significa que o projeto se paga (sem lucro, mas também sem prejuízo). O resultado do VPL foi de R\$ 126.721,84, portanto é um investimento muito viável.

## **Taxa Interna de Retorno (TIR)**

A TIR, em inglês chamada de IRR – *Internal Rate of Return*, tem foco na variável taxa, enquanto o *Payback* simples tem foco no variável tempo e o VPL no valor do fluxo de caixa em uma data base. A TIR é um número obtido internamente no projeto a partir dos fluxos de caixa esperados.

O cálculo da TIR envolve calcular a taxa de juros que tornaria nulo o VPL. A TIR para este investimento foi de 42,11%, provando ser um investimento melhor do que a maioria das aplicações financeiras convencionais.

## 5. Conclusões e Contribuição Tecnológica-Social

A necessidade de inserção de fontes alternativas e renováveis de energia tem sido cada vez mais necessária com o aumento crescente do consumo de energia elétrica e dos problemas ambientais causados, principalmente pela queima de combustíveis fósseis e nucleares e dentre essas alternativas, a energia solar apresenta uma viabilidade real e importante para o País.

No processo de conversão de energia solar em energia elétrica, o uso de células fotovoltaicas se tornou uma alternativa extremamente viável, pois utiliza uma fonte de energia inesgotável se considerada a escala de tempo geológico. Além disso, apresenta vantagens adicionais de não ser poluidora, seja do ponto de vista de meio ambiente, seja do ponto de vista sonoro, pois os módulos fotovoltaicos não geram ruídos durante o processo de conversão. Esta tecnologia, apesar de ser relativamente nova no Brasil futuramente, com sua evolução, não só melhorará a eficiência das células fotovoltaicas, como também fará com que seu custo de fabricação seja menor, fatos esses comprováveis em outros processos tecnológicos inovadores observados nos diferentes setores da economia.

Outro aspecto importante a ser observado é que, com a Resolução Normativa da ANEEL, hoje há a possibilidade de se aproveitar o excedente de energia gerada na residência para a Concessionária Distribuidora de energia elétrica, o que significa uma vantagem adicional tanto para o Consumidor que, desta maneira pode abater esse excedente de sua Conta de Luz, como também para a Concessionária, já que receberá energia barata sem necessidade de investimentos na distribuição dessa energia recebida.

No exemplo de aplicação residencial, este trabalho mostra que o investimento tem um retorno em três anos e dez meses: um VPL de R\$ 126.721,11 (cento e vinte e seis mil e setecentos e vinte um reais e onze centavos) e uma TIR de 42,11%.

Assim, a geração de energia distribuída mostra-se como uma alternativa real ao uso da energia fornecida pela rede elétrica convencional, que a cada dia

fica mais cara no Brasil. O sistema fotovoltaico pode ser considerado como uma forma, também, de seguro contra a inflação energética para o consumidor com média histórica de 9% ao ano.

Para tornar a energia solar ainda mais vantajosa e competitiva é necessário ainda muito investimento em toda a cadeia de valor deste setor.

## **Sugestões Para Futuros Trabalhos**

O estudo para este artigo permitiu o conhecimento inicial necessário para esta inovação tecnológica, mas, pelo comportamento do ser humano frente a inovações tecnológicas, seria interessante o estudo de outras aplicações não apenas residenciais, como foi o caso deste trabalho. Para que o ser humano, seja melhor convencido da vantagem deste tipo de investimento, seria oportuno incentivar o aproveitamento desta tecnologia em um agrupamento maior de pessoas tais como: redes hoteleiras, hospitais, condomínios de casas e empresas de pequeno e médio porte para que, com o aumento de demanda dos equipamentos nele utilizados, consiga-se o barateamento do custo dos equipamentos necessários e, no médio prazo, aliviar o custo de investimento necessário para o atendimento do aumento de consumo de energia elétrica no Brasil, desafio crescente para as autoridades responsáveis pelo setor.

## Referências Bibliográficas

ABREU, José Carlos Franco de. Finanças Corporativas. 7ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

ANEEL.AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa N° 414, de 9 de Setembro de 2010.

----- . Resolução Normativa N° 482, de 28 de Novembro de 2016.

----- . Resolução Normativa N° 517, de 11 de Dezembro de 2016.

----- . ANEEL Aprova Regras para Facilitar a Geração de Energia nas Unidades Consumidoras. 17 de Abril, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>> Acesso em: 28 de novembro, 2016.

ALBADÓ, Ricardo. Energia Solar. São Paulo, SP; Ed. Artliber, 2002.

APOLO ENERGIA. Disponível em: < <http://www.apoloenergia.com/>>.

BCP, Banco Central do Brasil. 2014.

CRESESB, Centro de Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ, PRC-PRODEEM, 2004.

COUTO, Maurício Barcelos. Ensaio de Equipamentos de Consumo Típicos Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos. 2000. 138f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS. 2000.

DISTRITO FEDERAL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial: manual de energia solar. Brasília, 1978.

Agência Nacional De Energia Elétrica (Aneel). **ANEEL amplia possibilidades para micro e minigeração distribuída.** Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/output\\_noticias.cfm?identidade=8955&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/output_noticias.cfm?identidade=8955&id_area=90)>. Acessado em 23/03/2016

Agência Nacional De Energia Elétrica (Aneel). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 2ª Edição.** Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas>>. Acessado em 18/03/2016.

**Alíquotas e partilha do Simples Nacional – Comércio.** Disponível em: <<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/simples-nacional-anexoi.html>>. Acesso em 17/04/2016

**Atlas solarimétrico do Brasil.** <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_solarimetrico\\_do\\_brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_solarimetrico_do_brasil_2000.pdf)>. Acesso em 30/03/2016

BESSANT, John; TIDD, Joe. **Inovação e empreendedorismo.** São Paulo: Bookman, 2009.

BRAGA, Renata P. **Energia solar fotovoltaica – Fundamentos e aplicações.** 2008. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008. Disponível em <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>> Acesso em 03/04/2016.

DIAMANDIS, Peter H; KLOTTER, Steven. **Abundância: o futuro é melhor do que você imagina.** São Paulo, HSM Editora, 2012

HISRICH, Robert D., PETERS, Michael P., SHEPERD, Dean A.. **Empreendedorismo – 9ª Edição.** Porto Alegre: AMGH, 2014.

Ministério de Minas e Energia. **Brasil lança Programa de Geração Distribuída com destaque para energia solar.** Disponível em: <<http://www.blue-sol.com/energia-solar/brasil-lanca-programa-de-geracao-distribuida-com-destaque-para-energia-solar/>>. Acessado em 20/03/2016

Neosolar Energia. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes.** Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em 11/04/2016

ROSA, Cláudio A. **Como elaborar um plano de negócios.** Belo Horizonte: SEBRAE/MG, 2004 *Website* TCC, Monografias e Artigos. **Formatação de trabalhos acadêmicos pelas regras e normas padrão.** Disponível em: <<http://www.tccmonografiaseartigos.com.br/regras-normas-formatacao-tcc-monografias-artigos-abnt>>. Acesso em 26/04/2016

Smart Energy. Disponível em: <<http://www.smartenergy.org.br/portal/wp-content/publicacoes-e-artigos/13%20Dimensionamento%20e%20viabilidade%20de%20sistema%20fotovoltaico.pdf>>

Portal Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/sistema-fotovoltaico--como-funciona.html>>