



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

**VANESSA NOGUEIRA TEIXEIRA**

**ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO**  
**CONECTADO À REDE EM UMA INDÚSTRIA**

**Abaetetuba - PA**

**2015**

**VANESSA NOGUEIRA TEIXEIRA**

**ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO  
CONECTADO À REDE EM UMA INDÚSTRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Baixo Tocantins, como requisito final para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Industrial, sob orientação do Prof. Me Disterfano Lima Martins Barbosa.

**Abaetetuba-PA  
2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

T266a Teixeira, Vanessa Nogueira.  
ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM  
SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA  
INDÚSTRIA / Vanessa Nogueira Teixeira. — 2015.  
59 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Disterfano Lima Martins Barbosa  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de  
Engenharia Industrial, Abaetetuba, 2015.

1. Energia Solar. 2. Sistema fotovoltaico conectado à rede.  
3. Análise Econômica. I. Título.

CDD 620

---

**VANESSA NOGUEIRA TEIXEIRA**

**ANÁLISE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO  
CONECTADO À REDE EM UMA INDÚSTRIA**

Este Trabalho de conclusão de curso foi julgado e aprovado, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial pelo corpo docente da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Baixo Tocantins.

Abaetetuba, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2015.

---

Prof. Me. Disterfano Lima Martins Barbosa  
UFPA  
Orientador

---

Prof. M<sup>a</sup>. Elaine Cristina Angelim  
UFPA  
Examinador

---

Prof. Dr. Harley dos Santos Martins  
UFPA  
Examinador

*Primeiramente a Deus, por seu infinito amor e proteção. A Francisco Teixeira e Socorro Nogueira, Tenho muito orgulho de chamá-los de pai e mãe! A meus irmãos, em especial, João Paulo, que tenho como meu filho de coração e da alma, pois em cada obstáculo encontrado nessa jornada, pensei nele e em tudo o que eu poderia proporcioná-lo se conseguisse superar os percalços. Amo vocês!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por nortear meu caminho, me dando forças para seguir em frente. Aos meus familiares, especialmente meus irmãos (Aline, Diego, Marcelo, Herculano, Isabele e João Paulo), meus pais por todos os conselhos, por terem me orientado seguir caminhos corretos, pela paciência e apoio, principalmente nos últimos meses de faculdade, por todo amor que dedicaram a mim, a vocês devo a pessoa que me tornei.

Aos amigos que conquistei na faculdade, a turma de Engenharia Industrial 2010 deixará saudades. Quero agradecer em especial, a Andréia Lobato, que sempre esteve ao meu lado, desde o primeiro dia de aula, nos melhores momentos as piores provas, maratonas de estudo e nas fases mais difíceis durante o curso, não desistimos e nos mantemos unidas, na alegria e na tristeza como costumávamos dizer e conseguimos chegar até o fim juntas. A minha eterna “comp” Laenna e a Lorrany, espero tê-las como amigas e confidentes para sempre e aos demais amigos Yara, Amanda, Deisy, Edinaldo (Kako) e Altobele, não é fácil ter que se mudar para uma cidade que não conhecemos e ficar longe da família, vocês tornaram esses anos mais fáceis, com vocês dei as melhores risadas, vivi momentos únicos que vou guardar para sempre. Que venham muitos outros nessa nova fase. Amo vocês!

Ao professor que os alunos tinham como “companheiro” Lamartine Vilar de Souza um dos melhores professores que tive durante a graduação, o senhor esteve presente no início desse ciclo a cinco anos atrás, me sinto feliz por tê-lo presente ao final dele, muito obrigada por toda ajuda no momento crítico no desenvolvimento deste trabalho, só quem passa por isso sabe o quanto é importante encontrar pessoas como o senhor dispostas a ajudar.

A vera de Jesus, pela educação e ajuda, sua colaboração fornecendo os dados necessários para a realização deste trabalho foi primordial.

As demais pessoas que de alguma forma contribuíram para a conclusão dessa pesquisa em especial: Marcos André Melo pelo apoio e pelas horas tentando desvendar algumas fórmulas usadas nesse trabalho, Prof. Hallan Max Souza pelas dicas e materiais disponibilizados, José Gonçalvez pela educação e informações acerca de sistema solar fotovoltaico, Abel Lima da empresa Solar Castanhal pela atenção e por fornecer o orçamento apresentado neste trabalho, Fellipy Fernando por ler meus textos, pelas sugestões, por ouvir minhas reclamações e me incentivar a não desistir, prof. Harley pelas sugestões e Ramon Muniz pela ajuda.

Ao professor Disterfano Lima, pela orientação e liberdade na condução deste trabalho. Foi difícil, foi estressante, mas conseguimos. Sei que deve ter sido complicado me acompanhar nessa jornada, mas conseguimos.

A todos os professores do Campus Universitário de Abaetetuba que participaram e contribuíram para minha formação acadêmica.

E aos professores que aceitaram o convite para fazer parte da banca examinadora.

Obrigada, vocês fazem parte dessa conquista!

“Eu colocaria meu dinheiro no sol e na energia solar. Que fonte de energia! Espero que não precisemos esperar até que o petróleo e o carvão acabem para encarar isto”

- **Thomas Edison** *Em conversa com Henry Ford e Harvey Firestone, em 1931.*

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de viabilidade econômica da geração de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico conectado à rede no setor industrial. Este estudo foi realizado a partir do levantamento de dados reais tais como o consumo de energia por parte da organização e características do local onde pretende-se instalar o sistema. A partir destas informações, foram definidos os parâmetros de dimensionamento do sistema, como a potência do sistema fotovoltaico, materiais e orçamento com os custos e por fim realizar os cálculos referentes a análise econômica para demonstrar se é mais viável utilizar a energia fornecida pela concessionária local ou a gerada através do sistema fotovoltaico. Ao final do estudo, foi constatado que o sistema fotovoltaico proposto é viável economicamente, apresentando um valor por quilowatt hora mais barato que o valor oferecido pela concessionária.

**Palavras-chave:** Energia Solar. Sistema fotovoltaico conectado à rede. Análise Econômica.

## **ABSTRACT**

The energy generated by the sun through the photovoltaic system is characterized by being an attractive alternative for generating electricity, since it is a natural resource available that being properly handled can provide benefits such as decreased spending on power generation and preservation environment. Brazil has the potential to be one of the largest producers and consumers in this sector with a view that is one of the world's largest silicon producers and has high solar incidence. As a result, this paper presents a feasibility study of electricity generation through photovoltaic system connected to the network in the industrial sector realized from the actual data collection and site characteristics where you want to install the system and electric power bills because from this information you can set the system power, design, budget, and finally perform the calculations regarding the economic analysis to demonstrate whether it is more feasible to use the power supplied by the local utility or generated by the photovoltaic system.

**Keywords:** solar energy. PV system connected to the network. economic analysis.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	17
2.2 CONCEITOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	18
<b>2.2.1 Radiação solar</b> .....	18
<b>2.2.2 Energia solar fotovoltaica e o efeito fotovoltaico</b> .....	19
<b>2.2.3 Tipos de células</b> .....	21
<b>2.2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos</b> .....	23
<b>2.2.5 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR)</b> . 25	
<b>2.2.6 Vida útil e prazo de garantia e manutenção.</b> .....	26
<b>2.2.7 Resolução, Financiamento e concessão</b> .....	27
2.3 SIMULADOR SOLAR .....	28
2.4 TRABALHOS REALIZADOS SOBRE VIABILIDADE DE SFCR.....	29
<b>3 ESTUDO DE CASO</b> .....	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 DADOS PARA A REALIZAÇÃO DO PROJETO DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....	34
3.3 SIMULAÇÃO .....	35
3.4 ORÇAMENTO: MATERIAIS, INSTALAÇÃO E MÃO-DE-OBRA.....	40
<b>4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA</b> .....	43

4.1 ENERGIA ECONOMIZADA .....	43
4.2 PERÍODOS DE RETORNO .....	46
4.3 CUSTO DO KILOWATT-HORA .....	48
4.4 DISCUSSÕES .....	51
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>53</b>
5.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	54
5.2 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	54
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A busca por novas fontes de energia para geração de eletricidade, parte da necessidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis em função do aumento da demanda de energia elétrica em todo o mundo.

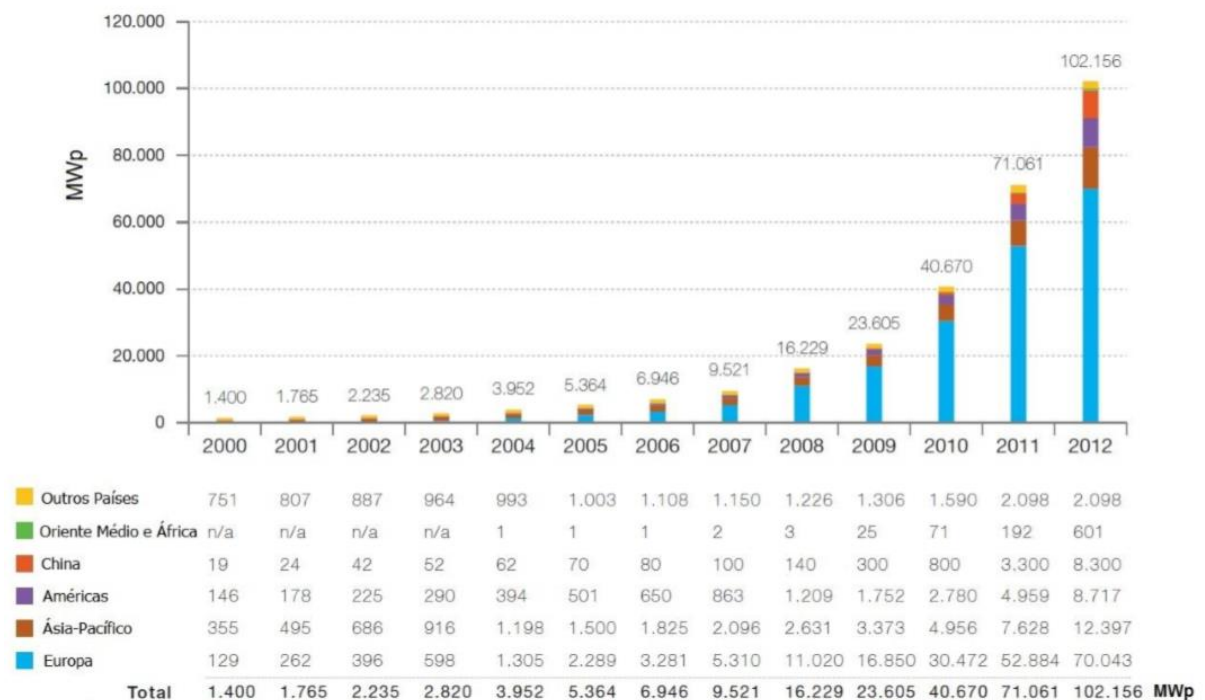
As fontes não renováveis de energia ainda formam a grande maioria na geração de eletricidade no planeta, como por exemplo, usinas nucleares e termelétricas a carvão e petróleo. Contudo, o uso de fontes limpas de energia como a solar, eólica e biomassa vem se tornando crescente. Dentre essas fontes, a que mais se destaca é a solar, apesar de ainda possuir uma participação reduzida na matriz energética mundial, seu uso vem crescendo consideravelmente e alcançando um crescente espaço em políticas públicas e no mercado privado. (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

A eletricidade proporciona a sociedade uma série de praticidades, como acender uma lâmpada, ligar uma máquina, um televisor ou até mesmo o chuveiro elétrico, isso graças a exploração de combustíveis e minerais não renováveis, poluidores e perigosos que trazem degradação ao meio ambiente. Além da certeza de que esses recursos vão se esgotar algum dia, outro fator negativo é que a queima de combustíveis fósseis que poluem a atmosfera e contribuem para o aquecimento do planeta através do efeito estufa. Desta forma, a sociedade possui o desafio de se tornar cada vez menos dependente de fontes que não se renovam.

Outra questão importante é a demanda crescente do consumo de energia elétrica, que mais que triplicou após a Revolução Industrial. Estudos realizados recentemente demonstram uma tendência de crescimento que aponta que até a segunda década deste século o consumo de energia nos países em desenvolvimento irá ultrapassar o consumo nos países desenvolvidos, devido as atuais melhorias dos parâmetros sócio econômicos. (PEREIRA & RUTHER, 2006). Além disso, o aproveitamento da energia solar se tornou uma alternativa promissora para enfrentar esses desafios.

Segundo Pinho & Galdino (2014), a criação de tecnologias que possibilitam a exploração de fontes renováveis vem se expandindo, principalmente em países como China, Alemanha e Estados Unidos. Como pode ser analisado no gráfico da figura 1, que demonstra uma previsão de consumo até 2030, junto a proporção do uso de energia fotovoltaica no mundo durante o período de 2000 a 2012. Neste, pode-se observar que o maior mercado fotovoltaico encontra-se instalado na Europa, cerca de 74% da produção mundial, em seguida, Japão e Estados Unidos.

Figura 1 - Evolução da potência instalada em sistema fotovoltaico no mundo.



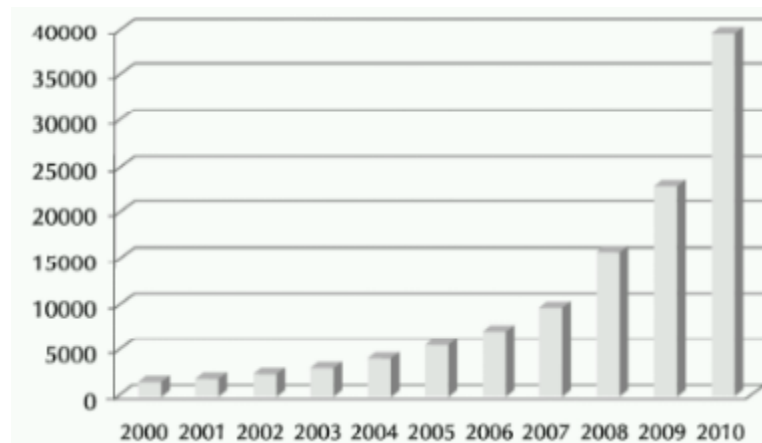
Fonte: PINHO & GALDINO, 2014.

Villalva & Gazoli (2012), preveem que as energias solar e eólica, que atualmente são consideradas apenas alternativas e possuem pouca participação na matriz energética mundial, serão as principais fontes de energia para o futuro da humanidade, sendo que a solar fotovoltaica irá ocupar o lugar mais importante no cenário energético. Como pode ser visto no gráfico da figura 2 que demonstra o crescimento do uso de energia solar fotovoltaica no mundo.

De acordo com o gráfico em 2000 existia menos de 5 GW (gigawatts) de capacidade para gerar eletricidade através de sistemas fotovoltaicos. Em 2010, essa capacidade aumentou para aproximadamente 40 GW e continua crescendo constantemente.

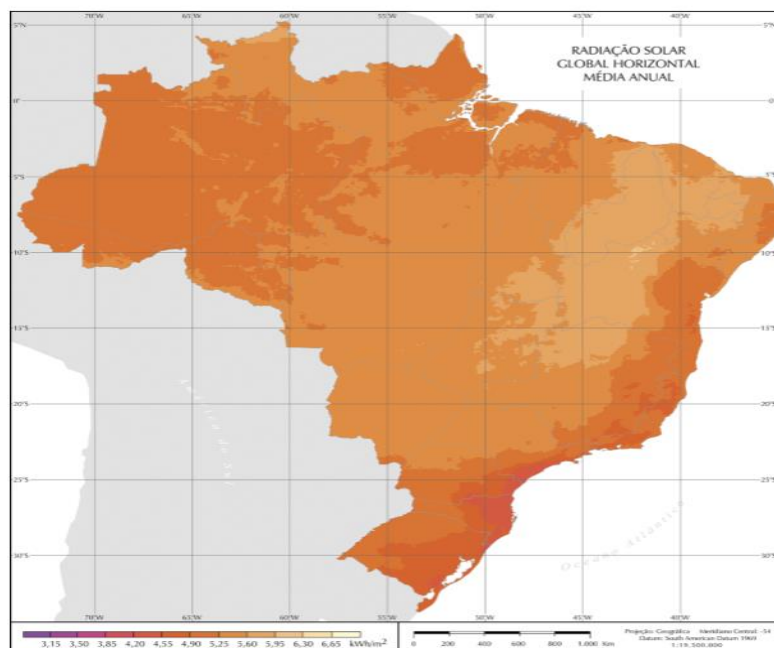
No Brasil o uso de sistema fotovoltaico ainda é pequeno, a expectativa é que essa realidade mude, pois o país em todo o seu território recebe altos índices de irradiação solar, principalmente se comparado a países da Europa, onde o uso deste sistema já está disseminado. Na figura 3 pode ser analisada a radiação média anual no Brasil que varia entre 1.200 e 2400  $kWh/m^2 \cdot ano$ , valores que são significativamente superior a maioria dos países europeus, que ficam entre 900 e 1.250  $kWh/m^2 \cdot ano$ . (MIRANDA, 2014).

Figura 2 – Crescimento mundial da energia solar fotovoltaica



Fonte: GAZOLI & VILALVA, 2012

Figura 3 - Média anual da radiação solar global horizontal no Brasil



Fonte: PEREIRA; MARTINS; RUTHER, 2006

Estima-se que a energia solar incidente sobre o Brasil durante um ano seria suficiente para suprir a energia média consumida pela humanidade durante um ano (AMÉRICA DO SOL, 2015).

Além de poder ser usada em todo o território brasileiro e poder constituir usinas de geração, competindo com as tradicionais fontes de energia, estes sistemas podem se adaptar à arquitetura com facilidade, como em paredes, fachadas, telhados de prédios e residências, podendo ser facilmente instalados em cidades e grandes centros urbanos, desde que haja incidência de luz. Além disso, possibilitam a produção local de energia elétrica sem emissão de gases poluentes, resíduos ou ruídos e contribuem para o suprimento de energia dos centros consumidores, tornando mais limpo o ar que respiramos e mais sustentável o modo de vida da sociedade.

O sistema fotovoltaico também pode aumentar a oferta de energia elétrica, principalmente no setor industrial, pois apresenta seu pico de geração de eletricidade durante o dia, justamente quando as indústrias demandam mais energia.

Espera-se que, futuramente, com os avanços tecnológicos e investimentos no setor, a demanda de eletricidade no planeta possa ser atendida a partir de fontes renováveis. Mas, para isso, é necessário o engajamento da iniciativa privada, governamental e dos cidadãos no intuito de intensificar seu uso, aliviando o sistema de distribuição hidráulica e descentralizando a produção de energia elétrica, além de tornar sua produção sustentável.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2014, a matriz elétrica brasileira é composta em sua grande maioria, pela energia de origem hidráulica, aproximadamente 70,6%. A construção de usinas hidrelétricas tende a alagar grandes áreas, causando enormes impactos ambientais, com longos períodos de obras e uma rígida legislação ambiental. Além disso, a construção de usinas hidrelétricas não podem ocorrer em locais próximos a grandes centros urbanos, fator que gera elevação nos gastos com a transmissão da energia gerada, já que se faz necessário construir longas linhas de transmissão; por consequência, quanto maior forem as linhas, maiores serão as perdas de energia.

Outro fator relevante é o longo período de seca dos últimos anos, que diminui a quantidade de água nos reservatórios, um risco que agrava a crise econômica do país por ocasionar sucessivos aumentos nas contas de energia em diversos Estados da federação. Desta

forma, é necessário buscar outras fontes de energia elétrica, que sejam renováveis e que não agridam o meio ambiente. Uma alternativa que diminua também a dependência de apenas uma fonte energética e possíveis problemas com apagões e racionamento de energia.

A energia solar é uma alternativa para contornar esses problemas, por diversos motivos, entre eles: ser uma fonte inesgotável, não causar degradação ao meio ambiente, ser confiável, possuir fácil instalação o que diminui o tempo de implantação, ser potencialmente capaz de zerar ou reduzir o valor da conta de energia. O fato do Brasil ser um país tropical, torna ainda mais viável a utilização do sistema em todo seu território.

Dentre os tipos de sistemas, o conectado à rede se destaca, pela possibilidade de gerar energia elétrica para a concessionária e por poder usar a energia da mesma, caso não consiga suprir sua demanda.

Apesar do enorme potencial energético do país, ainda existem poucos painéis fotovoltaicos conectados à rede instalados. No entanto, a queda nos preços dos painéis e a resolução da Aneel nº 482 aprovada em abril de 2012, que permite a instalação de geradores nas unidades consumidoras e a realização de uma troca de energia com a distribuidora, desde que a fonte de energia seja alternativa, impulsionou a procura por essa tecnologia e trouxe expectativas de crescimento neste setor.

Dessa forma, este trabalho pretende determinar os custos atuais para a implantação de um sistema fotovoltaico e realizar um estudo de viabilidade econômica em um sistema conectado à rede em uma indústria de beneficiamento de pescado. A referida organização possui seu pico de consumo de energia durante o dia, sendo grande parte desse consumo voltado ao sistema de refrigeração.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede para uma indústria de pescado, localizada no município de Curuçá/PA, comparando os gastos atuais de energia com a obtida por meio de um sistema fotovoltaico.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Fazer um levantamento das necessidades da empresa de pescado, no que diz respeito ao seu consumo de energia elétrica.

Realizar a simulação prévia do sistema por meio de um simulador.

Escolher uma, ou mais, das empresas obtidas no simulador, para elaborar o orçamento do sistema a ser instalado na empresa de pescado.

Verificar por meio de cálculos teóricos os valores obtidos no orçamento.

Analisar a viabilidade econômica de instalação do sistema comparando os custos entre a energia fotovoltaica e a energia oriunda da concessionária.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

O surgimento do efeito fotovoltaico data de 1839, através do físico Francês Edmond Becquerel, que em seus experimentos observou que determinados materiais produziam certa quantidade de corrente elétrica ao ser expostos à luz solar, possibilitando a conversão de radiação luminosa em energia elétrica. Em 1877, o efeito fotovoltaico também foi observado nos estudos realizados em um sólido, o Selênio, pelos físicos Adams e Day, juntos criaram o primeiro dispositivo sólido que propiciava a geração de energia por exposição à radiação solar. A partir destas descobertas, o estudo da física dos elementos em estado sólido foi impulsionado, disseminando um conhecimento mais conciso acerca do efeito fotovoltaico em sólidos, assim como a busca por novos materiais semicondutores. Em 1941 obteve-se a primeira célula solar de silício monocristalino, anos mais tarde, em 1949 pôde-se medir a eficiência destas células e simultaneamente foi divulgada a teoria da junção P-N. (OLIVEIRA, 2000).

Células de silício semelhantes com as que são usadas atualmente foram criadas na década de 50. No entanto, sua utilização em escala comercial foi inviabilizada devido a seu alto custo de produção, sendo utilizada basicamente em satélites e lugares remotos. (UIRÊ, 2012).

A crise energética da década de 70 impulsionou o investimento em pesquisas científicas voltadas para a criação de novas tecnologias que possibilitavam a redução de custos e do peso dos equipamentos, além de uma maior eficiência, nesse período ocorreu um elevado estímulo à utilização terrestre na geração de energia fotovoltaica. A partir desse período sua utilização cresceu constantemente, sendo sempre associada aos avanços tecnológicos que geram o aumento da eficiência da conversão de energia e na redução de seus custos. (ARAMIZU, 2010).

Apesar dos avanços técnico-científicos no setor, dos constantes aperfeiçoamentos nos processos de produção, geração energética e da abundante radiação solar sobre a terra, a energia proveniente do sol que é convertida na produção de energia elétrica ainda é pouco utilizada. Mas essa realidade está sendo contornada nos países desenvolvidos devido aos elevados incentivos governamentais voltados para a instalação de sistemas fotovoltaicos.

No Brasil o investimento em energia fotovoltaica permanece lento devido à diversos motivos: grande parte dos consumidores desconhecem os benefícios da geração de energia a

partir de fontes fotovoltaicas, o custo da geração de energia ainda não é competitivo, o capital de investimento de construção de usinas de captação de energia solar ainda se mantém elevado e nota-se pouco incentivo por parte do governo no investimento de pesquisas na área, além de poucas políticas de financiamento para uso do sistema fotovoltaico, dentre outros.

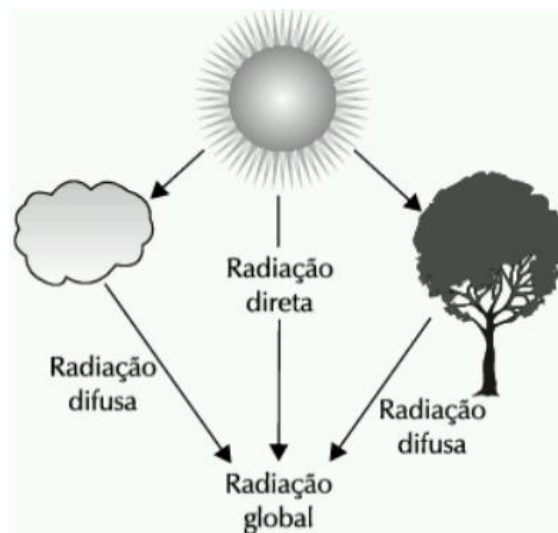
## 2.2 CONCEITOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

### 2.2.1 Radiação solar

A energia do sol é transmitida para nosso planeta através do espaço em forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequência e comprimento de onda diferentes. (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Define-se Irradiação como a energia solar que incide sobre uma dada superfície em um intervalo de tempo por unidade de área, cuja unidade é Wh/m<sup>2</sup>. Por outro lado, a energia que incide sobre uma superfície é definida como Irradiância, cuja unidade é W/m<sup>2</sup> (SEVERO, 2005).

Figura 4 - Tipos de radiação.



Fonte: GAZOLI & VILALVA, 2012.

Segundo Villalva & Gazoli (2012), radiação solar sofre a influência do ar atmosférico, das nuvens e da poluição antes de chegar ao solo e poder ser captada por células e módulos

fotovoltaicos, ao atingir uma superfície horizontal do solo é composta por raios solares que chegam de todas as direções e são absorvidos, espalhados e refletidos pelas moléculas de ar, poeira e nuvens. Os raios solares que chegam diretamente do sol em linha reta e incidem sobre o plano horizontal são chamados de radiação direta. A radiação difusa corresponde aos raios que chegam indiretamente ao plano. Já a radiação global é a soma das radiações direta e difusa, ilustrado na Figura 4.

Existem diversos efeitos elétricos da radiação sendo um deles o efeito fotovoltaico, que é a base dos sistemas de energia solar fotovoltaica para a produção de eletricidade, transformando a radiação solar em energia elétrica.

### **2.2.2 Energia solar fotovoltaica e o efeito fotovoltaico**

A energia gerada pelo Sol é uma das alternativas energéticas mais promissoras, visto que se trata de um recurso natural disponível quase inesgotável, que sendo devidamente manuseado pode trazer grandes benefícios à humanidade como: diminuição dos custos com a geração de energia elétrica, a não agressão ao meio ambiente, seus recursos naturais são infinitos, além de ser uma fonte limpa e renovável de energia.

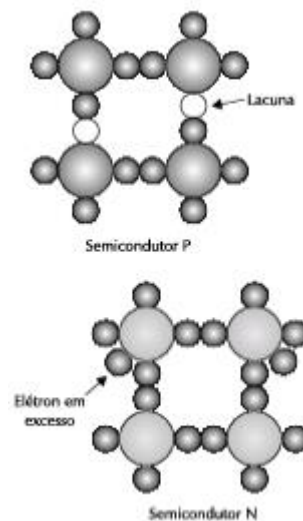
Dentre as alternativas renováveis de energia elétrica, o sistema solar fotovoltaico, é o mais promissor. Seu funcionamento se dá essencialmente através de painéis solares que a partir do efeito fotovoltaico convertem a energia solar em elétrica de forma sustentável, esse processo de conversão ocorre através da utilização de materiais semicondutores. Um semicondutor é um material que não pode ser classificado como condutor elétrico nem como isolante e suas propriedades podem se modificar através da adição de impurezas ou dopantes. O semicondutor mais utilizado na fabricação de células é também o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, o Silício. Desta forma, não existe um limite para produção de células fotovoltaicas a partir deste elemento, no entanto, para que as células possam ser fabricadas é necessário que o mesmo possua um elevado grau de pureza. (AMÉRICA DO SOL, 2015).

Segundo Gazoli & Villalva (2012), na natureza o silício é encontrado em forma de areia e passa por rigorosos processos industriais para chegar a sua forma cristalina. Quando puro, este elemento é caracterizado como um isolante elétrico por não possuir elétrons livres, para que o mesmo possa se transformar em um semicondutor, é necessário que em seu cristal sejam inseridas impurezas para formar duas zonas chamadas de P e N. Esse processo é

denominado dopagem. O silício caracteriza-se por formar quatro ligações químicas (formando uma rede cristalina). Ao ser dopado com um elemento que possa realizar cinco ligações, como, por exemplo, o fósforo, obtém-se um elétron excedente que não poderá se emparelhar aos demais. Esse elétron possui fraca ligação com seu átomo de origem, migrando para a zona de condução. Desta forma o fósforo caracteriza-se como doador de elétrons ou dopante do tipo N. O mesmo processo pode ser realizado com átomos que possuem três elétrons de ligação, como, por exemplo, o Boro, neste caso, faltará um elétron para completar as ligações com o silício. Essa falta de elétrons é denominada de lacuna. Essas lacunas possuem pouca quantidade de energia térmica, assim, um elétron vizinho pode passar para esta posição fazendo com que a lacuna se desloque, caracterizando o boro como aceitador de elétron ou dopante do tipo P. Ao adicionar átomos de boro na metade de um silício puro e átomos de fósforo na outra metade. Quando as camadas desses dois materiais são unidas (junção p-n), um campo elétrico é gerado criando uma barreira de potencial entre as duas camadas, também chamada de zona de depleção.

A estrutura molecular dos materiais do tipo N e P são ilustradas na Figura 5.

Figura 5 - Estruturas moleculares dos semicondutores P e N.

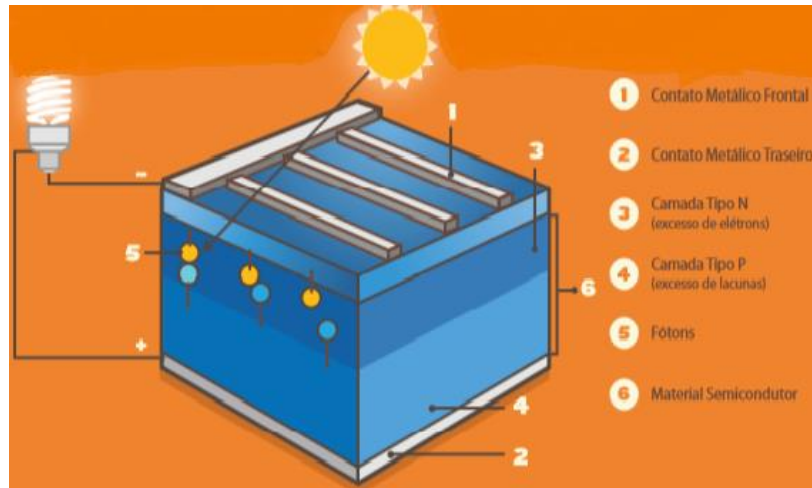


Fonte: GAZOLI & VILALVA, 2012.

Quando a célula não está iluminada, os elétrons permanecem presos atrás da barreira de potencial. No entanto, ao ser exposta a radiação, a luz penetra no material e descarrega sua energia sobre os elétrons, fazendo com que eles tenham energia para ultrapassar a zona de

depleção e se movimentar da zona N para a P. A figura a seguir demonstra o princípio de funcionamento do sistema fotovoltaico.

Figura 6 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.



Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

A geração de corrente é proporcional ao tamanho da superfície da célula, devido à intensidade da corrente gerada variar de acordo com a intensidade da luz que incide na placa. Para se obter altos níveis de potência as células são dispostas de forma integrada, formando os módulos. Quanto maior o módulo maior a potência.

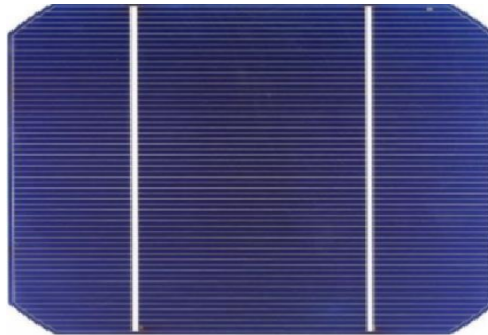
### 2.2.3 Tipos de células

A corrente elétrica produzida pela célula fotovoltaica, quando exposta à luz, pode ser usada para desenvolver diversas atividades, como alimentar aparelhos elétricos, fornecendo eletricidade para casas, indústrias e inclusive ruas a partir dos sistemas fotovoltaicos.

As principais tecnologias produzidas em larga escala disponíveis no mercado são:

- **Células de silício monocristalino (m-Si)** - São obtidas a partir de barras cilíndricas, formadas por um cristal de silício, produzidas em fornos especiais e cortadas em forma de pastilhas. Caracterizam-se por seu elevado rendimento de conversão energética. Sua eficiência varia entre 15 e 18% em módulos comerciais, podendo alcançar até 23% em laboratório. No entanto, possuem técnicas complexas de produção, pois, requerem elevado grau de pureza (cerca de 99,9999%) e energia, fatores que elevam seu valor no mercado (RUTHER, 2004).

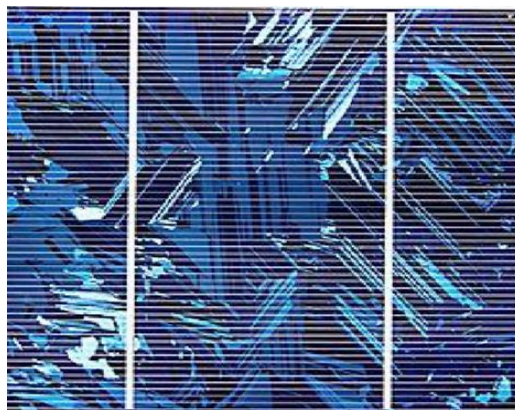
Figura 7- Estrutura de uma célula monocristalina.



Fonte: ANTONIELLI, 2012.

- **Células de silício policristalino (p-Si)** - Sua produção ocorre a partir da fundição e solidificação do silício puro. Nesse processo os blocos de silício formam vários cristais, onde se concentram os defeitos desse material, tornando-o menos eficiente (13% e 15% de eficiência). Possui produção menos rigorosa e gasta menos energia quando comparado ao silício mono cristalino, o que diminui o custo de sua produção. (VILALVA & GAZOLI, 2012).

Figura 8 - Estrutura de uma célula policristalina.



Fonte: ANTONIELLI, 2012.

- **Células de silício amorfo hidrogenado (A-si)** - São camadas extremamente finas de silício, com espessura de aproximadamente de 0,5 micrometros e uma estrutura amorfa. Possui níveis de eficiência baixos (cerca de 6%) quando comparado com as células cristalinas. Durante seu processo de fabricação o semiconductor é inserido sobre um substrato (vidro, inox ou alguns plásticos), em processos a plasma (estado gasoso), em seguida são adicionadas camadas condutoras transparentes para transmitir a corrente elétrica, sua superfície é dividida em

diversas células por um laser, no intuito de alcançar correntes e voltagens mais adequadas. (AMÉRICA DO SOL, 2015).

Figura 9- Silício amorfo sobre substrato flexível.



Fonte: RUTHER, 2012.

#### 2.2.4 Tipos de sistemas fotovoltaicos

As categorias do tipo de sistema variam conforme os recursos energéticos e locais disponíveis para sua utilização e podem ser classificados como:

- **Sistemas autônomos** - Nesse sistema, para que a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos possa ser armazenada é necessário o uso de baterias para que a energia possa ser distribuída nos pontos de consumo. Esses sistemas são exclusivamente fotovoltaicos. Sua implantação se torna vantajosa financeiramente quando instalada em lugares isolados, onde sistemas tradicionais são utilizados. Para instalá-lo é extremamente importante que o local possua condições climáticas favoráveis. (RUTHER, 2004)
- **Sistemas híbridos** - Na ausência de energia solar os sistemas híbridos utilizam uma combinação do sistema fotovoltaico em conjunto com outros geradores, tais como, eólicos, a gás e a diesel. Em determinadas situações esse sistema pode ser mais viável economicamente do que em sistemas autônomos, levando em consideração que no sistema híbrido o custo total do sistema diminui devido à redução da potência instalada dos painéis solares. (AMÉRICA DO SOL, 2015)
- **Sistemas conectados à rede** – São normalmente empregados em áreas urbanas, visando alimentar totalmente ou parcialmente os locais onde os sistemas serão implantados. Segundo Rütther (2004), é possível classificar os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de acordo com o tipo de instalação: se integrados às edificações ou centralizados. Os sistemas integrados

utilizam a estrutura de prédios e residências para sua fixação estes sistemas são denominados geradores distribuídos, já os sistemas centralizados constituem usinas solares convencionais.

Esses tipos de sistemas são ligados diretamente à rede elétrica de distribuição de energia e funcionam conjuntamente à rede. Se o sistema fotovoltaico não conseguir produzir a energia necessária para seu funcionamento, a rede de energia supre a carga, caso o sistema produza energia excedente, esta energia é injetada na rede de elétrica e a distribuidora cobrará a taxa referente ao custo de disponibilidade da unidade consumidora em questão. (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

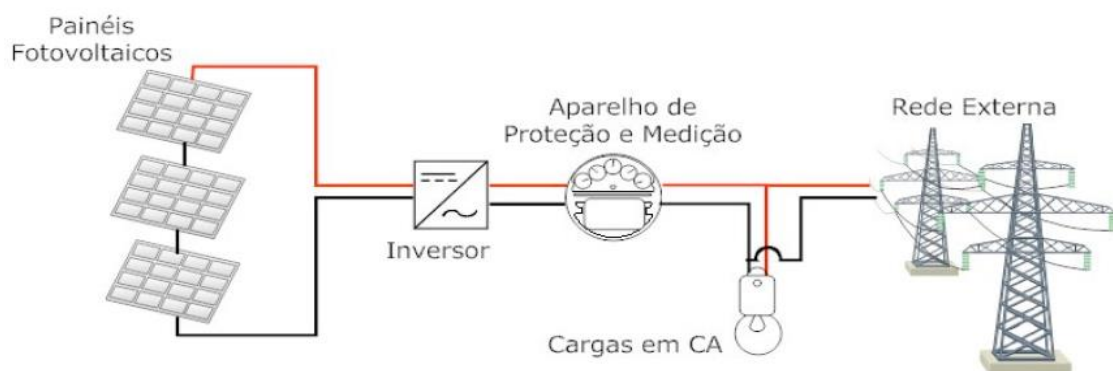
Nota-se grande redução de custo, na implantação desse tipo de sistema, pois, ele dispensa o uso de baterias, trazendo uma redução de aproximadamente 30% do seu valor se comparado aos sistemas autônomos. (MANCILHA, 2013).

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) podem ser classificados em três categorias, de acordo com seu tamanho, segundo as definições utilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). São elas:

- ✓ Microgeração: potência instalada até 100 kw;
- ✓ Minigeração: potência instalada entre 100 e 1000 kw;
- ✓ Usinas de eletricidade: potência acima de 1 MW.

A figura 10 apresenta o modelo de SFCR.

Figura 10 Sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: SERRÃO, 2010.

### 2.2.5 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, são instalados junto a rede elétrica, desta forma o sistema pode ser alimentado tanto pela geração fotovoltaica como pela rede. Para executar esse sistema, são necessários os seguintes componentes:

- **Célula, módulo e painel fotovoltaico** - A célula fotovoltaica é a unidade básica desenvolvida para converter energia solar em elétrica. O conjunto de células solares interligadas eletricamente, são denominadas de módulos. Já os painéis, são formados por dois ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, formando uma única estrutura. Um conjunto de módulos, junto aos equipamentos complementares para seu funcionamento, formam uma usina fotovoltaica. (AMÉRICA DO SOL, 2015). Essas unidades são ilustradas na figura 11.

Figura 11 - Ilustração de uma célula, módulo e painel fotovoltaico.



Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

- **Medidor bidirecional** - Responsável por medir a energia gerada e a consumida pelo consumidor. Depois de instalado a distribuidora é quem fica responsável por sua operação e manutenção incluindo a realização total de estudos para integração do sistema a rede e todos os custos que essa atividade pode envolver. (AMÉRICA DO SOL, 2015).
- **Inversor ou conversor cc/ca** - Dispositivo responsável pela conversão da corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), coletada dos módulos fotovoltaicos, evitando perdas e dissipando o mínimo de potência. É indicada a realização de duas trocas de inversores durante o período de vida útil do sistema fotovoltaico.

## Outros componentes

Segundo Ruther (2004), existem outros componentes importantes para operação de um sistema fotovoltaico além dos citados anteriormente. Comumente chamados de BOS (*Balance of System*). Dentre estes se destacam:

**Disjuntores** - Possibilitam proteger os condutores, equipamentos e componentes contra sobrecargas ocasionadas em caso de curto-circuito.

**Sistema de aterramento elétrico** - Visa impedir riscos de choques elétricos, além de estabilizar a tensão do sistema e proteger os equipamentos oriundos de falhas.

**Cabos** - são resistentes à radiação ultravioleta e possuem duplo isolamento, tendo capacidade de suportar elevadas temperaturas.

**Conectores** - fazem extensão nos cabos e são utilizados para simplificar a interligação dos painéis fotovoltaicos.

**Diodos de bypass** - aplicados em casos em que os arranjos possuem tensões de circuito aberto acima de 30 volts (V), a fim de isolar um arranjo com menor tensão que venha a comprometer a geração de todo o sistema.

**Diodos de bloqueio** - impedem a circulação de corrente reversa pelos arranjos.

**Fusíveis** - responsáveis pela proteção contra sobrecorrentes nos cabos.

**Proteções contra sobre tensões e descargas atmosféricas** - instaladas em caixas de conexão com o intuito de isolar o sistema de tensões inadequadas.

**Sistema de fixação à edificação** - refere-se à estrutura que suportará os painéis fotovoltaicos que precisa ser resistente aos ventos, às cargas mecânicas e às movimentações térmicas, além de possuir vida útil semelhante ao arranjo.

### 2.2.6 Vida útil e prazo de garantia e manutenção.

Segundo José Gonçalves, técnico em uma empresa do ramo de sistema fotovoltaico em Belém/PA, o período de vida útil dos painéis fotovoltaicos são longos, ficam entre 25 e 30 anos dependendo da marca. Normalmente os fabricantes dão garantia de até 25 anos, ou seja, praticamente até ao final da sua vida útil.

Alguns cuidados podem ser realizados para manter o sistema funcionando com eficiência por muito tempo, como por exemplo: monitorar a produção de energia (via inversor) para corrigir eventuais falhas rapidamente, realizar regulares inspeções nos

inversores para verificar se não há insetos morando no equipamento, ficar atento a potenciais sombreamentos por fatores não previstos. De modo geral, não é preciso limpar os módulos, já que devido à inclinação, a chuva encarrega-se de fazer esse trabalho. No entanto se os módulos forem instalados com pouca inclinação ou estiverem perto de locais onde há muita poeira ou fuligem, deve-se realizar um acompanhamento para observar se há deposição de substâncias sobre os módulos, tendo em vista que isso pode reduzir a eficiência do sistema.

Existem empresas especializadas em operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos, normalmente realizada anualmente.

### **2.2.7 Resolução, Financiamento e concessão**

- **Resolução normativa Nº 482/2012** - Sistema de compensação - Em abril de 2012 entrou em vigor a resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL, que define as condições gerais para a conexão de energia, iniciativa que pode unir economia, consciência ambiental e sustentabilidade. Pois a partir da mesma o consumidor pode gerar sua própria energia elétrica e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, permitindo que sistemas fotovoltaicos através da microgeração (potência instalada menos que 100 Kwp) e mini geração (potência instalada entre 100 Kwp e 1Kwp) instalados em casa e empresas se conectem à rede elétrica de forma simplificada, atendendo seu consumo e transferindo o excedente para a rede elétrica, gerando desta forma créditos de energia, que futuramente poderão ser usados para abater seu consumo. Assim, é possível praticamente zerar a conta de luz com o uso de energia solar, pagando somente o custo de disponibilidade da rede. Caso a geração de energia seja menor que o consumo, será consumida energia da rede elétrica. No final de cada mês, um balanço é realizado para definir quanto de energia foi injetada na rede e quanto foi consumida. Se a geração tiver sido maior que o consumo, os créditos de energia podem ser usados nos meses seguintes e possuem validade de até 36 meses, além disso, podem ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades, desde que estas estejam cadastradas pela mesa distribuidora e o titular possua o mesmo CPF ou CNPJ da unidade do sistema fotovoltaico.

“A publicação desta resolução constitui um marco regulatório em nosso país, beneficiando a população e obrigando as concessionárias de energia elétrica a adaptar-se à

entrada de sistema de geração distribuída com fontes alternativas, dentre elas a fotovoltaica” (VILLALVA & GAZOLI, 2012 p.36).

- **Linhas de financiamento para sistemas fotovoltaicos** - No Brasil existem poucas opções para financiar a compra e instalação de um sistema fotovoltaico. A seguir será apresentada a principal linha de crédito oferecida por um banco público brasileiro.
- **Financiamento de empreendimentos – FINEM (BNDES):** Pode ser solicitado por sociedades com sede e administração localizadas no Brasil, de controle nacional ou estrangeiro e pessoas jurídicas de direito público. Possui limite de financiamento de R\$ 10 milhões, a partir das seguintes condições: Taxa de juros de 5% ao ano, mais remuneração básica do BNDES de 0,9% ao ano. Para operações diretas com o BNDES, incide taxa de risco de crédito de até 4,8%. Para operações com apoio de Instituições Financeiras Credenciadas (IFCs), incide taxa de intermediação financeira de 0,5% e uma taxa de remuneração da IFC negociada entre esta e o cliente (somente para empresas com receita operacional bruta anual superior a R\$ 300 milhões – micro, pequenas e médias empresas estão isentas). Os interessados em conseguir o financiamento devem encaminhar até o BNDES de sua região uma solicitação preenchida de acordo com as orientações do roteiro de informações de apoio disponíveis no site do banco.
- **Procedimento de acesso à rede** – Ao solicitá-lo junto a concessionária de energia (CELPA) o proprietário do sistema deverá entregar documentos como: projeto elétrico e formulário do procedimento de acesso com informações do cliente e do local onde pretende-se instalar o sistema. Em seguida é agendada uma vistoria que será realizada pela concessionária. Após a análise da documentação e visita a conexão poderá ou não ser aprovada. Se aprovado o ponto de conexão à rede, o dono da unidade consumidora deverá assinar com a distribuidor um documento chamado relacionamento operacional, então, será implantado o sistema de compensação de energia. (AMÉRICA DO SOL)

### 2.3 SIMULADOR SOLAR

O instituto IDEAL (Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina), GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH), e KFW (Banco de Fomento da República Federal da Alemanha) são organizações que visam

disseminar e consolidar o uso de fontes renováveis no Brasil. Uma das iniciativas para alcançar esses objetivos foi a criação do simulador solar.

O simulador visa facilitar a tomada de decisão de pessoas interessadas em implantar o sistema, é um software de fácil manuseio, sendo que não precisa ser instalado, encontra-se disponível no site: <<http://www.americadosol.org/simulador/>>. Ao realizar a simulação é gerado um relatório onde o usuário terá informações como: a potência necessária para atender a demanda do local onde se pretende instalar o sistema, a área necessária, radiação sobre os módulos, inclinação aproximada dos painéis, rendimento anual do sistema e a emissão de  $CO_2$  no meio ambiente que será evitada.

O simulador solar está programado para simular geradores de até 1000 kwp (1 mwp) de potência, visto que esse é o limite estabelecido pela resolução normativa 482/2012 da ANEEL para que possam ser conectados à rede de distribuição e participar do sistema de compensação de energia.

Fontes dos dados utilizados para a simulação:

- Resolução normativa número 482 sobre mini e micro geração distribuída publicada pela a ANEEL em 17 de abril e 2012
- Módulo 3 – Acesso ao sistema de distribuição Revisão 4 dos procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST publicado pela ANEEL em 19 de abril de 2012
- Atlas solarimétrico do Brasil fornecido pelo centro de pesquisas de energia elétrica- CEPEL/Eletróbrás
- Fator de emissão de  $CO_2$  do setor elétrico fornecido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia.

### 2.3 TRABALHOS REALIZADOS SOBRE VIABILIDADE DE SFCR

Kannenber (2010) realizou uma análise acerca da viabilidade econômica em um projeto de um sistema fotovoltaico conectado à rede em uma residência em Santa Catarina, os resultados foram obtidos a partir do consumo médio mensal e custo de energia elétrica em uma residência ao longo de um ano. Ao final do estudo, concluiu-se que o investimento do projeto seria pago no período de 61 anos. Desta forma, o projeto tornou-se inviável economicamente para as características do cenário analisado, levando em consideração que a vida útil dos painéis fotovoltaicos é cerca de 25 anos.

A partir do aumento da utilização de fontes renováveis de energia, Behenck (2011), desenvolveu um estudo comparativo na instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede no Centro Tecnológico da Universidade Federal do Rio de Janeiro, visando a redução da demanda de potência e comparando o custo de elaboração do projeto no Brasil e nos Estados Unidos, tendo como base o custo dos equipamentos nos dois países, porém mantendo a tarifa de energia elétrica e irradiação no Brasil (Rio de Janeiro). Ao final do estudo, observou-se que, comparando Brasil e Estados Unidos, o segundo é bem mais vantajoso considerando as elevadas diferenças nos preços dos equipamentos e os subsídios oferecidos pelo governo norte-americano. Desta forma percebe-se que os sistemas fotovoltaicos tornam-se mais sustentáveis a medida que haja inserção de políticas públicas que incentivem o uso dos mesmos.

Antoniolli (2012) verificou a viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos em telhados de diferentes residências no estado de Santa Catarina. O estudo foi realizado a partir de coletas de informações de conta de energia elétrica, projeto arquitetônico, coordenadas e inclinação dos telhados, além de uma pesquisa sobre a demanda média anual de energia elétrica de cada casa. Para realizar as análises, foram criados três cenários, nos quais foram calculados o custo inicial de investimento e a taxa anual de manutenção, e a definição de um período de 25 anos para calcular o valor presente líquido, além da análise dos paybacks (período para recuperar um investimento) simples e descontado de cada amostra. Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o uso de fontes renováveis como a do sol e a integração de geradores fotovoltaicos em edifícios residenciais ou comerciais são viáveis, além disso transformam as cidades que usam o sistema fotovoltaico em uma espécie de usina local. Observou-se também que 95% das residências analisadas possuem potencial de energia solar fotovoltaica. Os resultados foram satisfatórios tendo em vista que o estado de Santa Catarina apresenta um dos menores índices de irradiação do país.

Siqueira (2013), realizou um estudo de viabilidade de implantação de um sistema com painéis fotovoltaicos para microgeração de energia elétrica em residências, realizando uma comparação nos orçamentos do projeto realizado no Brasil e em outros países. De acordo com os resultados das pesquisas, concluiu-se que o investimento feito no sistema de 1,2 kWp (quilowatts pico) não traria retorno financeiro, a não ser que o consumo de energia aumentasse. Foi realizada uma segunda análise com o consumo aumentado de 250 kWh para 400 kWh (quilowatts hora), observou-se que o projeto se tornaria viável. O cenário de

microgeração de energia elétrica em residências ainda não é totalmente favorável no Brasil, pois o sistema não se mostrou viável para microgeração de 1,2 KWp e 2,5 kWp, além disso, existe um cenário de incertezas porque a maior parte dos materiais e equipamentos são importados e sensíveis a variação do dólar.

Silva (2013) propôs um estudo da viabilidade para utilização de um sistema fotovoltaico, definido como geração de energia elétrica através da energia solar, conectado diretamente à rede elétrica para suprir o consumo da energia, nos prédios da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Ao final do estudo concluiu-se que o projeto não seria viável devido a previsão de retorno do investimento que foi de 36 anos e 3 meses, ou seja, o tempo previsto ultrapassa a vida útil dos equipamentos.

Ituka Jr & Boya (2014), estudaram a viabilidade técnico-econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em cenários residenciais e comerciais. O estudo foi realizado através das faturas de energia das instalações, com base no consumo foi realizado o dimensionamento e em seguida uma comparação das faturas de energia antes e as estimativas depois da instalação do sistema fotovoltaico. Além disso, foi realizada uma análise do tempo em que o investimento é amortizado em cada cenário, sendo dois destes comerciais e dois residenciais. O tempo de retorno do investimento para cada cenário foram de 16 anos e 7 meses, 19 anos, 14 anos e 7 meses e 12 anos respectivamente. Como o tempo previsto para o retorno do investimento em ambos os casos foi consideravelmente menor ao período de vida útil dos painéis o projeto foi considerado viável economicamente.

Miranda (2014) realizou uma análise de viabilidade econômica visando quantificar através dos principais indicadores econômicos utilizados em análises de projetos, o tempo para o retorno do investimento. O estudo foi realizado em um ambiente comercial localizado no Rio de Janeiro, a organização não visa ser autossuficiente em energia elétrica, desta forma, foram criados três casos-exemplos para serem estudados. Estes foram denominados como A, B e C, com as potências nominais de 3920 Wp, 2940 Wp e 1960 Wp respectivamente. O objetivo era escolher o caso que apresentasse o melhor custo-benefício e conseqüentemente trouxesse retorno no período mais curto. No final do estudo, ao comparar a viabilidade econômica de instalação de sistemas fotovoltaicos com diferentes potências o caso que apresentou melhor rentabilidade foi o caso A, apresentando maior que o dobro da rentabilidade anual da poupança no Brasil.

Toyama, Neves Jr & Almeida (2014), realizou um levantamento de custos e uma análise de viabilidade da implantação de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica em diferentes regiões no estado do Paraná, através da apuração de dados e de cálculos do tempo de retorno do investimento, através do estudo concluiu-se, que um mesmo sistema dependendo de sua região no estado apresenta diferentes períodos para o retorno do investimento e que o custo por potência instalada dos componentes do sistema diminui de acordo com o aumento da potência, conseqüentemente o custo total do sistema também diminui. Desta forma, os menores tempos de retorno do investimento e conseqüentemente os projetos mais viáveis são os que apresentam maior potência, mesmo apresentando um maior custo de investimento, pois estes apresentam um custo menor no custo por potência instalada.

## 3 ESTUDO DE CASO

### 3.1 INTRODUÇÃO

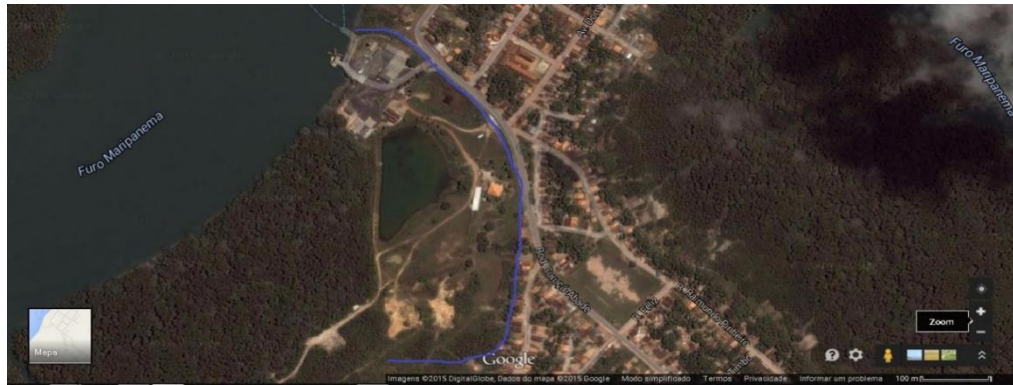
O estudo de viabilidade econômica para implantação de sistema fotovoltaico conectado à rede foi realizado em uma indústria exportadora de pescado. A necessidade do estudo surgiu devido ao elevado custo na fatura de energia elétrica da organização. A empresa visa saber se é viável ou não, trocar o atual sistema pelo fotovoltaico.

A indústria onde pretende-se implantar o sistema de geração de energia, através da instalação dos painéis fotovoltaicos, localiza-se no nordeste paraense no município de Curuçá.

Para iniciar o estudo deve ser realizada uma visita ao local para avaliar as condições físicas do espaço, pois, é importante buscar um local adequado, que apresente as melhores condições para implantação do sistema, afinal, isso influenciará diretamente no rendimento da produção de energia fotovoltaica, já que a produção máxima deste sistema ocorre em função da disponibilidade do sol, orientação e inclinação dos painéis. A quantidade de luz recebida pode ser prejudicada por sombras ocasionadas por construções, árvore e objetos. Desta forma, é importante procurar lugares estratégicos que não apresentem obstáculos de operação para o sistema. Durante a visita deve-se preencher uma ficha com os dados fundamentais para o dimensionamento do sistema como: consumo médio mensal de energia (kWh), tipos de sistema (mono, bi ou trifásico) e localização da instalação do sistema. Através desses dados pode-se obter a latitude no local, inclinação adequada para os módulos, melhor posicionamento para garantir a melhor eficiência do sistema e irradiação no perímetro para definir o HSP (horas de sol pleno). Além disso, poderá ser calculada a potência necessária para o sistema e especificar os equipamentos mais adequados (tipo, modelo e quantidade de módulos fotovoltaicos e inversores), como os módulos fotovoltaicos devem ser ligados, qual a melhor estrutura para fixação dos módulos e se serão necessárias obras estruturais para a instalação do sistema e a área necessária para implantação do sistema.

As figuras 12 e 13 exibem a localização da indústria através do Google Maps, a primeira, distante, exibindo todo o terreno da organização e a segunda a área aproximada. Para facilitar a visualização o perímetro está demarcada por uma linha azul.

Figura 12 - Localização da área.



Fonte: GOOGLE MAPS, 2015.

Figura 13 - Localização aproximada.



Fonte: GOOGLE MAPAS, 2015.

### 3.2 DADOS PARA A REALIZAÇÃO DO PROJETO DE INSTALAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A conexão predominante na indústria em questão é trifásica, a concessionária de energia é a Companhia Elétrica do Pará (CELPA), o preço pago pelo quilowatt hora foi de aproximadamente R\$ 0,35, conforme análise das faturas referentes ao ano de 2014.

O sistema foi inicialmente idealizado para ser instalado nas edificações da organização visando otimizar o espaço, buscar um local que receba boa incidência solar e pouco sombreamento. A área livre nos telhados é de  $1800\text{ m}^2$ . A tabela 1 apresenta valores referentes ao consumo (kWh), a fatura e ao custo do kWh referente a cada mês do ano de 2014. Esses são dados importantes para realizar a análise de consumo e definir a potência do sistema. Além disso, serão utilizados no estudo de viabilidade, para definir se é mais viável usar a energia da concessionária ou do sistema fotovoltaico.

Tabela 1 - Consumo, valor da fatura e do kWh em 2014.

Período	Consumo (kWh)	Valor da fatura (R\$)	Valor do kWh
01/2014	100.609	30.336,81	0.3015
02/2014	124.549	35.899,06	0.288
03/2014	134.141	40.391,96	0.301
04/2014	107.040	31.759,51	0.296
05/2014	110.109	33.367,35	0.303
06/2014	182.765	58.716,93	0.321
07/2014	176.964	59.842,47	0.338
08/2014	187.652	72.165,11	0.384
09/2014	164.451	69.042,37	0.419
10/2014	161.548	68.202,85	0.422
11/2014	153.322	65.422,97	0.426
12/2014	176.528	77.080,13	0.436
TOTAL	1.779.678.	642.227,52	4.2355
Média	148.306,5	53.518,96	0.352

Fonte: Autoria própria.

### 3.3 SIMULAÇÃO

A simulação foi realizada no simulador solar disponível gratuitamente no site da américa do sol.


No primeiro passo são preenchidos os campos referentes ao endereço de onde pretende-se instalar o sistema, como pode ser observado na figura 14. Nesta etapa é gerada a latitude do local, que irá definir a inclinação dos painéis regulando o ângulo mais adequado para absorção de energia por eles.

Figura 14 – Primeiro passo da simulação solar.

**Passo 1: Sua localização** -0,7105° S, -47,8772° O, 15,3 m.

Informe onde seria instalado o seu sistema fotovoltaico. Você pode fazer isso de três maneiras.  
Escolha abaixo e preencha os dados solicitados:

**Clicando no mapa**



**Pesquisando pelo endereço**

Digite o endereço

rodovia curuçá abade s/n  
abade curuçá pará

[Pesquisar](#)

**Escolhendo o estado e cidade**

Escolha seu estado e sua cidade

Estado  
Pará

Município  
Curuçá

Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015

O segundo passo é informar qual a distribuidora de energia da região, o tipo de conexão, consumo mensal em Kwh e o valor da conta. Como o estudo se baseou no consumo referente ao ano de 2014, serão usados os valores de dezembro, pois, o software pede o valor mais recente da fatura para realizar a simulação, visando calcular a potência que mais se aproxime da real de acordo como está representado na figura 15

Figura 15 - Segundo passo da simulação.

**Passo 2: Seu consumo elétrico**

Nessa etapa você precisará ter em mãos a sua conta de luz mais recente. Nela você encontrará todas as informações solicitadas.

**Sua Fatura de Eletricidade**

Distribuidora

Tipo de conexão

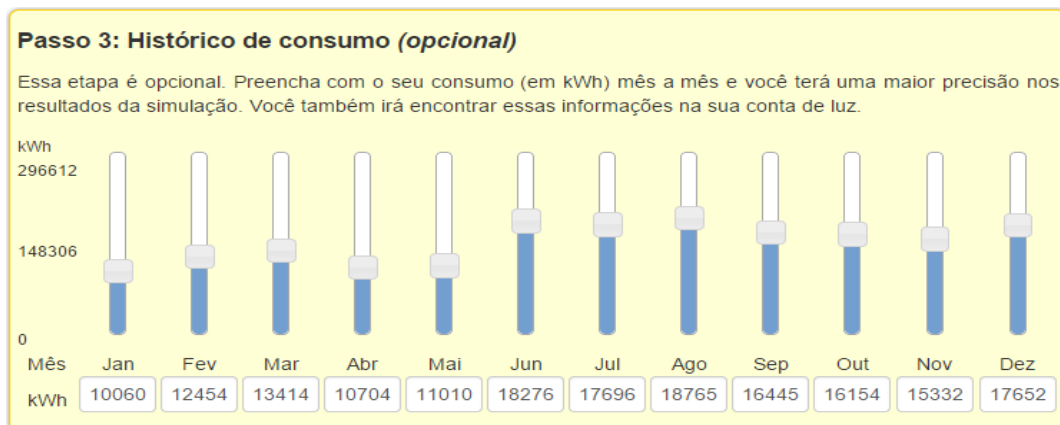
Consumo  kWh

Valor da conta  R\$

Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

O terceiro passo é informar o histórico mensal de consumo. Como foi realizado e demonstrado na figura 16

Figura 16 - Terceiro passo da simulação.



Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

Após inserir as variáveis de entrada referente aos passos citados anteriormente, a simulação foi realizada e gerou um relatório com os seguintes resultados:

Tabela 2 - Resultado da simulação.

Capacidade do sistema (potência)	1000,0 <i>kWp</i>
Área ocupada pelo sistema	De 6716 a 8209 <i>m</i> <sup>2</sup>
Inclinação aproximada dos módulos	1°
Radiação sobre os módulos	14.555.181 <i>kWh</i>
Rendimento anual	1.245 <i>kWh</i>
Emissões de <i>CO</i> <sub>2</sub> evitadas	366.762 <i>kg/ano</i>

Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

Os módulos fotovoltaicos devem ser instalados voltados para o norte, com inclinação de 1° correspondente a latitude do local escolhido, vale ressaltar que quando é gerada uma inclinação como essa, o indicado é que se use um valor de 10°. Para facilitar a manutenção e limpeza dos módulos. Além disso, a própria chuva pode colaborar com a retirada de resíduos sobre os painéis. Vale ressaltar que uma inclinação próxima de 0° gera acúmulo de sujeira sobre os painéis, que pode acarretar em um aumento nos custos de manutenção do sistema

Além dessas informações o sistema também gerou dados de irradiação solar diária em cada mês no município de Curuçá no ano de 2014, como pode ser observado na figura 17.

Figura 17 - Valores de irradiação (global, inclinada e difusa) anual

Mês	Irradiação Global	Irradiação Inclinada	Irradiação Difusa
Janeiro	5,15 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4,89 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,38 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Fevereiro	4,73 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4,69 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,43 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Março	4,76 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4,80 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,59 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Abril	4,80 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4,84 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,43 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Maio	4,89 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,00 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,23 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Junho	4,94 kWh/m <sup>2</sup> /dia	4,93 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,01 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Julho	5,18 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,33 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,02 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Agosto	5,42 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,34 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,19 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Setembro	5,75 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,73 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,32 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Outubro	5,70 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,91 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,45 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Novembro	5,37 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,45 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,43 kWh/m <sup>2</sup> /dia
Dezembro	5,33 kWh/m <sup>2</sup> /dia	5,34 kWh/m <sup>2</sup> /dia	2,28 kWh/m <sup>2</sup> /dia
<b>Media Anual</b>	<b>5,17 kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>	<b>5,16 kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>	<b>2,31 kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>

Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015

A indicação de bons índices de radiação solar, auxilia na avaliação técnica inicial do projeto, esses valores também são importantes para dimensionar o sistema, a partir deles pode-se calcular o valor de horas de sol pleno (HSP). Para realização desse cálculo, adota-se o

menor valor de irradiação, porque se supõe que o funcionamento adequado do sistema neste mês representa o funcionamento adequado também nos outros períodos do ano, esse valor é dividido por 1 kW/m<sup>2</sup> (quilowatt por metro quadrado). Expresso na equação 1.

$$HSP = \frac{4,73kWh/m^2}{1kW/m^2} = 4,73 \text{ horas.} \quad (1)$$

Desta forma, sabe-se que na cidade de Curuçá, no mês de fevereiro, o sol irradia 1 kWh/m<sup>2</sup> durante 4,73 horas por dia.

O consumo elétrico anual da empresa onde se pretende instalar o sistema é de 1.779.678 kWh, no entanto, o simulador solar está programado para simular geradores de até 1000 kWp de potência. Desta forma, é necessário a realização de cálculos para definir a potência real do sistema. O resultado pode ser obtido a partir da equação 2.

$$P_{fv}(W_p) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP_{max}} \quad (2)$$

Em que:

$P_{fv}(W_p)$ : é a Potência de pico do painel fotovoltaico;

$E=(Wh/dia)$ : é o consumo médio diário anual do local;

$HSP_{max}(h)$ : é a média diária anual das HSP incidente no plano do painel fotovoltaico;

$TD$ : é a taxa de desempenho;

A taxa de desempenho é um valor de segurança que visa compensar as perdas na transmissão de potência, normalmente é empregado o valor de 0,83. O HSP é igual a 5,75 kWh/m<sup>2</sup>/dia (obtido na figura 17).

Em posse dessas variáveis foi definida a potência do sistema:

$$P_{fv} = 1.035,84 \text{ kWp.}$$

Deve-se considerar que a energia nunca será igual a zero, e a conexão em questão é trifásica, logo, o seu custo de disponibilidade será um valor em reais equivalente a 100 kWh. Mesmo que a energia da rede não tenha sido utilizada, pois a concessionária cumpriu com a

obrigação de oferecer a infraestrutura necessária para levá-la até seu cliente, razão pela qual existe esse custo mínimo.

O simulador gera um relatório com as informações descritas anteriormente e após a simulação o site disponibiliza uma busca de empresas que trabalham com implantação de sistema fotovoltaico, onde o usuário pode escolher o estado e a cidade que deseja realizar essa busca. Como demonstrado na figura 18.

Figura 18 – Busca de empresas

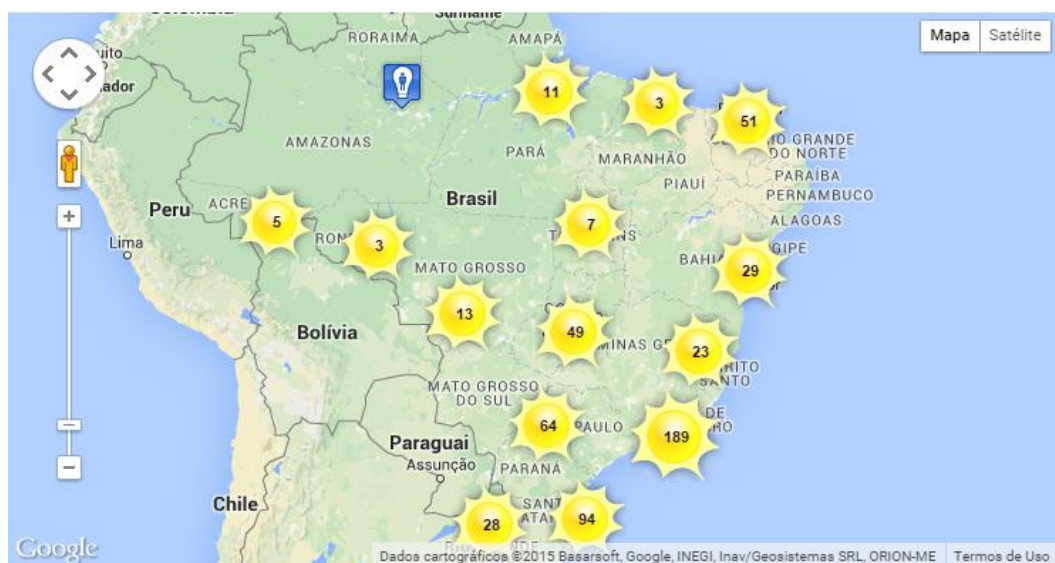
▼ Busca avançada

<p>▼ Localização</p> <p>Estado</p> <p>Pará ▼</p> <p>Município</p> <p>- Escolha o Município - ▼</p> <p>► Experiência no Brasil</p>	<p>▼ Serviços Oferecidos</p> <p><input type="checkbox"/> Instalador      <input type="checkbox"/> Projetista</p> <p><input type="checkbox"/> Integrador      <input type="checkbox"/> Estruturas</p> <p><input type="checkbox"/> Módulos Fotovoltaicos      <input type="checkbox"/> Inversores</p> <p>► Experiência Internacional</p>
---	--

Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

Foi apresentado também o mapa solar do Brasil, com o número de empresas que prestam serviços de instalação de SFV em cada estado no país, como ilustrado na figura 19.

Figura 19 - Mapa solar.



Fonte: AMÉRICA DO SOL, 2015.

A partir da lista das empresas obtidas na pesquisa, começou o processo de entrar em contato com essas organizações, para entrega do relatório. Das 11 empresas localizadas no Pará, 7 delas ficam em municípios próximos à cidade onde pretende-se instalar o sistema. Dessas empresas, duas apresentaram interesse em conhecer os dados do projeto. No entanto uma destas, não aceitou realizar o dimensionamento, devido só trabalhar em pequenos projetos residenciais. Desta forma, o dimensionamento e orçamento foi realizado por apenas uma empresa, não podendo realizar uma comparação entre preços e quantidades de materiais requeridos para implantação do projeto.

### 3.4 ORÇAMENTO: MATERIAIS, INSTALAÇÃO E MÃO-DE-OBRA

A partir das informações fornecidas na simulação a empresa realizou o dimensionamento e em seguida o orçamento dos materiais e mão de obra, junto ao projeto elétrico do sistema e regularização para apresentar a concessionária de energia.

Os materiais necessários para implantação do sistema são apresentados na tabela 3 e 4.

Tabela 3 - Orçamento.

MATERIAL	QUANTIDADE	PREÇO
Painel fotovoltaico (250W)	4.800 un	R\$ 3.936.000,00
Inversor (30000W)	40 un	R\$ 1.520.000,00
Cabos (painel)	500 m	R\$ 10.250,00
Cabos (inversor)	180 m	R\$ 3.690,00
MOB	-	R\$ 21.500,00
Frete	-	R\$ 200.000,00
Projeto elétrico e regularização	-	R\$ 12.500,00
Instalação	-	R\$ 15.500,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 5.719.440,00</b>

Fonte: Autoria própria.

O orçamento não incluiu os suportes. A busca destes foi realizada na internet. Os valores citados para o suporte estão disponíveis no site da Neo solar energia.

Como o local de implantação do sistema situa-se em um ambiente marinho, os suportes ficam sujeitos à corrosão salina, por isso, o adequado é escolher produtos feitos de alumínio. Este fator, encareceu o preço do material. Cada suporte com estrutura para 4 painéis custa R\$ 1.871,04, o valor dos painéis foi igual a R\$ 2.245.248,00 mais o frete de R\$ 204.434,58 e instalação de R\$ 24.000,00, totalizando R\$ 2.473.682,58.

O custo total do projeto ficou em R\$ 8.193.122,58.

O projeto foi realizado para painéis com células de silício policristalino, devido, esta ser a mais utilizada no mercado mundial, apresentar um custo intermediário se comparada as demais células e por apresentarem boa eficiência, entre 13% e 15%. A marca escolhida foi a Yingli YL 2.9 b (250W).

A marca dos inversores selecionados foi a Fronius Symo (30000W) que possuem eficiência de 94%.

Somente uma empresa realizou o orçamento, impossibilitando uma comparação entre preço e quantidade de produtos pedidos. Desta forma, optou-se por realizar cálculos de dimensionamento de painéis e inversores que são produtos que mais impactam no valor final do investimento. Para poder comparar os resultados.

Para isso é necessário definir a potência do sistema, calculado na equação 2. O número de painéis é definido em função da quantidade de energia que deseja-se produzir e seu arranjo deve ser compatível com o inversor utilizado no sistema e das especificações técnicas desse equipamento. Os cálculos para encontrar o número de módulos ( $N_{mod}$ ) e inversores são apresentados nas equações 3 e 4 respectivamente.

$$N_{mod} = \frac{P_{fv}}{P_n} \quad (3)$$

A potência fotovoltaica  $P_{fv}$  foi definida na equação 1, a potência nominal  $P_n$  é uma característica do painel, que está descrita na tabela 3. Atribuindo valores a formula, tem-se:

$$N_{mod} = 4.144 \text{ painéis fotovoltaicos.}$$

O número de inversores é calculado a partir da potência máxima de pico do sistema.

$$P_{pico} = N_{mod} \cdot P_n \quad (4)$$

A potência de pico foi igual a 1036 kW, para inversores de 30 kW de potência, obtém-se.

$$N_{inv} = 35 \text{ inversores.}$$

Com base nessas informações pode-se observar que houve uma variação considerável na quantidade de produtos. Desta forma, visando apresentar resultados confiáveis, foi realizado um novo orçamento realizado pela mesma empresa que fez o primeiro, no entanto, considerando os valores do dimensionamento dos painéis e inversores obtidos nas equações 3 e 4. Os valores deste são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Segundo orçamento para implantação do sistema fotovoltaico.

PRODUTO	QUANTIDADE	TOTAL
Painel	4.144 UN	R\$ 3.398.080,00
Inversor	35 UM	R\$ 1.330.000,00
Cabo (painel)	432 m	R\$ 8.856,00
Cabo (inversor)	158 m	R\$ 3.239,00
MOB	-	R\$ 18.560,00
Suporte	1036 UM	R\$ 2.039.368,44
Frete	-	R\$ 173.500,00
Instalação	-	R\$ 13.440,00
Projeto elétrico e regularização	-	R\$ 10.850,00
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 6.995.893,44</b>

Fonte: Autoria própria.

No levantamento total dos gastos no segundo orçamento, observa-se o custo de investimento no valor de R\$ 6.995.893,44.

A partir do novo orçamento percebe-se uma diferença no valor de R\$ 1.243.686,56 entre eles. Isso ocorreu devido ter sido utilizados métodos diferentes de cálculos. A empresa em questão realizou o dimensionamento para o primeiro orçamento baseada em valores recentes da fatura referente ao mês de dezembro já que o trabalho foi realizado baseado no consumo de energia do ano de 2014. O dimensionamento foi realizado baseado no livro “Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos”.

Através da análise de consumo versus geração realizada no gráfico 1 da página 47, sessão 3.3.1, considerando os dados do segundo orçamento. Onde observou-se que a energia gerada é o suficiente para atender a demanda da organização. Com essa decisão foi realizada uma economia de R\$ 1.243.686,56. Desta forma, será utilizado o segundo orçamento para realizar a análise econômica, visto que, este além de, suprir a demanda da organização apresenta um custo consideravelmente menor.

## 4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Antes de realizar um investimento é importante que seja feita uma análise de viabilidade econômica, para definir se a implantação do sistema será viável ou não. Como a pesquisa foi desenvolvida com dados reais, foi possível obter os valores de mercado para instalação do sistema e realizar uma análise de viabilidade do investimento. Desta forma, será possível comparar economicamente o sistema fotovoltaico conectado à rede e o convencional. Para isso, deve-se definir o custo do investimento, a quantidade de energia economizada com o sistema, o tempo de retorno do investimento e custo da energia produzida pelo sistema.

### 4.1 ENERGIA ECONOMIZADA

A empresa onde pretende-se instalar o sistema fotovoltaico é alimentada pela rede elétrica de distribuição das Centrais Elétricas do Pará (CELPA), sendo classificada como uma organização Rural (agroindústria), pertencente ao grupo tarifário A4. A empresa em questão, evita processar seu produto no horário de pico de consumo de energia da concessionária que fica entre 17:00h e 22:00h, pois nesse horário o valor do kWh é mais caro para consumidores dessa classificação.

A partir dos valores de consumo médio mensal e custo mensal de energia elétrica na organização ao longo do ano de 2014, apresentados na tabela 1, verificou-se que o valor da tarifa pago pela empresa foi da ordem de R\$ 0,352. No entanto, Após o aumento da tarifa de energia ocorrida em 2015, em vigor desde o mês de março, esse valor subiu para R\$ 0,345982 por kWh, com os encargos de Tarifa e Uso Do Sistema de Distribuição (TUSD) e a Tarifa de Energia (TE), mais 31,6% de tributos de Impostos, sendo 25% sobre Circulação de Mercadorias (ICMS), e o restante (6,6%) sobre o Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS). Esse valor pode ser calculado através da equação 5.

$$\text{Valor cobrado do consumido} = \frac{\text{valor da tarifa convencional (kWh)}}{1-(\text{PIS}+\text{COFINS}+\text{ICMS})} \quad (5)$$

Desta forma,

$$\text{Valor cobrado do consumido} = \text{R\$ } 0,5058216371.$$

A energia gerada ao longo do ano pelo sistema fotovoltaico pode ser calculada utilizando a variação de radiação ( $HSP$ ) fornecida na figura 22, potência dos painéis, rendimento do inversor e número de dias. Essas variáveis permitem estimar a energia gerada pelos painéis, mês a mês, a partir da equação 6.

$$E_g = P_{fv} \cdot HSP \cdot R. \quad (6)$$

Em que:

$E_g$ : é a energia disponibilizada pelo sistema ( $kWh$ );

$P$ : é a potência nominal no painel fotovoltaico ( $Kw$ );

$HSP$ : é o número de horas de sol pleno;

$R$ : é o rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada

A potência fotovoltaica  $P_{fv}$  foi calculada na equação 2 e o número de dias é referente ao período de um mês,  $R$  representa o rendimento do sistema igual a 94%, o  $HSP$  e o resultado da geração de energia anual são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de energia fornecida mensalmente pelos painéis.

Período	Dias	Consumo	Radiação Solar	Rendimento	Energia gerada
	30	(kWh)	( $kW/m^2 \cdot dia$ )	94%	(kWh)
Janeiro	30	100609	5,15	0,94	150435,043
Fevereiro	30	124549	4,73	0,94	138166,554
Março	30	134141	4,76	0,94	139042,875
Abril	30	107040	4,8	0,94	140211,302
Maiο	30	110109	4,89	0,94	142840,264
Junho	30	182765	4,94	0,94	144300,799
Julho	30	176964	5,18	0,94	151311,364
Agosto	30	187652	5,42	0,94	158321,929
Setembro	30	164451	5,75	0,94	167961,456
Outubro	30	161548	5,7	0,94	166500,922
Novembro	30	153322	5,37	0,94	156861,395
Dezembro	30	176528	5,33	0,94	155692,967
Média	-	148307	5,17	0,94	150873,204
Soma	-	1.779.678	-		1.806.827,107

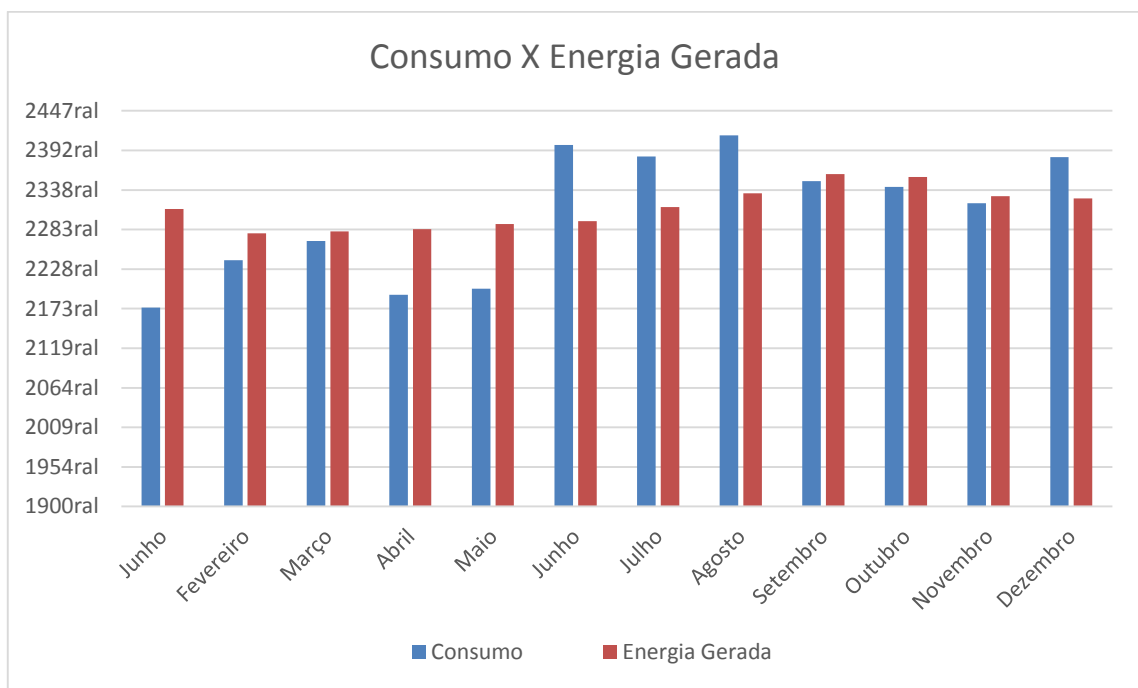
Fonte: Autoria própria.

A energia gerada anualmente é:

$$E_g = 1806827,1 \text{ kWh}$$

O gráfico 1 demonstra o consumo de energia em 2014 na organização e a energia que que o sistema irá gerar em um ano.

Gráfico 1: Consumo de energia e geração a partir do sistema fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria.

Conhecendo a energia gerada pelo sistema e a tarifa paga pelo consumo de energia elétrica, pode-se calcular a economia gerada  $R\$_{ECO}$  pela substituição do uso de energia elétrica convencional pela equação 7.

$$R\$(eco) = E_g(ano).T \quad (7)$$

Em que:

$R\$(eco)$ : é o valor economizado no período (R\$);

$E_g(ano)$ : é a energia disponibilizada pelo sistema no período ( $kWh$ );

$T$ : é a tarifa paga pelo consumo de energia elétrica à concessionária.

Utilizando os valores de  $T=0,505$  e  $E_g(ano) = 1.806.827,107$ , obtém-se o valor da energia economizada:

$$R\$(eco) = R\$ 913.932,25$$

## 4.2 PERÍODOS DE RETORNO

Para dar continuidade a análise econômica é importante definir o período de retorno que pode ser simples ou descontado e o custo da energia gerada.

O período de retorno simples  $PRS$  é calculado para saber em quanto tempo será recuperado o investimento. Isso pode ser feito através da relação entre o investimento inicial para implantação do sistema e a economia de energia obtida a cada ano, utilizando a equação 8.

$$PRS = \frac{\text{investimento inicial}(R\$)}{\text{economia por ano}(R\$)} \quad (8)$$

O valor do investimento inicial é de R\$ 6.995.893,44. No entanto a concessionária de energia cobra uma taxa mensal referente a 100  $kWh$  para sistemas conectados à rede, considerando o valor atual de R\$ 0,505821637 cobrado por 1  $kWh$  o cliente pagará R\$ 15.174,00 durante os 25 anos de vida útil do sistema. Assim, o investimento inicial passa a ser R\$ 7.011.068,09.

Assim, obtém-se o seguinte resultado:

$$PRS = 7,67 \text{ anos} \quad (\text{aproximadamente } 8 \text{ anos})$$

Nota-se que o período de retorno simples do investimento foi de 7,67. Conclui-se que o investimento realizado é pago durante a vida útil do sistema (25 anos). Contudo, este cálculo não considera o valor do dinheiro no tempo. Essa é uma variável importante, pois o mais indicado é associar a quantia a época em que ele será recebido, para obter resultados

mais concisos. Desta forma, deve-se calcular o período de retorno descontado (*PRD*), sua fórmula considera o valor do dinheiro no tempo, associado a taxa de desconto e o tempo de vida do investimento feito. O cálculo de *PRD* é realizado na equação 9.

$$PRD = n.FRC.PRS \quad (9)$$

Em que:

*n*: é o tempo de vida útil do investimento;

*FRC*: é o fator de recuperação do capital;

*PRS*: é o período de retorno simples;

Para calcular o *PRD* é preciso saber o Fator de Recuperação de Capital *FRC*, onde o valor do investimento feito no presente é anualizado, considerando uma taxa (*d*) de desconto em um período de (*n*) anos, através da equação 10.

$$FRC = \frac{d.(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \quad (10)$$

Em que:

*FRC*: é o fator de recuperação do capital;

*d* = é a taxa de desconto;

*n* = é o número de ano;

Desta forma:

$$FRC = 0,110168.$$

A taxa de desconto atende a um índice médio de aplicação para investidores de 10% ao ano e o número de anos é igual ao período de vida útil dos painéis (OLIVEIRA, 2013). Desta forma, o fator de recuperação é igual a 0,110168. A partir dessa variável, do período de retorno simples e do período de vida útil do sistema o *PDR* pôde ser calculado. Sendo:

$$PRD = 21,13 \text{ anos.}$$

Nota-se um aumento considerável no período de retorno quando comparado *PRS*, e que o valor se aproxima ao tempo de vida útil do sistema.

### 4.3 CUSTO DO KILOWATT-HORA

Outro fator importante para definir a viabilidade do sistema fotovoltaico é saber o valor do *kWh*, para compará-lo ao da concessionária de energia, este chama-se de custo da energia gerada *CEG* ou custo da energia economizada *CEE*, seu valor é dado em R\$/*kWh*. Para defini-lo, usa-se as equações apresentadas nesta sessão.(LISITA, 2005):

$$X = \frac{1+i}{1+d} \quad (11)$$

Em que:

*X*: fator de descapitalização;

*i*: taxa de inflação;

*d*: taxa de desconto.

A variável “*X*” corresponde ao fator de descapitalização (adimensional) que é a taxa unitária que deve-se multiplicar para que se tenha o valor com desconto, a taxa de inflação é referente a inflação acumulada nos últimos 12 meses no Brasil igual a 8,47% (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2015).

Desta forma o valor de descapitalização foi de 0,9866090909.

$$P_a = \frac{1-X^n}{1-X} \quad (12)$$

Em que:

*P<sub>a</sub>*: fator de amortização (adimensional);

$X$ : fator de descapitalização (adimensional).

$n$ : vida útil do sistema.

O fator de amortização  $P_a$  é utilizado para achar o valor atual de uma variável amortizada.

Assim, tem-se:

$$P_a = 21,24009713.$$

$$VP_1 = \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^n \cdot Cl' \quad (13)$$

Em que:

$VP_1$  : é o valor presente (R\$);

$d$ : é a taxa de desconto;

$Cl'$ : é o custo inicial do inversor;

O valor presente  $VP$  refere-se a um item que seria adquirido  $n$  anos mais tarde, neste caso, refere-se a troca de inversores que será realizada uma vez no décimo terceiro ano. ( $n = 13$ ) e ao custo de manutenção;

Desta forma,

$$VP_1 \text{ de } n = 13 \text{ é R\$ } 1.08592,81.$$

Enquanto que:

$$VP_2 = P_a \cdot Cl \quad (14)$$

Em que:

$VP_2$ : é o valor presente acumulativo para os gastos anuais fixos em manutenção (R\$);

$P_a$ : é o fator de amortização;

$Cl$ : é o custo inicial de manutenção.

Segundo José Gonçalves, técnico que opera e realiza manutenção em sistemas fotovoltaicos o custo de operação e manutenção para esse sistema apresentado fica em torno de R\$ 14.040,00.

Para calcular o custo do ciclo de vida (CCV) e o custo do ciclo de vida anualizado (CCVA), foram utilizadas as equações 13 e 14:

$$CCV = Investimento\ inicial + VP1 + VP2 \quad (13)$$

$$CCVA = \frac{CCV}{X.P_a} \quad (14)$$

Assim, tem:

$$CCV = R\$ 8.365.090,02 \text{ e } CCVA = R\$ 399.389,98.$$

Através dos valores encontrados nas equações anteriores e do valor da energia economizada (R\$ 913.932,25) o custo de energia economizada *CEE* pode ser calculado, este, permite comparar o valor do kWh da concessionária e do sistema fotovoltaico. A fórmula para realizar esse cálculo está expressa na equação 15.

$$CEE = \frac{CCVA(R\$)}{energia\ economizada\left(\frac{kWh}{ano}\right)} \quad (15)$$

Desta forma, obtem-se:

$$CEE = R\$ 0,437/kWh.$$

Ou seja, para produzir 1 kWh a partir do sistema fotovoltaico proposto serão gastos R\$ 0,437.



bandeira tarifária vermelha) e pela atual crise econômica que o Brasil enfrenta. A tendência é que com esses aumentos tarifários, os consumidores passem a procurar formas alternativas para obter energia elétrica. A produção de energia através do sistema fotovoltaico é a mais indicada, devido as condições climáticas favoráveis do Brasil e por serem independentes, ou seja, cada consumidor pode ter energia elétrica sendo produzida em sua residência, comércio ou indústria a partir dos painéis solares. O aumento do uso deste sistema também irá contribuir para a diminuição do preço final deste sistema.

Um fator importante é a regulamentação para que a energia fotovoltaica venha ter uma participação relevante na matriz energética nacional. A resolução normativa nº 482 (ANEEL, 2012), possibilitou um ambiente propício para o desenvolvimento deste mercado, no entanto é preciso aperfeiçoá-la, para que esta atenda melhor as necessidades de seus usuários.

É importante também que o governo participe com incentivos para expansão deste sistema no Brasil. Estes podem ser no campo científico, econômico e financeiro, por meio do incentivo à pesquisas nas universidades e criação de centros de estudo, de modo a promover o desenvolvimento e inovação desta tecnologia; pagamento de subsídios para geradores de eletricidade através do SFCR; opções de financiamento com taxa de juros baixas e com longos períodos para pagamento; políticas voltadas para aberturas de fábricas de montagens e produção de módulos e de inversores, levando em conta que o Brasil tem potencial para ser um grande produtor de módulos fotovoltaicos, já que possui uma das maiores reservas de silício do mundo, a qual é a matéria-prima para produção destes.

Essas medidas seriam uma saída para diminuir os custos desses produtos que atualmente são importados, além de gerar mão-de-obra qualificada nesta área, inúmeras vagas de empregos em diversos níveis de qualificação, e trazer desenvolvimento para o setor industrial e concomitantemente o país se destacaria no mundo como um grande vendedor e produtor de energia limpa, visto que para a geração de energia através deste sistema não há emissão de gases poluentes.

## 5 CONCLUSÕES

A matriz energética brasileira possui o desafio de suprir elevadas demandas das projeções futuras para o consumo de energia elétrica. Assim, as fontes renováveis de energia devem se tornar cada vez mais comuns para contribuir com a geração de energia elétrica. Neste cenário o sistema fotovoltaico torna-se uma opção em potencial.

Desta forma, esse trabalho realizou um estudo sobre viabilidade econômica a partir de uma abordagem sobre sistema fotovoltaico, levantando informações para realização do projeto, como realização de simulação, definição da potência do sistema de acordo com a demanda de consumo da organização, contato com os fabricantes, orçamento e dimensionamento dos equipamentos, assim como a verificação destes e por fim o cálculo do tempo de retorno do investimento, e os custos para implantação do sistema e de uma unidade de quilowatt-hora.

Através deste estudo, observou-se que proposta apresentada é viável tecnicamente, produzindo energia suficiente para alimentar a organização estudada neste trabalho (gráfico 1) e que o preço do kWh apesar de ter sido alto quando comparado ao da concessionária que considera os tributos cobrados no Brasil (ICMS, COFINS e PIS) se mostrou viável economicamente, sendo R\$ 0,06 mais barato que o valor cobrado pela CELPA. Esses resultados foram obtidos através de dados reais, que demonstram que a empresa estudada possui potencial para utilização de eletricidade solar. Esse investimento além de limpo e sustentável, irá gerar economia, porém, a longo prazo.

De acordo com o que foi exposto neste estudo, o Brasil possui um grande potencial para fabricar e consumir tecnologia fotovoltaica, tendo capacidade inclusive de se tornar um dos principais contribuidores mundiais nessa área. A perspectiva é que com esse potencial, o aumento do consumo de energia e com a inserção de políticas públicas, esse cenário melhore nos próximos anos.

De modo geral, este trabalho buscou contribuir cientificamente nesta área de pesquisa, principalmente no que tange análise econômica, apresentando fórmulas e resultados baseados em uma situação real, além disso, demonstrou que a viabilidade econômica de SFV vem se tornando possível ao longo do tempo e que apesar das barreiras econômicas existentes, esta apresenta perspectiva de crescimento para os próximos anos. Além disso, o estudo, poderá ser

utilizado como fonte de novas pesquisas realizadas por estudantes de engenharia e áreas afins, assim como por pessoas interessadas em conhecer e investir neste tipo de sistema.

## 5.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção são listados alguns pontos que foram identificados como oportunidades de evolução neste trabalho.

- Estudo detalhado do consumo de energia elétrica em função do tempo em que cada aparelho e máquina existente na organização é utilizado, a fim de obter o consumo real de cada um destes.
- Realização do dimensionamento de cada estrutura necessária para implantação do sistema;
- Realização do projeto elétrico do sistema;
- Estudo a partir da junção do sistema fotovoltaico como outra fonte alternativa de energia, tal como a eólica, a fim de diminuir custos e produzir energia elétrica nos períodos de pico de consumo da concessionária e quando não há energia solar para geração de eletricidade por meio dos painéis fotovoltaicos.

## 5.2 DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram encontradas algumas barreiras no que tange o uso do sistema fotovoltaico.

- Ao longo do desenvolvimento deste estudo e durante pesquisas de assuntos relacionados ao tema abordado, notou-se que no Brasil existe pouca mão-de-obra especializada em instalação, manutenção e fornecimento de componentes pra sistemas fotovoltaicos. Inclusive, durante a fase de realização do orçamento foi difícil encontrar empresas do ramo disponíveis para realizá-lo.
- O sistema fotovoltaico ainda é uma tecnologia nova, pouco conhecida e explorada no Brasil, tanto que existem poucas literaturas nacionais e recursos de pesquisa nessa área, principalmente quando se trata de estudos voltados para a viabilidade econômica

desses sistemas, sendo que existe uma quantidade considerável destas que apresentam erros graves de cálculos e informações incoerentes.

- O presente trabalho apresentou conceitos importante sobre os princípios do sistema fotovoltaico, porém, seu foco principal foi realizar a análise econômica do sistema, desta forma, o dimensionamento e o projeto de instalação não foram detalhados, pois para realizá-los é necessário conhecimentos técnicos e específicos na área de eletricidade, sendo mais indicado ser realizado por engenheiros eletricitas.

## REFERÊNCIAS

ANNEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **resolução normativa nº 482**, de 17 abril 2012. Disponível em <<http://www.anel.gov.br>>. Acesso 08 de junho de 2015.

AMÉRICA DO SOL. Disponível em <<http://www.americadosol.org/simuladorsolar>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

AMÉRICA DO SOL. Disponível em <<http://www.americadosol.org/fornecedores/>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

AMÉRICA DO SOL. Disponível em <<http://www.americadosol.org/cartilhasolar/>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

AMÉRICA DO SOL. Disponível em <<http://www.americadosol.org/energiafotovoltaica/>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

AMÉRICA DO SOL. Disponível em <<http://www.americadosol.org/guia-de-microgeradores/>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

ANTONIOLLI, Andriago Filippo Gonçalves. **Universidade Federal de Santa Catarina:** avaliação técnica e econômica da integração de sistemas fotovoltaicos em residências unifamiliares em Santa Catarina. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal De Santa Catarina, Centro Tecnológico Departamento De Engenharia Civil, Florianópolis, 2012.

ARAMIZU, Juliana. **Universidade de São Paulo:** modelagem e análise de desempenho de um sistema fotovoltaico em operação isolada e em paralelo com uma rede de distribuição de energia elétrica. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2010.

BCB – Banco Central do Brasil. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 13 de julho de 2015.

BEHENCK, Ivann Soares. **Universidade Federal do Rio de Janeiro:** estudo comparativo da viabilidade de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, através do software homer. 2011, Monografia (Graduando em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2011.

CELPA - Centrais Elétricas do Pará. Disponível em <<http://www.celpe.com.br/sua-conta/tarifas>>. Acesso em: 15 de julho de 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **BEM, Balanço Energético Nacional 2014:** ano base 2013. Ministério de Minas e Energia. 2012, Rio de Janeiro, RJ. 2012.

GALDINO, Marco Antônio. Análise de custo históricos de sistemas fotovoltaicos no Brasil. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR e V Conferência Latino-americana da ISES, 2012, São Paulo.

LISITA, Orlando Jr. **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO:** Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso- 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP. 2005, Monografia (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

KANNENBERG, André Renato. **Universidade do Vale do Itajaí:** estudo da viabilidade econômica da implantação residencial de painéis fotovoltaicos como opção para a redução do consumo de energia elétrica convencional. 2010, Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, 2010

MANCILHA, Kamila Costa. **Universidade Federal de Juiz de Fora:** aplicação de energia fotovoltaica para prédios administrativos e áreas industriais. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **Universidade Federal do Rio de Janeiro: análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede.** 2014. Monografia (Projeto de Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2014.

NEO SOLAR ENERGIA. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/suporte>>. Acesso em: 29 de maio de 2015.

OLIVEIRA, Rafael Deléo; MELO, José Carlos . **Análise econômica da geração fotovoltaica de energia elétrica no município de São Carlos (SP).** Revista Brasileira de Energia, São Paulo, v. 17, n.3, p.157-174, 2011.

OLIVEIRA, Ricardo Alexandre Freitas de. **Universidade Federal da Bahia: os efeitos econômicos da utilização da energia solar fotovoltaica na caprinocultura no município de valente.** 2000. Monografia (Graduação de Bacharel em Ciências Econômicas) – Universidade Federal da Bahia, Faculdade De Ciências Econômicas, Salvador, 2000.

OLIVEIRA, Érika Matos de. **UNIVERSIDA DEFEDERAL DO PARÁ: dimensionamento de um sistema fotovoltaico fixo conectado à rede: estudo de caso do campus universitário de Abaetetuba.** 2013, Monografia (Graduação em Engenharia Industrial) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2013.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos: 1º Edição, Papel, 2006, 64 p.

PINHO, Joao Tavares; GALDINO, Marcos Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Ed. Especial, 2014, 530 p.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Florianópolis: Labsolar, 2004. 114 p.

SERRÃO, Marcos Antônio Dos Santos. **Universidade Federal do Rio de Janeiro:** dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajaíba – Paraty. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SEVERO, Thiago Cassol. **Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul:** Desenvolvimento do módulo fotovoltaico concentrador estatístico helius para sistemas autônomos. 2005, Monografia (Dissertação de Mestrado em Engenharia da Tecnologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SIQUEIRA, Luciana Maria Paulo de. **Universidade Federal do Rio de Janeiro:** viabilidade da microgeração de energia elétrica em residências por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, escola politécnica, Rio de Janeiro, 2013.

SILVA, José Valderi Cavalcante. **Universidade Federal de Lavras:** pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para a universidade estadual do sudoeste da Bahia, campus de Itapetinga. 2013. Monografia (Especialista em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

TOYAMA, Alain Heizo; JUNIOR, Natalino Das Neves; ALMEIDA, Nelson Geraldo De. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná:** estudo de viabilidade econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de energia para diferentes regiões no estado do Paraná. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná, departamento acadêmico de eletrotécnica – daelt, Curitiba, 2014.

UIRÊ, Guimarães Vieira Ribeiro. **Universidade de São Paulo:** estudo de viabilidade econômica de instalação de fonte de energia renováveis baseadas em células fotovoltaicas para o uso residencial. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2012.

VIANA, Trajano de Souza. **Universidade Federal de Santa Catarina:** introdução aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório Solar, Santa Catarina, 2010.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações.** São Paulo: Érica, 2012. 224 p.