



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - PB
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

KLÊNIO ANTONOVISK DAMASCENA SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA – ESTUDO DE
CASO DE UMA CLÍNICA.**

CAMPINA GRANDE – PB

2018

KLÊNIO ANTONOVISK DAMASCENA SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA – ESTUDO DE
CASO DE UMA CLÍNICA.**

*Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar Oliveira

CAMPINA GRANDE – PB

2018

KLÊNIO ANTONOVISK DAMASCENA SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA – ESTUDO DE
CASO DE UMA CLÍNICA.**

*Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Ubirajara Meira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador, UFCG

Professor Leimar Oliveira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico esse trabalho a minha família e amigos,
especialmente a minha filha que foi minha
grande motivação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por ter me dado serenidade nesta jornada de trabalho e estudos;

Aos meus familiares e amigos por ter me oferecido palavras de motivação e conforto, em especial minha mãe e minha filha;

Ao meu orientador Leimar Oliveira que me forneceu as informações necessárias para terminar este trabalho.

“Água mole em pedra dura tanto bate até que fura.”

Ditado popular

RESUMO

O planeta enfrenta problemas relacionados a destruição do meio ambiente e o esgotamento dos combustíveis fósseis, esse fator está ligado de forma direta a produção de energia elétrica através do uso excessivo desses combustíveis. Desse modo, torna-se importante buscar maneiras de gerar energia por meio de fontes renováveis, assim, a energia solar gerada através de placas fotovoltaicas aparece como uma alternativa bastante atrativa para solucionar essa adversidade que o planeta se encontra. O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica para implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos em uma clínica odontológica na cidade de Patos-PB. Para alcançar esse objetivo foi realizada uma revisão teórica e pesquisas de trabalhos que se relacionam com o tema proposto. Além disso, foram pesquisadas as tecnologias disponíveis em busca de escolher o sistema mais adequado com base na sua eficiência e no seu custo. Os objetivos propostos para o trabalho foram alcançados e apesar da implantação do sistema ainda possuir um custo bastante elevado, os resultados mostraram que para a clínica odontológica em estudo a implantação do sistema fotovoltaico é viável, e além da economia de energia, há a redução dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Energia Solar, Painéis Fotovoltaicos, Clínica Odontológica.

ABSTRACT

The planet faces several difficulties, one of which is highlighted as the destruction of the environment and the depletion of fossil fuels, this factor is linked to the direct production of electricity through the excessive use of these fuels. In this way, it becomes important to seek energy from renewable energy sources, so the solar energy generated through the photovoltaic plate appears as a very attractive alternative to control the adversity that the planet is in. The present work had a prospective analysis for the implementation of a system of electric energy generation by means of photovoltaics in a dental clinic in the city of Patos-PB. For which a theoretical review and researches of works that relate to the proposed theme were carried out. In addition, they were searched as available technologies in search of choosing the most appropriate system based on its efficiency and its cost. The proposed objectives for the work were achieved and although the implementation of the system still has a very high cost, the results of its services were evaluated in a dental study in a photovoltaic system installation and viable energy saving. environmental impacts.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Panels, Dental Clinic

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa anual de insolação diária no Brasil. | 17 |
| Figura 2 – Representação de um sistema fotovoltaico on grid. | 22 |
| Figura 3 – Representação de um sistema fotovoltaico autônomo. | 23 |
| Figura 4 – Imagem ilustrativa painel solar. | 24 |
| Figura 5 – Imagem ilustrativa baterias. | 25 |
| Figura 6 – Imagem ilustrativa condutores | 26 |
| Figura 7 – Imagem ilustrativa fusíveis | 26 |
| Figura 8 – Imagem ilustrativa controlador..... | 27 |
| Figura 9 – Imagem ilustrativa inversor..... | 28 |
| Figura 10 – Imagem ilustrativa rastreador solar..... | 28 |
| Figura 11 – Esquema de investimentos | 31 |
| Figura 12 – Imagem ilustrativa de técnicos trabalhando. | 32 |
| Figura 13 – Tela do software RETScreen Patos-PB..... | 34 |
| Figura 14 – Modelo do painel solar utilizado..... | 37 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Tabela do consumo mensal de energia e seus custos entre os meses de setembro 2017 e agosto de 2018..... | 35 |
| Tabela 2 – Resultados da equação de energia gerada pelos painéis ao longo do ano..... | 38 |
| Tabela 3 – Custos de aquisição do sistema fotovoltaico..... | 39 |
| Tabela 4 – Custo para geração de energia durante 25 anos..... | 40 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 – Países que mais produzem energia solar no mundo..... | 13 |
| Gráfico 2 – Consumo de energia elétrica por setor no Brasil..... | 14 |
| Gráfico 3 – Previsão de produção de energia durante 25 anos em kWh..... | 40 |
| Gráfico 4 – Gráfico que aponta o fluxo de caixa..... | 41 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

| | |
|---------|--------------------------------------|
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| EUA | Estados Unidos da América |
| CC | Corrente Contínua |
| CA | Corrente Alternada |
| NH | <i>Niederspannungs Hochleistungs</i> |
| VPL | Valor Presente Líquido |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| PAYBACK | Tempo de Retorno de Investimento |
| KWH | Quilowatt-Hora |
| MWP | Megawatts-Pico |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1.INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS | 15 |
| 1.2.1. Geral..... | 15 |
| 1.2.2 Específicos..... | 15 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 15 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 RADIAÇÃO SOLAR..... | 16 |
| 2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA | 18 |
| 2.2.1 Tipos De Células Solares Fotovoltaicas | 20 |
| 2.2.2 Tipos De Sistemas Fotovoltaicos..... | 21 |
| 2.2.3 Componentes Do Sistema Fotovoltaico | 23 |
| 2.3 INDICADORES DE VIABILIDADE..... | 29 |
| 2.3.1 Payback | 29 |
| 2.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)..... | 30 |
| 2.3.3 Taxa Interna De Retorno (TIR) | 30 |
| 3. METODOLOGIA | 31 |
| 3.1 ETAPAS METODOLÓGICAS | 31 |
| 3.2 CLÍNICA ODONTOLÓGICA | 32 |
| 3.3 ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS | 33 |
| 3.4 RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA..... | 34 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 35 |
| 4.1 POTÊNCIA NOMINAL NECESSÁRIA | 36 |
| 4.2 NÚMERO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS..... | 36 |
| 4.3 INVERSORES DE CORRENTE ELÉTRICA | 37 |
| 4.4 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA GERADA PELOS PAINÉIS AO LONGO DO ANO..... | 38 |
| 4.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA..... | 39 |
| 4.5.1 Custo De Aquisição Do Sistema..... | 39 |
| 4.5.2 Previsão De Geração De Energia Nos Próximos 25 Anos | 40 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 44 |
| REFERÊNCIAS..... | 45 |

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o planeta sofre com inúmeras dificuldades, que estão relacionadas a vários fatores. Dentre elas, podemos destacar os de maior relevância para o futuro da comunidade: a destruição do meio ambiente e o esgotamento das fontes de energia não renováveis (combustíveis fósseis). Essas adversidades estão ligadas diretamente ao uso desordenado dos combustíveis fósseis para a produção de energia. É importante ressaltar também, o uso cada vez mais excessivo desses combustíveis para abastecer os veículos que trafegam pelas cidades. Dessa maneira, as energias de fontes renováveis aparecem como uma solução para essas adversidades. Piva (2010, p. 9) comenta que:

O mundo está na busca de fontes de energias renováveis. As energias renováveis ajudam a conservar o planeta compartilhado por todas as nações e devem estar disponíveis para utilização por todos os seres humanos, tanto os que estão vivos hoje como as gerações vindouras. O interesse surge da possibilidade de se alcançar uma eficiência energética com possibilidade de se chegar a um desenvolvimento mundial energético sustentável.

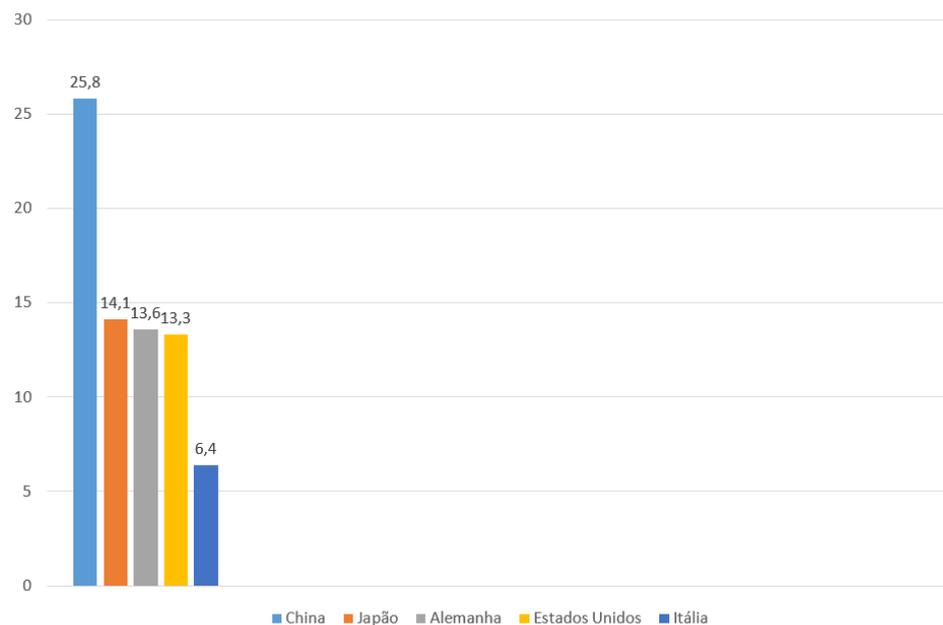
De acordo com a Renewable21 (2016) nos dias atuais as energias renováveis estão consolidadas por todo o planeta como as fontes de energia de maior importância. Seu desenvolvimento acelerado, em especial no âmbito elétrico, se deu através de várias maneiras, algumas como: facilidade ao acessar o financiamento, os cuidados com o meio ambiente, o avanço da concorrência dos custos relacionados as tecnologias renováveis, dentre outros. Portanto, a implantação de energia renovável está aparecendo em todos os lugares do mundo.

Diante desse contexto de energias renováveis, voltemos o olhar para a energia solar através da tecnologia fotovoltaica, um tipo de energia renovável que está ganhando cada vez mais espaço mundialmente, esse fator ocorre por se tratar de uma das alternativas mais confiáveis encontradas no mercado. Segundo Ruther (2004) os raios solares incididos na terra durante um dia são o dobro da população do planeta. Assim, das diversas maneiras capazes de gerar energia solar, a tecnologia fotovoltaica aparece como uma das mais eficazes formas de gerar energia elétrica. Inicialmente, quando as primeiras células fotovoltaicas surgiram, seu custo era muito alto, no entanto, nos dias atuais, com o avanço da tecnologia o fornecimento de energia elétrica através de energia solar por meio das células fotovoltaicas se tornou viável. “Energias renováveis atenderam uma porcentagem estimada de 19,2% do consumo final global de energia em 2014 e o crescimento da capacidade e da geração continuou em 2015” (RENEWABLE21, 2016, p.7).

Nessa questão sobre os avanços da energia solar, é importante mencionar que vários países já estão aderindo a essa alternativa e investindo nas tecnologias fotovoltaicas. O custo

da instalação, seja ela em comércio ou residências, tem ficado cada vez mais baixo. Junior (2017) relata sobre os países que mais produzem energia solar no mundo, a China é o país que conta com a maior capacidade de produção de energia solar instalada, sendo responsável por 25,8% da produção do planeta, em segundo lugar temos o Japão com 14,1%, a Alemanha com 13,6%, Estados Unidos com 13,3% e a Itália com 6,4%, o Brasil não se insere nesse meio, pois a produção de energia solar ainda não conta com um valor considerável, o país encontra-se investindo nessa alternativa.

Gráfico 1 – Países que mais produzem energia solar no mundo



Fonte: Autor (2018) com base em Energia Solar no mundo: conheça países que apostam nessa tecnologia (2017).

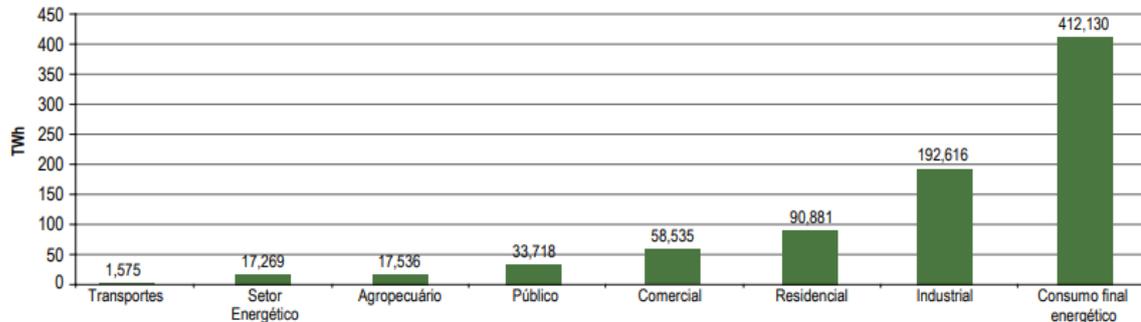
Apesar do Brasil não estar entre os países que mais produzem energia solar no mundo Braga (2008) menciona que ele está entre os países que possuem a maior incidência de raios solares do mundo, dessa maneira, os rendimentos utilizados nas tecnologias para converter esses raios em eletricidade são considerados baixos, no entanto, de início os investimentos são altos, porém o país está investindo cada vez mais nessa tecnologia.

Com o aumento do custo da produção de energia elétrica no Brasil, e o aumento dos impostos pagos pelo serviço ocasionou um acréscimo significativo nas contas de energia. Desse modo, a energia elétrica gerada a partir de placas fotovoltaicas aparece como uma possibilidade de gerar energia de forma econômica (SANTOS, SOUZA; DALFIOR, 2016).

No Brasil, de acordo com a Revista Veja (2015) o chuveiro elétrico deixou de ser o vilão da energia elétrica, perdendo esse posto para o ar-condicionado, é tanto que o mesmo aparece como um dos principais responsáveis pelo apagão que afetou 11 estados no país em

2015. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no ano de 2008 o setor residencial e comercial só perde no consumo para o setor industrial.

Gráfico 2 – Consumo de energia elétrica por setor no Brasil



Fonte: Atlas de energia elétrica do Brasil (2008).

Ainda sobre o consumo dos aparelhos de ar-condicionado, Ruther (2004) afirma que o consumo desses, apresenta-se superior aos demais aparelhos, principalmente nos dias que há maior incidência solar. Diante disso, o custo se torna elevado para locais que demandam muitos desses aparelhos, como por exemplo: escritórios, prédios comerciais, clínicas odontológicas. Diante disso, a instalação de placas fotovoltaicas ligadas a rede pública para esses locais aparece como uma das maneiras mais ideais de utilizar esse sistema, pois além da economia nas contas de energia, há uma folga no sistema de distribuição da concessionária que fornece a energia elétrica e diminui a possibilidade de blackouts energéticos.

De acordo com Braga (2008) no Brasil há uma alta incidência solar, especialmente na região Nordeste, mais precisamente no seu semiárido, com números que vão de 1.752 a 2.190 kWh/m². Levando-nos a entender que essa região está em vantagem quando relacionada a outras regiões do país no que diz respeito a energia solar.

Diante do contexto apresentado e levando em consideração que a região Nordeste do país é privilegiada em relação a alta incidência solar e que de acordo com Rezende e Bertoz (2011) consultórios odontológicos são responsáveis por um consumo de energia elétrica bastante considerável, seja o consultório de pequeno ou grande porte, e os seus proprietários buscam maneiras de diminuir esse custo. O presente trabalho tem como propósito analisar a viabilidade econômica da implantação de painéis fotovoltaicos em uma clínica odontológica na cidade de Patos, localizada na Paraíba, na região nordeste do país.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. GERAL

Análise de viabilidade econômica para implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos em uma clínica odontológica na cidade de Patos-PB.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar o levantamento bibliográfico relacionados ao tema do trabalho;
- Estimar o consumo energético da clínica odontológica;
- Apresentar um estudo de viabilidade para a clínica odontológica.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está organizada da seguinte maneira: no capítulo 2 é feita uma breve revisão teórica sobre energia fotovoltaica, descrevendo o funcionamento dos painéis solares e os componentes que compõem todo o sistema fotovoltaico, no capítulo 3 sobre é descrito os métodos indicadores de viabilidade econômica sendo descrito com mais detalhes como ocorreu o desenvolvimento das atividades citadas, no capítulo 4 é descrito o dimensionamento do sistema fotovoltaico que irá atender a clínica e no capítulo 5 são feitas as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

Os fótons de luz são capazes de gerar energia, a mesma por sua vez, é um fator inesgotável. Essa energia obtida do sol pode ser aproveitada tanto para gerar luz, como também para ser utilizada conforme fonte de calor. Boa parte das fontes de energia existentes na Terra, originaram-se a partir do sol, e é a partir deste, que ocorre a evaporação, originaria do ciclo das águas, proporcionando conseqüentemente uma represa e ocasionando a geração de energia elétrica, fator que recebe o nome de hidroeletricidade. Os raios emitidos pelo sol também são responsáveis pela circulação atmosférica, ocasionando os ventos, desse modo, a energia eólica também é gerada de maneira indireta pelo sol. Portanto, o sol aparece como uma fonte de energia essencial a humanidade (PINHO E GALDINO, 2014).

De acordo com Fadigas (1994) por ano o sol oferece, para a atmosfera do planeta Terra, $5,445 \times 10^{24}$ joules ou $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia. Analisando, refere-se a um valor significativo quando compara com a energia total produzida no ano de 1970 pelos sistemas desenvolvidos pelo homem, que obteve o resultado de 2×10^{20} joules ou 0,004% da energia recebida do Sol. Desse modo, está crescendo o interesse quanto a geração de energia por meio dos fótons de luz.

Para Souza (2017) as reações nucleares que ocorrem no interior do sol em grandes profundidades são responsáveis por produzir a energia solar. Uma dessas reações os átomos de hidrogênio são combinados e formam os átomos de hélio, e assim liberam a energia. Essa energia sai do interior do sol e vai até o seu exterior onde ocorre as irradiações por inúmeras direções. Essa energia solar irradiada chega até o planeta Terra, ela vem do espaço por meio de partículas energéticas denominadas fótons. Esses fótons possuem uma velocidade de deslocamento, a 300.000 km/s, por esse motivo a energia irradiada passa cerca de oito minutos para chegar à Terra.

Dessa maneira, Dutra et. al. (2013) afirma que a energia solar possui destaque entre as fontes de energias renováveis, isso se deve ao fato dos seus inúmeros benefícios, dentre eles: é uma fonte totalmente renovável, energia independente, não polui a natureza, e proporciona mais confiabilidade.

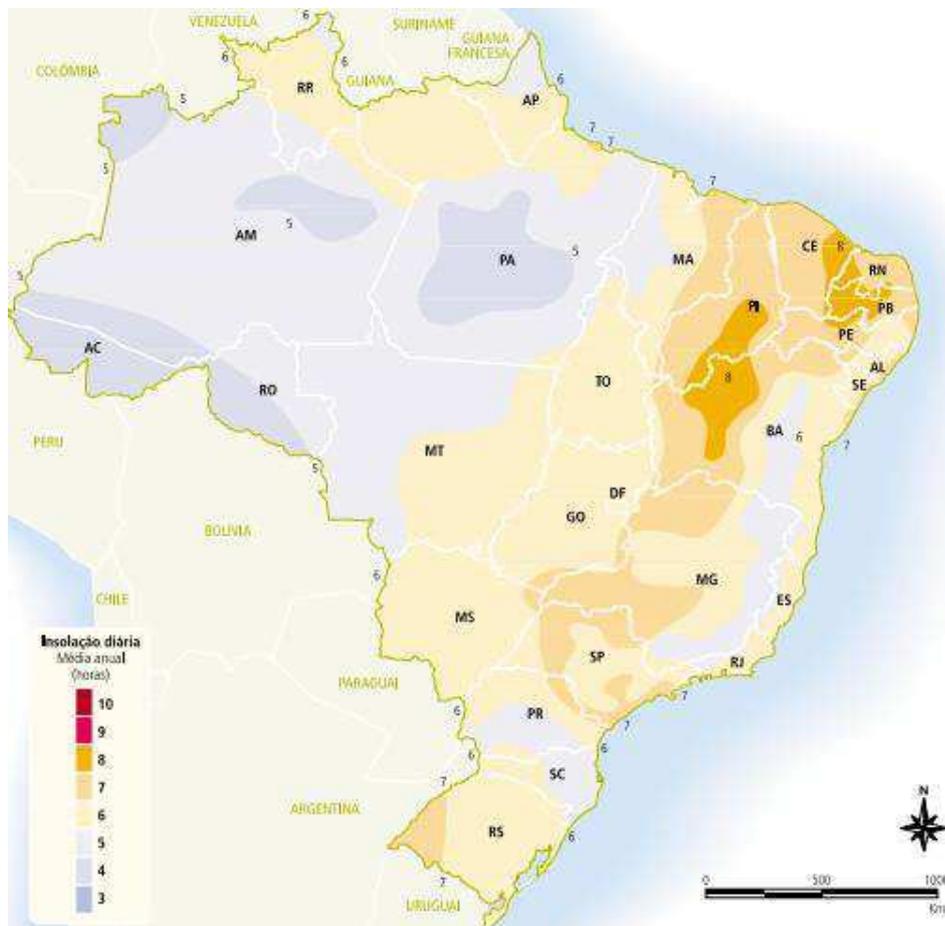
Outra vantagem apresentada pela energia solar é que a mesma não necessita extração, refinamento e transporte para a área de geração, diminuindo os custos com transmissões de alta tensão. Além disso, ela tem a possibilidade de ser utilizada de forma distribuída, proporcionando o desenvolvimento econômico e social em todas as regiões, diminuindo as

ligações clandestinas e os impactos ambientais. Para a geração dessa energia através do sol, são utilizadas células solares, que são capazes de gerar energia através do efeito fotovoltaico (SHAYANI; OLIVEIRA E CAMARGO, 2006).

Por outro lado, de acordo com Silva (2015) o Brasil é um país que possui um grande potencial no que diz respeito a geração de energia solar, no entanto, os incentivos que existem no país, são poucos para tornar esse tipo de energia viável. Desse modo, além de ser inviável o setor econômico, o investimento na fase inicial também aparece como um desafio, em especial, no setor residencial.

De acordo com o atlas de energia elétrica do Brasil (2005) o período em que a claridade do sol incide em algumas regiões e períodos do ano podem variar. Pelo fato da maior parte do território brasileiro encontrar-se localizado próximo a linha do Equador, não são identificadas variações bruscas quanto a duração solar diária. Sabendo a posição solar torna-se possível ajustar o posicionamento do painel solar de maneira que se adeque a latitude local e ao período do ano que necessita da maior produção de energia.

Figura 1 – Mapa anual de insolação diária no Brasil.



Fonte: Atlas de energia solar do Brasil.

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

O sol é capaz de proporcionar inúmeros benefícios ao planeta, dentre eles, tem-se a luz e o calor. Com relação ao sistema de energia fotovoltaica, que obtém a luz do sol e a transforma em energia elétrica por meio de células fotovoltaicas. Trata-se de um sistema formado por painéis fotovoltaicos e de aparelhos que servem para converter essa energia de corrente contínua para rotativa, quando seu uso é domicílio (SANTOS; SOUZA E DALFIOR, 2014).

Atualmente, de acordo com Junior (2015) devido aos inúmeros benefícios da energia solar fotovoltaica ela está crescendo consecutivamente obtendo novos consumidores, isso ocorre com base no retorno do investimento, no entanto, esse fator depende do local onde será empregada. Assim, a tecnologia fotovoltaica apresenta-se como uma maneira de economizar os recursos financeiros, além disso, é uma forma de gerar energia renovável, sem agredir a natureza.

Foi em 1849 no Reino Unido que a terminação “fotovoltaico” começou a ser utilizado, essa palavra tem origem grega: *phos*, significa “luz”, e de *-voltaico*, que faz parte do campo da eletricidade, para homenagear um físico italiano chamado Alessandro Volta. Contudo, foi 10 anos antes disso, em 1839, que o físico Alexandre Edmond Becquerel conseguiu observar pela primeira vez o paramagnetismo do oxigênio líquido, ela estava realizando experiências eletroquímicas, e porventura, acabou identificando que a luz de eléctrodos de platina quando expostos a luz originam o efeito fotovoltaico (MOTA, 2017).

Dessa maneira, para Machado e Miranda (2014) a ideia de produzir energia elétrica através dos raios solares surgiu em 1839, quando um físico francês chamando Edmond Becquerel, conseguiu observar que duas placas de latão submersas em um eletrólito líquido eram capazes de gerar eletricidade quando colocadas na luz do sol. Destarte, esse fator recebeu o nome de efeito fotovoltaico e em 1833, um inventor americano, foi capaz de construir a primeira bateria solar, e foi feita com folhas de selênio. Esse fato obteve grande repercussão, pois ninguém acreditava que seria capaz de gerar energia elétrica sem combustão.

Em 1973 aconteceu a crise do petróleo que acabou renovando e aumentando o interesse em utilizar a energia solar fotovoltaica. No entanto, nesse momento esse tipo de energia não era viável, isso se deve ao fato do custo para a produção das células fotovoltaicas, as empresas envolvidas nesse setor foram modificando seus perfis. Desse modo, nos Estados Unidos, certas empresas de petróleo tomaram a decisão de diferenciar os seus investimentos, optaram por produzir a energia solar nos seus negócios. Já em 1978, a produção da indústria fotovoltaica

teve um avanço, e acabou por ultrapassar 1MWp/ano. Então, os EUA estiveram à frente durante meia década, sendo o maior produtor desse tipo de tecnologia. Posteriormente a Alemanha e o Japão passaram a fazer altos investimentos, e produziram significativamente, isso ocorreu, especialmente por conta do acordo para tentar reduzir a produção de CO₂ (PINHO E GALDINO, 2014).

Por outro lado, para Ruther (2004) quando as primeiras células fotovoltaicas surgiram seu custo era elevado e as mesmas eram utilizadas para gerar energia elétrica. No entanto, as tecnologias foram desenvolvendo-se e o uso das células fotovoltaicas tornou-se economicamente viável em inúmeros casos, em especial, para fornecer energia elétrica em locais de alto consumo. Os painéis solares são fabricados para que sejam utilizados no espaço exterior, sob sol, e os demais agentes do clima, de modo satisfatório integrando-se as edificações, desenvolvendo tanto a função de gerar energia elétrica, como a função estética, apresentando-se como um elemento arquitetônico nos telhados e fachadas das edificações.

De acordo com Silva (2015) o efeito fotovoltaico acontece da seguinte maneira, quando a radiação solar é incidida sobre materiais que são semicondutores ela é transformada de forma direta em corrente contínua, desse modo, para que haja a transformação da corrente contínua em corrente alternada, é necessário o uso de alguns aparelhos, e os mesmos são denominados inversores. A formação dos painéis fotovoltaicos acontece por meio de um conjunto de células fotovoltaicas que são interconectadas de maneira que permite montar arranjos modulares, que em conjunto, são capazes de aumentar a eficácia da geração de energia elétrica.

Voltando o olhar para o Brasil, de acordo com Pinho e Galdino (2014) o país recebe índices consideráveis de emissão de raios solares, quando comparado com países europeus, onde a tecnologia fotovoltaica aparece bastante difundida no que diz respeito a produção de energia elétrica. Portanto, é perceptível que no Brasil o desenvolvimento tecnológico passa por fases de desenvolvimento, e ainda por algumas adversidades. Nos dias atuais existem laboratórios e equipes especializadas em universidades tanto públicas quanto privadas, empresas, centros de pesquisas, dentre outros, que atuam para que a tecnologia fotovoltaica desenvolva cada vez mais. Contudo, ainda não conseguiu atingir o nível de aperfeiçoamento de tecnologias de outros países que são desenvolvidos nessa área.

Diante do que foi explanado, vale mencionar também o uso da energia fotovoltaica em edificações comerciais, que segundo Ruther (2004) esse tipo de edificação possui um consumo que coincide com a geração de energia elétrica por sistemas solares fotovoltaicos a elas integradas. Esse fator ocorre, em especial em períodos muito quentes, pois há uma demanda maior por energia nessas edificações comerciais, por conta do uso de aparelhos de ar-

condicionado, assim, a geração solar fotovoltaica alcança valores extremos, e faz com que alivie o sistema de transmissão da concessionária elétrica. Além desse fator econômico com relação a energia, os painéis fotovoltaicos aparecem com uma estética bastante agradável, aparecendo substituindo materiais de revestimentos, como granito, vidro, mármore, dentre outros.

2.2.1 Tipos De Células Solares Fotovoltaicas

Os tipos de células solares fotovoltaicas são três: células de silício monocristalino, células de silício policristalino e células de silício amorfo.

Segundo Berlenga (2012) as células de silício monocristalino passam pelo processo de Czochralski para serem produzidas. No decorrer desse processo, o centro do cristal é submerso em um banho de silício fundido, rapidamente dopado com Boro, submetido a uma temperatura próximo ao ponto de fusão. Após definida a orientação e controle rígido da temperatura, o centro do cristal é recolhido do banho enquanto isso ele gira lentamente, assim, os cristais feitos apresentam forma redonda e seu diâmetro é capaz de ir desde os 30 centímetros há vários metros. Posteriormente os cristais de forma redonda são estirados em barras semiquadradas, logo depois, cortados em laminas, as pastilhas, apresentam espessura de 0,3mm. Existe outro processo capaz de produzir células monocristalinas, é chamado de processo de zona flutuante, esse é utilizado quando busca células que possuem maior pureza e eficiência, esse processo possui custos mais elevados. Desse modo, o silício monocristalino de acordo com Castro (2002) é o material mais utilizado para compor as células fotovoltaicas, no mercado esse material atinge por volta de 60%. No que diz respeito ao desenvolvimento do efeito fotovoltaico a uniformidade da estrutura molecular que resulta do uso de um cristal único aparece como sendo ideal.

Já as células de silício policristalino para Ruther (2004) apresentam menor eficiência de conversão, no entanto, sua vantagem é a questão do custo, pois sua produção possui baixo custo quando comparada a outras. Isso ocorre devido a perfeição da cristalina que é bem menor que o silício policristalino. Logo, Castro (2002) afirma que o silício policristalino constitui-se por um número bastante elevado de pequenos cristais que possuem espessura de um cabelo do ser humano, e no mercado sua quota diz respeito a 30%. As rupturas da estrutura das moléculas são responsáveis por dificultar o deslocamento de elétrons e estimulam a recombinação com as lacunas, que acaba resultando na redução da potência de saída.

As células de silício amorfo para Berlenga (2012) também conhecidas como células de película fina os semicondutores são empregados em finas camadas num substrato, comumente vidro. Para aplicar os semicondutores utiliza-se de procedimentos que envolvem processos de disposição catódica, vaporização e banhos eletrolíticos. Essas células de silício amorfo, requer uma espessura de apenas 0,001mm, isso acontece por causa da elevada infiltração dos materiais empregados. Destarte, Ruther (2004) assegura que as células de silício amorfo possuem a aparência estética bastante chamativa, onde são empregadas no setor arquitetônico, muitas vezes substitui materiais de cobertura dos telhados e fachadas, desse modo, as instalações integram-se as construções. Dessa maneira, o silício amorfo aparece com essa vantagem, pois aplica-se como um material de revestimento, e seu custo é bastante inferior quando comparado ao silício cristalino.

2.2.2 Tipos De Sistemas Fotovoltaicos

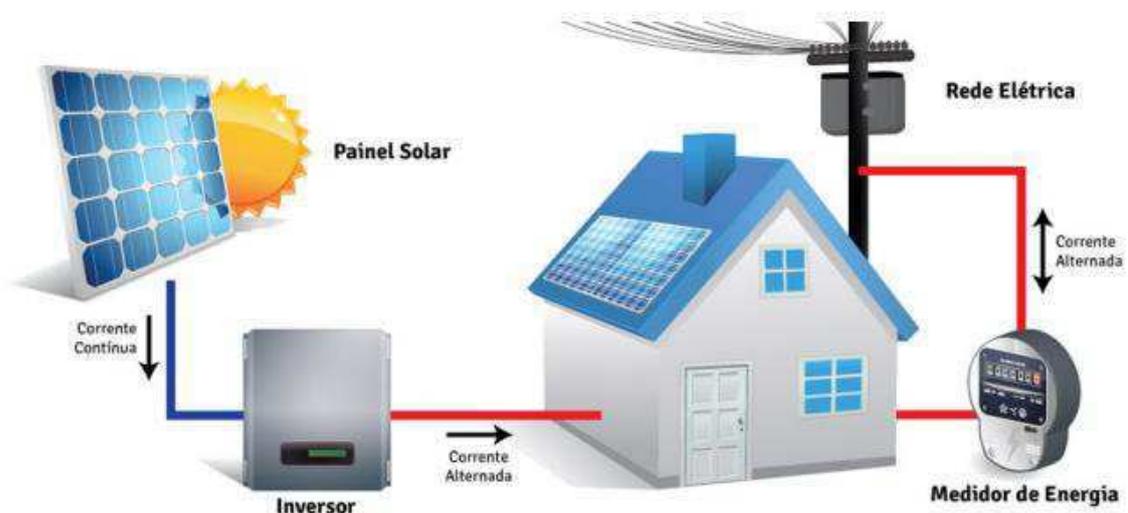
De acordo com Berlenga (2012) A partir da radiação solar é possível gerar energia elétrica, independentemente do tipo de sistema que irá utilizar. A maneira de identificar os diferentes tipos de instalações fotovoltaicas é através do direcionamento cedido a energia elétrica, que se divide em dois tipos: os sistemas ligados à rede e os sistemas autônomos.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, podem ser chamados também de sistemas ONGRID, esses, por sua vez, atuam mantendo uma correlação com a rede de eletricidade. Esses sistemas são utilizados em áreas que já são atendidas por energia elétrica. Isso ocorre, por conta da falta de dispositivos para realizar a armazenagem da energia, assim, todo o excesso de energia gerada pelo sistema é injetado na rede elétrica, quando isso ocorre em usinas fotovoltaicas, toda a energia produzida é injetada. O sistema fotovoltaico conectado à rede constitui-se por um agrupamento de módulos fotovoltaicos, responsáveis por gerar energia, um conjunto de inversores, que irão converter CC-CA para conexão à rede elétrica, além disso, as caixas de junção e os dispositivos que protegem e medem a energia gerada (CAMARGO, 2017).

Ainda com relação aos sistemas ligados à rede, Berlenga (2012) afirma que esses são os que prevalecem no meio urbano, definidos por não dispor de um sistema de armazenamento de energia elétrica. Dessa maneira, a energia produzida é injetada na rede. Nessas instalações que são ligadas a rede existe a necessidade de assegurar que a tensão de saída do inversor seja a mesma que a da rede e tem que estar em fase com a tensão da rede de maneira que não crie harmônicas. Este tipo de instalação admite-se três tipos de configurações em função da ligação do inversor com o campo gerador fotovoltaico. A primeira é a configuração de inversor

centralizado, onde há apenas um único inversor no qual é ligado o campo fotovoltaico, a segunda é a configuração de inversor por ramal, esse é utilizado quando se identifica partes do campo gerador com distintas orientações e inclinações e no caso de sombras inevitáveis. Por fim, cada uma das partes liga-se a um mesmo inversor, adquirindo sempre o mesmo nível de corrente. E a última configuração é a de inversor por painel, onde cada painel é inserido com o seu próprio inversor, assim, cada agrupamento, painel-inversor, funcionará no seu ponto de potência mais elevado.

Figura 2 – Representação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.



Fonte: <<http://universosolar.com/sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede/>>. (2016)

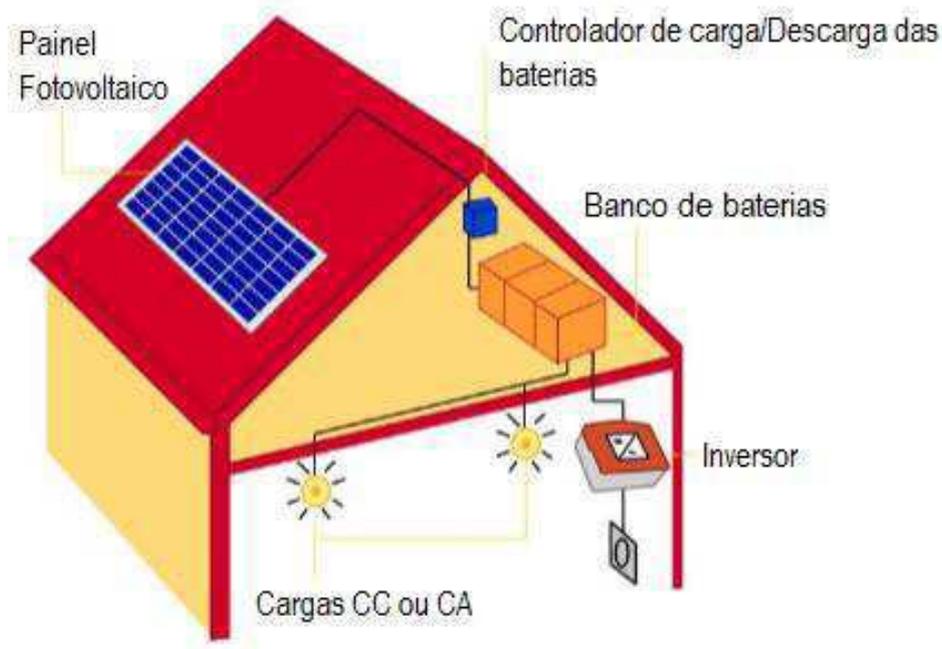
Do mesmo modo, conforme Alves (2016) o sistema conectado, encaminha energia para a rede quando a geração é superior ao consumo, e recolhe dela quando o consumo é superior a geração. Assim sendo, a rede trabalha como um imenso banco de baterias, armazenando o excesso de energia ou complementando em horários de demandas maiores. Destarte, o usuário paga apenas para a concessionária quando o consumo for superior a energia que gerar, quando ocorrer de produzir mais do que consome, o usuário irá receber créditos, isso de acordo com a resolução da ANEEL.

Por outro lado, os sistemas fotovoltaicos autônomos são aqueles que precisam de alguma espécie de armazenamento. A maneira mais frequente de armazenamento é optar pelo uso de baterias elétricas (JUCÁ E CARVALHO, 2013). Contudo, para Berlenga (2012) os sistemas autônomos diferem dos sistemas ligados à rede por disporem de um sistema de acumulação composto por bateria e regulador de carga. Desse modo, esse tipo de sistema dispõe de um rendimento inferior quando comparados aos sistemas ligados à rede, o que se deve ao

fato de um sobre dimensionamento da instalação com o propósito de assegurar a produção em períodos mais desfavoráveis, o que resultará em uma produção remanescente nas alturas de maior favorecimento que não será possível aproveitar pela capacidade de armazenamento limitada.

Para Souza (2017) o sistema autônomo é aquele em que não há outra forma de gerar eletricidade. Assim, pelo fato do sistema gerar eletricidade apenas em horários de sol, esse tipo de sistema possui acumuladores que são capazes de armazenar a energia para os períodos em que não há sol, isso ocorre todas as noites, e também em períodos de chuva e dias nublados. As dimensões dos acumuladores são definidas com base na autonomia que o sistema tiver, e isso vai variar de acordo com as condições climáticas do local onde o sistema fotovoltaico será implantado.

Figura 3 – Representação de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: Souza (2017).

2.2.3 Componentes Do Sistema Fotovoltaico

Para a instalação do sistema fotovoltaico são necessários alguns componentes, seja conectado à rede ou autônomo. De acordo com Cabral (2001) os componentes básicos do sistema fotovoltaico são sete: painel solar, baterias, condutores, fusíveis, controladores de carga, inversor e rastreador solar.

- **Painel solar**

O painel solar (Figura 4) conforme Cabral (2001) constitui-se por uma ou mais placas solares, onde são encontradas as células fotovoltaicas, essas por sua vez, possuem a função de converter parte da energia solar em energia elétrica. Logo, as dimensões do painel são determinadas com base na necessidade de potência da instalação. Essa necessidade varia muito, ocorrendo situações específicas particulares, caso essa necessidade não obtenha painéis de dimensões desejadas, pode-se realizar a união de mais de uma placa, e assim obter as dimensões esperadas. Então, podem ser encontrados tanto painéis formados por uma única placa solar, como painéis formados por diversas placas. Esses painéis possuem a função de fornecer a energia solar para ligar as cargas e/ou carregar baterias, para depois ocorrer o uso.

Figura 4 – Imagem ilustrativa painel solar.



Fonte: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-150w-risen-solar-rsm36-6-150p-79224>> (2018).

Com relação a questão da quantidade de energia que pode ser fornecida pelo painel, vai depender da sua área de coleta, pois quanto maior for, conseqüentemente maior será o fornecimento de energia elétrica. Quando utilizar painel solar composto por mais de uma placa solar, essas, necessitam devidamente estar interligadas, esse fator pode ocorrer de três formas: ligação em paralelo, ligação em serie e ligação mista.

- **Baterias**

As baterias (Figura 5) possuem a função do armazenamento de energia produzida em uma tensão de 12V ou 24V, e responsabiliza-se por fornecer energia elétrica quando solicitado. Contudo, encontram-se vários tipos de baterias, no entanto, as que são mais usadas são as de chumbo-ácido isso se deve ao fato de terem o custo menor e possuírem a maturidade mais elevada. Lado a lado o uso das baterias de níquel-cádmio está crescendo por serem seladas e operar em seja qual for a posição com elevada densidade de energia, porém, essas são mais caras quando compara-se com as demais (ALVES, 2016).

Figura 5 – Imagem ilustrativa baterias.



Fonte: <<https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>> (2018).

No entanto, para Cabral (2001) as baterias têm a função de acumular a carga, afim de permitir o uso de equipamentos em horários que não haja a presença dos raios solares, ou em momentos que a energia solar captada pelo painel e oferecida ao sistema, for menor que a necessidade da carga. Esse fator pode ocorrer em algumas situações, tais como: depois da nascente do sol ou quando ele se pôr, e também em dias nublados, pois a radiação solar possui baixa intensidade.

- **Condutores**

Uma parte de bastante relevancia para o sistema como afirma Alves (2016) é o cabeamento (Figura 6), que quando não há o dimensionamento correto, pode apresentar perdas acima do comum, por conta do efeito Joule. Em vista disso, para dimensionar os condutores, é preciso considerar, especialmente, tres critérios: tensão, corrente e queda de tensão. Já para Cabral (2001) Devido ao sistema fornecido por energia solar seguir basicamente os mesm os padroes dos sistemas da energia eletrica convencional, ou seja, de baixa tensao, o condutores elétricos, tem que ser de cobre, com isolamento termoplástico.

Para especificar o condutor apropriado a cada parte do sistema, considera-se a potência elétrica que esses condutores terão que alimentar, além disso, o comprimento do circuito também deve ser considerado.

Figura 6 – Imagem ilustrativa condutores.



Fonte: <<https://pt.aliexpress.com/item/6mm2-single-conductor-black-PV-Solar-Cable-used-for-off-grid-and-grid-connected-PV-System/1060750320.html>> (2018).

- **Fusíveis**

De acordo com Cabral (2001) os fusíveis (Figura 7) são usados para proteger os circuitos contra correntes estranhas, como por exemplo: sobrecarga e curto-circuito. Os tipos de fusíveis mais comuns são tres, o NH, o Diazed e o cartucho. Os mais usados para proteger os circuitos de habitações com aproveitamento de energia solar é os fusíveis de cartucho. Seja qual for o tipo de fusível usado, eles devem ser instalados no condutor positivo e tem que ser dimensionados com corrente de condução abaixo do limite da capacidade de condução de corrente do condutor.

Figura 7 – Imagem ilustrativa fusíveis.



Fonte: <<https://pt.aliexpress.com/item/A-lot-5-sets-PV-Solar-Fuse-10A-1000V-DC-Fusable-10x38-gPV-with-Fuse-Holder/32694347057.html>> (2018).

- **Controladores de Carga**

Os controladores de carga (Figura 8) de acordo com Alves (2016) são utilizados nos sistemas que não possuem conexões com a rede, ou seja, o sistema autônomo. Os controladores tem como função o controle da carga e a descarga do banco de baterias, e faz com que aumente a vida útil delas, impedindo incêndios, explosões e problemas que venham ocorrer com o sistema. Todavia, para Cabral (2001) o controlador de carga trata-se de um componente eletrônico, que tem por função controlar o consumo de energia dos sistemas que utilizam baterias. Esse tipo de dispositivo conta com três pares de terminais de ligação. Em um, pode-se conectar o painel solar, isso com muita cautela para preservar as polaridades. Já no segundo par de terminais, a bateria é conectada preservando também as polaridades, e quando chegar no último par de terminais, os condutores serão conectados para alimentar as cargas.

Figura 8 – Imagem ilustrativa controlador.



Fonte: <<https://pt.aliexpress.com/item/Solar-Home-System-10-20-30-Amps-lamp-Regulator-Timer-12V-24VSolar-panels-Battery-Charge-Controller/32829650493.html>> (2018)

- **Inversor**

De acordo com Rebollar e Rodrigues (2013) o inversor (Figura 9) tem como função transformar a energia elétrica contínua das baterias em energia elétrica alternada apropriada para os usuários. O inverso faz uso de tensões de entrada de 12, 24, 48 ou 120 Vcc e faz a conversão para 120 V ou 240 V na frequência de 50 ou 60Hz. Para a escolha dos tipos de inversores isso vai depender da eficácia de geração das placas fotovoltaicas e também das espécies de utilizadores.

Figura 9 – Imagem ilustrativa inversor.



Fonte: <<http://www.aldo.com.br/Produto/?c=31582&d=inversor-solar-fronius-aldo-solar-4210057040>> (2018).

- **Rastreador solar**

O rastreador solar (Figura 10) é um suporte mecânico ativo que libera o apontamento da parte externa do gerador fotovoltaico na direção do sol, com o propósito de elevar ao máximo a produção de energia. Esse dispositivo tem que reter o ângulo de incidência da radiação solar permanentemente aproximado da normal a superfície do gerador (PINHO E GALDINO, 2014). Para Cabral (2001) o rastreador solar trata-se de um dispositivo optativo por elevar o custo do sistema fotovoltaico. Além disso, ele serve para que a estrutura dos painéis siga o deslocamento do sol no decorrer do dia, de leste a oeste.

Figura 10 – Imagem ilustrativa rastreador solar.



Fonte: <<https://pt.aliexpress.com/popular/solar-tracker-kit/2.html>> (2018).

2.3 AVALIAÇÃO DE PROJETOS

Cada projeto possui características específicas, portanto, para realizar análises de viabilidade econômica podem ser utilizados vários tipos de indicadores. No presente estudo, que tem por propósito analisar a viabilidade econômica da implantação de painéis fotovoltaicos em um clínica odontológico os indicadores utilizados serão: *payback* descontado, valor presente líquido e a taxa interna de retorno.

Basicamente, na administração devemos considerar três tipos de indicadores primordiais para avaliarmos o sucesso ou o fracasso de qualquer iniciativa: a eficiência, a eficácia e a efetividade. Embora seja muito comum observarmos empreendedores usarem essas três palavras como sinônimos, na verdade, cada uma delas possuem significados bem distintos, funcionando como etapas na avaliação de qualquer tipo de processo.

Evidentemente, quando estabelecemos um planejamento não restringimos a estabelecer metas de gastos, como também muitas outras. Para dizer que o projeto teve eficácia é essencial verificar se todo o escopo, os objetivos e as metas foram conquistados.

Para concluir, podemos observar que a avaliação de um projeto depende da formulação de indicadores de performance e de outras métricas para sabermos se realmente houve sucesso ou não. Para isso, devemos antes de mais nada estabelecer nossos objetivos e metas, afinal de contas, não há como controlar algo que não tem forma e resultados preestabelecidos.

2.3.1 *Payback*

De acordo com Miranda (2014) o *payback* pode ser definido como intervalo de tempo necessário para conseguir obter o retorno de determinado investimento aplicado em alguma ação. É um método de análise geral, todavia, é muito limitado, pois não se considera riscos, financiamentos ou correção monetária.

$$Payback = n, tal\ que \sum_{t=0}^n FC_n = I_0$$

n – Número de anos;

I_0 – Investimento inicial;

R – Receita (valor anual);

FC_n = Fluxo de caixa do ano referência (R_n);

2.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é considerado o mais usado em estudo de viabilidades de projetos. Ele obtém por meio de cálculos o valor atualizado de todos os *cash-flows* levando em consideração as taxas de juros adequadas (MIRANDA, 2014).

$$VPL = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$

onde:

FC_k = Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

FC_0 = Investimento inicial;

k = (1; n) períodos do horizonte de planejamento.

i = taxa mínima de atratividade do projeto (TMA).

2.3.3 Taxa Interna De Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno como afirma Miranda (2014) retrata a rentabilidade estabelecida por um certo investimento em comparação, isto é, apresenta uma taxa de juros, na qual, quando investir no capital se colocar essa taxa, obtém-se de modo preciso a mesma taxa de rentabilidade final. Para Gitman (2007) a taxa interna de retorno pode ser definida como a taxa necessária para igualar o valor atual das entradas ao investimento inicial. Logo, a TIR é a taxa que responsável para que o VPL de um determinado projeto seja igual a zero, o que representa o ponto de reversão da decisão de investir.

$$0 = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$

onde:

FC_k = Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

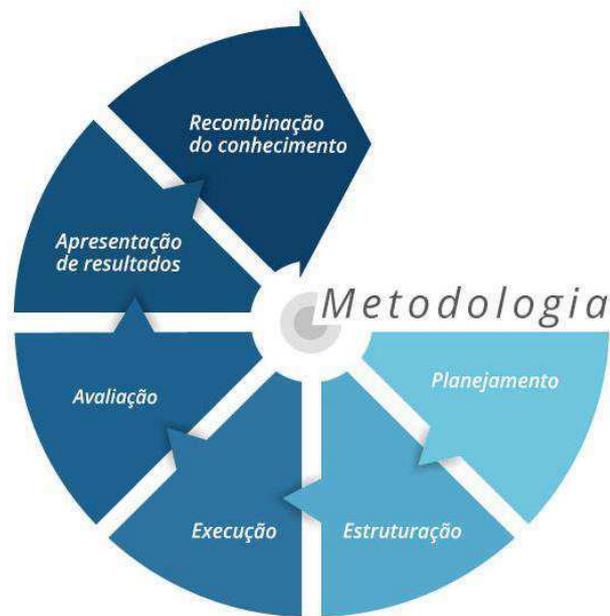
FC_0 = Investimento inicial;

k = (1; n) períodos do horizonte de planejamento.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho faz uso da metodologia quantitativa e qualitativa que de acordo com Zanella (2009) trata-se de pesquisas complementares, que podem ser utilizadas em conjunto. Será abordado também a análise de viabilidade econômica da geração de energia através de painéis fotovoltaicos em uma clínica odontológica.

Figura 11 – Esquema de metodologia para investimentos.



Fonte: <<http://www.callstation.com.br/us/metodologia.php>> (2018).

- 1) Planejamento: serviço de preparação de um trabalho, de uma tarefa, com o estabelecimento de métodos convenientes; planificação.
- 2) Estruturação: processo ou efeito de estruturar, de dar ou adquirir estrutura; estruturamento.
- 3) Execução: é o processo de realização do trabalho definido no plano de gerenciamento do projeto para atingir os objetivos.
- 4) Avaliação: garante que a empresa só vai investir em projetos que apresentem uma alta probabilidade de sucesso.
- 5) Apresentação de resultados: mostrar os resultados dos projetos para verificar se os resultados estão conforme o esperado.
- 6) Recombinação: fazer a combinação de maneiras diferentes de investimentos para trazer mais resultados.

3.1 ETAPAS METODOLÓGICAS:

a) Definição do objeto de estudo: essa etapa do trabalho consiste na definição do local de estudo, que será uma clínica odontológica. Depois da definição do local de estudo, foi possível definir as características do edifício e analisar as salas consumidoras.

b) Orientação geográfica dos painéis fotovoltaicos: depois de escolher o local de estudo é necessário realizar uma análise de orientação geográfica dos painéis fotovoltaicos para localizá-los de forma adequada, de modo que aproveitem ao máximo possível os raios solares.

c) Radiação solar diária: podem ocorrer variações na incidência solar levando em consideração a posição e o local onde os painéis estão instalados, portanto, é necessário realizar uma análise de valores de radiação solar diária, essa análise será realizada pelo software RETScreen.

d) Levantamento do Consumo: após definir o local e analisar as salas consumidoras, realizou-se um levantamento do consumo de cada instalação. Essa etapa ocorreu com base na análise das faturas de energia elétrica da concessionária, durante 12 meses. Essa análise resultou no valor da tarifa (R\$/kWh) e o custo total mensal das salas consumidoras que serão analisadas no estudo.

e) Definição dos parâmetros do sistema: nessa etapa estabeleceu a potência de cada painel que irá ser utilizado, além disso, o tipo de material dos painéis, a potência total do sistema, a energia gerada, a área necessária para realizar a instalação, a quantidade de painéis fotovoltaicos e o custo total da implantação (módulo, inversor, componentes estruturais, componentes elétricos, instalação, dentre outros).

f) Análise de viabilidade econômica: após realizar as etapas anteriores e obter os dados, foi possível realizar a análise de viabilidade econômica com base no VPL, *payback* e TIR.

Figura 12 – Imagem ilustrativa de técnicos trabalhando.



Fonte: <<https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-instalação-do-painel-solar-image16251640>> (2018).

3.2 CLÍNICA ODONTOLÓGICA

Para realização do estudo de caso serão necessários considerar alguns fatores, tais como: a energia total produzida, intensidade dos raios solares do local, quantidade de painéis fotovoltaicos necessários, custo para implantar o sistema, porcentagem do consumo que o sistema necessita atender e o critério de avaliação econômica.

O presente trabalho será realizado na Clínica odontológica (Figura 11). O objeto de estudo tem seu horário de funcionamento das 08 às 12 horas e das 14 às 18 horas e conta com 06 salas e sua cobertura possui uma área de 450m² local sugerido para implantar os painéis fotovoltaicos.

Para identificar o consumo mensal, o valor da tarifa e o custo serão analisadas faturas mensais de energia elétrica da concessionária de todo o edifício, dos meses de setembro de 2017 a agosto de 2018, onde por meio dessa análise será possível obter uma média.

3.3 ORIENTAÇÃO GEOGRÁFICA DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Para o aproveitamento máximo da potência da energia solar sejam aproveitados é necessário que os painéis fotovoltaicos sejam instalados na posição correta. Desse modo, como o objeto de estudo localiza-se no hemisfério sul, portanto, a orientação solar adequada para o estudo, é aquela que proporciona que a superfície dos painéis fotovoltaicos esteja voltada para o norte geográfico (RUTHER, 2004).

A orientação dos módulos deve ser feita de modo que sua parte frontal fique no sentido do Norte geográfico. Para exatidão nessa orientação, é indispensável o uso de uma bússola que esteja corretamente calibrada.

É importante atentar que a bússola indica o Norte Magnético, que é diferente do Norte Geográfico devido a declinação magnética, porém para a instalação do equipamento pode-se adotar o Norte Geográfico sem muito erro.

A fim de se obter um melhor aproveitamento da radiação solar incidente, os módulos devem ser inclinados em relação ao plano horizontal num ângulo variante conforme a latitude da instalação.

3.4 RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA

De acordo com a posição dos painéis fotovoltaicos e da área em que foram instalados, pode ocorrer variação nos índices de incidência solar conforme o horário, condições meteorológicas e estações do ano.

Esses índices podem ser obtidos através do levantamento de dados diários de raios solares incididos. Os valores de radiação solar diária da cidade de Patos foram extraídos utilizando o software livre RETScreen que foi elaborado pelo Natural Resources Canada (Figura 12).

Para conseguir o valor da radiação foi necessário apenas informar o país, estado e nome do município, em seguida o software irá entregar várias informações como: latitude, longitude, zona climática, elevação e outras informações. O software faz uma relação separado por mês, informando média anual de vários parâmetros conforme ilustra a figura abaixo.

Figura 13 - Tela do software RETScreen apresentando informações referentes ao município de Patos-PB.

| Mês | Temperatura do Ar | Humidade relativa | Precipitação | Radiação solar diária - horizontal | Pressão Atmosférica | Velocidade do Vento | Temperatura do Solo | Graus-dia para aquecimento 18 °C | Refrigeração graus-dias 10 °C |
|--------------|-------------------|-------------------|---------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| | °C | % | | kWh/m ² /d | kPa | m/s | °C | °C-d | °C-d |
| Janeiro | 26,6 | 59,5% | 116,51 | 6,08 | 95,7 | 3,1 | 31,0 | 0 | 515 |
| Fevereiro | 26,5 | 61,0% | 130,25 | 6,19 | 95,7 | 2,8 | 30,3 | 0 | 462 |
| Março | 25,9 | 66,1% | 185,27 | 5,83 | 95,7 | 2,4 | 28,7 | 0 | 493 |
| Abril | 25,4 | 69,0% | 142,07 | 5,49 | 95,7 | 2,9 | 27,4 | 0 | 462 |
| Maio | 25,1 | 67,3% | 111,01 | 5,10 | 95,8 | 3,2 | 27,2 | 0 | 468 |
| Junho | 24,4 | 66,7% | 81,06 | 4,72 | 96,0 | 3,8 | 26,7 | 0 | 432 |
| Julho | 23,8 | 65,2% | 38,19 | 4,95 | 96,1 | 4,2 | 26,7 | 0 | 428 |
| Agosto | 24,4 | 59,3% | 13,63 | 5,85 | 96,1 | 4,3 | 28,2 | 0 | 446 |
| Setembro | 25,8 | 54,0% | 3,03 | 6,55 | 95,9 | 4,4 | 30,2 | 0 | 474 |
| Outubro | 27,0 | 50,2% | 10,74 | 6,88 | 95,8 | 4,2 | 32,4 | 0 | 527 |
| Novembro | 27,4 | 50,6% | 11,52 | 6,70 | 95,7 | 4,1 | 32,6 | 0 | 522 |
| Anual | 25,8 | 60,2% | 894,55 | 5,89 | 95,8 | 3,6 | 29,5 | 0 | 5.765 |
| Fonte | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA |
| Medida a | | | | | | 10 | 0 | | |

Fonte: RETScreen (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo serão apresentados os resultados obtidos do estudo de viabilidade econômica para implantação de um sistema de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos em um edifício comercial na cidade de Patos-PB.

A clínica odontológica em estudo possui 06 salas comerciais, no entanto há apenas um único medidor de energia para todas elas. Assim, o projeto do sistema fotovoltaico considerou-se que ele irá atender a 100% do consumo mensal médio de setembro de 2017 a agosto de 2018.

Assim, com base nas faturas mensais de energia elétrica do período avaliado foram extraídos o consumo mensal, o custo e o valor da tarifa (valores médios) da clínica odontológica. Os valores são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 1 – Tabela do consumo mensal de energia e seus custos entre os meses de setembro 2017 e agosto de 2018.

| UNIDADE CONSUMIDORA | | CLÍNICA |
|---------------------|-----------------|-----------------------|
| MÊS | CONSUMO kWh/MÊS | CUSTO CONTA/MÊS (R\$) |
| Setembro 2017 | 1869 | 1.308,30 |
| Outubro 2017 | 1993 | 1.494,75 |
| Novembro 2017 | 2532 | 1.899,00 |
| Dezembro 2017 | 2580 | 1.806,00 |
| Janeiro 2018 | 2298 | 1.723,50 |
| Fevereiro 2018 | 2276 | 1.707,00 |
| Março 2018 | 2282 | 1.711,50 |
| Abril 2018 | 2338 | 1.753,50 |
| Mai 2018 | 1644 | 1.233,00 |
| Junho 2018 | 1883 | 1.412,25 |
| Julho 2018 | 1837 | 1.377,75 |
| Agosto 2018 | 2077 | 1.557,75 |
| SOMATÓRIO | 25609 | 18.984,30 |
| MÉDIA MENSAL | 2134 | 1.582,02 |

Fonte: Autor (2018).

O somatório do consumo dos 12 meses que resultou no valor de 25609kWh, posteriormente esse valor foi dividido por 12 onde resultou no consumo médio com o valor de 2134kWh.

4.1 POTÊNCIA NOMINAL NECESSÁRIA

A potência nominal necessária de acordo com Ruther (2004) pode ser definida como a potência necessária para suprir a demanda energética de determinado local, no caso desse trabalho será a clínica odontológica. Para realizar o cálculo da potência nominal necessária foi preciso obter o valor do consumo elétrico médio diário (E) da clínica, portanto, foi adquirido pela divisão entre o valor de consumo médio anual apresentado na Tabela 1 e o número total de dias do ano. Assim, obteve-se o resultado de 6kWh.

Para o cálculo da potência nominal necessária é utilizada a seguinte equação:

$$P_{cc} = \frac{\left(\frac{E}{G_{poa}}\right)}{R}$$

Em que:

P_{cc} = Potência média necessária (kW_{pcc});

E = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

G_{poa} = Ganho por radiação solar: média mensal do total diário (kWh/m²/dia); e

R = Rendimento do sistema (%).

Obteve-se o resultado de 12,26 kW_{pcc} onde adotou-se o G_{poa} = 5,89 kWh/m²/dia que consta na Figura 5 e R=0,985 (98,5%) adquirido através de uma pesquisa sobre às especificações técnicas do inversor de corrente elétrica utilizado no sistema para converter energia elétrica contínua em energia elétrica alternada, tipo de energia elétrica adequada para o consumo.

4.2 NÚMERO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O número de painéis fotovoltaicos necessários foi calculado para suprir a demanda de 12,26kW_{pcc}, desse modo, após uma pesquisa e devido a questão do melhor custo-benefício, optou-se pelo modelo do painel solar 275W Risen Solar, modelo RSM60-6-275P, vendida pela empresa Minha Casa Solar, com um custo de 561,63 cada unidade, como pode ser observado na Figura 6. É importante mencionar que o sistema adotado no presente trabalho foi o sistema conectado à rede.

A taxa de eficiência da placa escolhida corresponde a 16,8% de acordo com o manual do fabricante, e em condições ideais, apresenta uma corrente de 8,74A e uma tensão de 35,6V.

Para encontrar o número de placas solares divide o valor de P_{cc} pela potência da placa, que resultou em aproximadamente 45 placas solares e terá uma potência de 12.375 Wp. As placas possuem dimensões de 1650 x 992 x 35 (mm), tendo em vista que no projeto serão utilizadas 45 placas solares, necessitará portanto de uma área de 73,65m² para coloca-las. O local escolhido foi o telhado da clínica, que é composto de telha canal.

Temos:

$$12,26 \text{ (potência em kWp)} / 275 \text{ (potência da placa)} = 44,58 \text{ placas} \cong 45 \text{ placas}$$

Figura 14 – Modelo do painel solar utilizado



Fonte: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-275w-risen-solar-rsm60-6-275p-79315>>

(2018).

4.3 INVERSORES DE CORRENTE ELÉTRICA

Para o dimensionamento do inversor, deve-se utilizar o valor da potência nominal do sistema fotovoltaico implementado. Uma forma de descobrir se o inversor escolhido é adequado para o sistema fotovoltaico é aplicando a seguinte equação:

$$0,7 * P_{sf} < P_{inversor} < 1,2 * P_{sf}$$

$$8.662,5 < P_{inversor} < 14.850$$

Onde P_{sf} é a potência total do sistema fotovoltaico calculado até agora ($P_{sf} = 12.375$ Wp) e $P_{inversor}$ é a potência do inversor que deseja instalar.

Escolhemos o modelo Inversor Grid-Tie 15,0Kw sem WI-FI Ingeteam – 3PLAY 15TLM (P+) também fornecido pela empresa Minha Casa Solar, pois o mesmo trabalha numa faixa de potência de 12.0 – 19.5 kWp. É importante ressaltar que necessitou apenas de um único inversor.

4.4 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA GERADA PELOS PAINÉIS AO LONGO DO ANO

Ao observar a Figura 5 foi identificado que durante o ano acontece variação da radiação solar diária incidida sobre a Terra. Portanto, a partir desses valores é possível estimar a energia gerada pelos painéis mês a mês, com base na equação abaixo desenvolvida por Lisita et. al. (2005):

$$E_g = P * HSP * \eta_{CC/CA}$$

Onde:

E_g = Energia disponibilizada pelo painel fotovoltaico (kWh);

P = Potência Nominal do painel fotovoltaico (kW);

HSP = Número de horas de Sol Pleno em média diária a uma intensidade de 1.000W/m² (Equivalente a energia total diária incidente sobre a superfície do gerador em kWh/m², dado em horas); e

$\eta_{CC/CA}$ = Rendimento do inversor de corrente contínua para corrente alternada.

Os resultados da equação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2– Resultados da equação de energia gerada pelos painéis ao longo do ano

| Mês | Dias de consumo mês | Potência instalada (kWp) | Irradiação Solar (kWh/m ²) | Rendimento do Inversor | Energia transformada (kWh/mês) |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------------------|
| Jan | 31 | 12,375 | 6,08 | 0,985 | 2.297,45 |
| Fev | 28 | 12,375 | 6,19 | 0,985 | 2.112,66 |
| Mar | 31 | 12,375 | 5,83 | 0,985 | 2.202,98 |
| Abr | 30 | 12,375 | 5,49 | 0,985 | 2.007,59 |
| Mai | 31 | 12,375 | 5,10 | 0,985 | 1.927,14 |
| Jun | 30 | 12,375 | 4,72 | 0,985 | 1.726,01 |
| Jul | 31 | 12,375 | 4,95 | 0,985 | 1.870,45 |
| Ago | 31 | 12,375 | 5,85 | 0,985 | 2.210,54 |
| Set | 30 | 12,375 | 6,55 | 0,985 | 2.395,21 |
| Out | 31 | 12,375 | 6,88 | 0,985 | 2.599,74 |
| Nov | 30 | 12,375 | 6,70 | 0,985 | 2.450,06 |
| Dez | 31 | 12,375 | 5,89 | 0,985 | 2.225,65 |
| TOTAL DE ENERGIA GERADA | - | - | - | - | 26.025,48 |

Fonte: Autor (2018).

4.5 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

O nível de aceitação de um projeto está ligado de forma direta a questões econômicas e financeiras, especialmente no setor privado, onde as decisões são tomadas com base na análise de indicadores precisos. Destarte, serão apresentados a seguir desde o custo de aquisição do sistema a sua taxa de retorno.

4.5.1 Custo de aquisição do sistema

Na tabela abaixo serão expostos os custos de aquisição do sistema, levando em consideração que o sistema possui o tempo de vida útil bem extenso e baixo custo de manutenção. As placas fotovoltaicas não necessitam de manutenção, de modo que são altamente resistentes, tanto ao tempo quanto as intempéries, portanto, o valor de manutenção é desprezível. Com relação ao inversor, há uma garantia de 10 anos contra defeitos de fabricação, também não foi considerado manutenção quanto a isso pois o período de avaliação considerado será 10 anos.

Como já foi mencionado a empresa escolhida para fornecer o sistema foi a Minha Casa Solar, desse modo, os custos na Tabela 3 estão de acordo com a empresa.

Tabela 3 – Custos de aquisição do sistema fotovoltaico.

| Descrição | Prazo de entrega | Garantia | Quantidade | Custo |
|--|-------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| painel solar 275W Risen Solar, modelo RSM60-6-275P | 24 dias úteis | 12 anos | 45 | 22.975,65 |
| Inversor Grid-Tie 15,0Kw sem WI-FI Ingeteam – 3PLAY 15TLM (P+) | 24 dias úteis | 10 anos | 1 | 21.315,05 |
| Suporte p/ 4 Módulos de 240W a 330W para telhado ondulado – | 24 dias úteis | 05 anos | 11 | 4.512,20 |
| Suporte p/ 2 Módulos de 240W a 330W para telhado ondulado – | 24 dias úteis | 05 anos | 1 | 244,30 |
| Prazo de entrega | - | - | - | 3.104,87 |
| Custo total de aquisição | - | - | - | 52.152,07 |

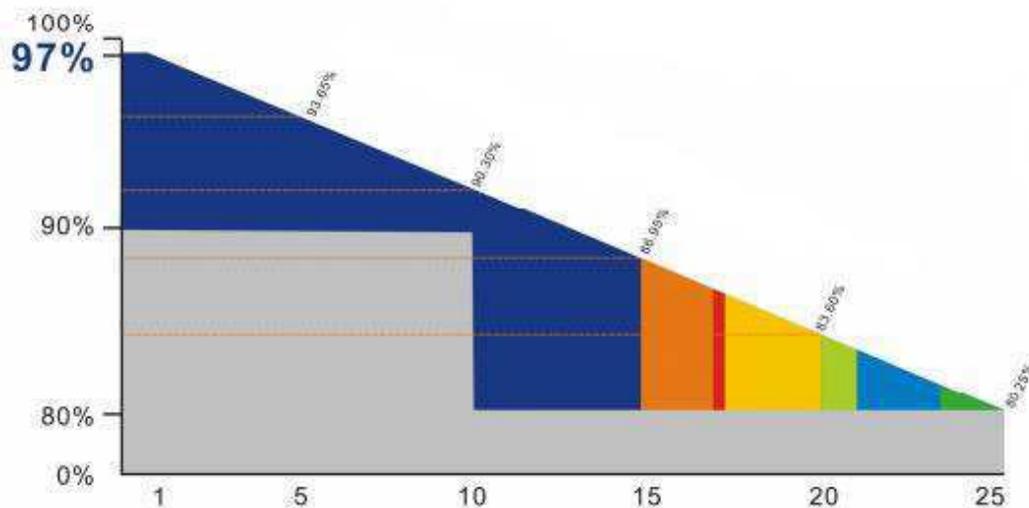
Fonte: Autor (2018).

4.5.2 Previsão De Geração De Energia Nos Próximos 25 Anos

O projeto proposto para gerar energia elétrica possui vida útil de aproximadamente 25 anos, segundo dados da fabricante Risen Solar (2015). Assim, para realizar a análise de viabilidade econômica é necessário determinar a quantidade de energia produzida durante esse tempo.

De acordo com a Risen Solar (2015) as placas fotovoltaicas perdem cerca de 3% da sua produção no primeiro ano e depois 0,69% da eficiência de produção ao ano, chegando a uma produção de 80,25% em 25 anos.

Gráfico 3 – Previsão de produção de energia durante 25 anos em kWh



Fonte: Risen Solar (2015).

Durante o decorrer desses 25 anos, com base na previsão da geração solar, o sistema irá produzir cerca de 6.506.622.273 kWh.

Tabela 4 – Custo para geração de energia durante 25 anos

| Despesas | Valor (R\$) |
|--|-------------------|
| Sistema Fotovoltaico completo | 52.152,07 |
| Manutenção dos módulos fotovoltaicos | (Desprezível) |
| Troca do Inversor | 42.630,10 |
| Demais manutenções (limpeza, cabos, suportes, conectores, etc) | 13.038 |
| Total de despesas: | 107.820,17 |

Fonte: Autor (2018).

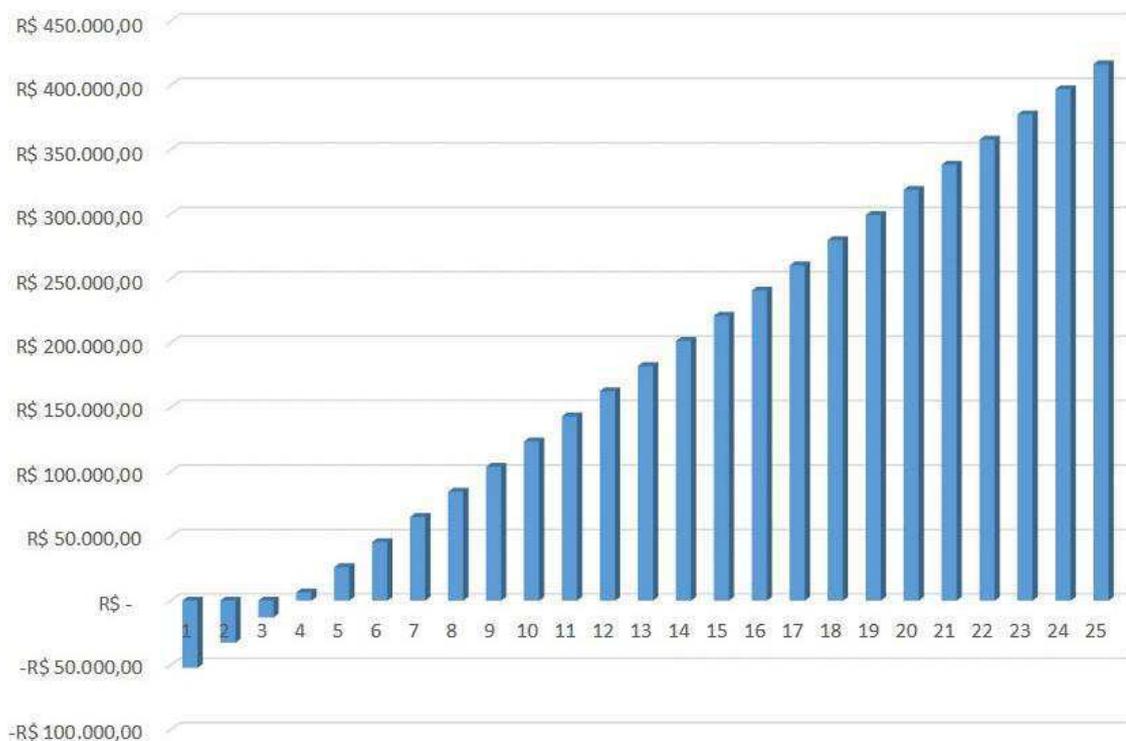
A tabela acima mostra os custos do sistema ao longo do tempo, os módulos fotovoltaicos possuem resistência ao tempo e as intempéries, foi considerada desprezível a sua manutenção.

No entanto, os inversores de frequência possuem 10 anos de vida útil, portanto, nos custos foi considerado a troca do inversor duas vezes tendo o custo de 42.630,10. Desse modo, baseado na previsão de produção de energia nos próximos 25 anos (Gráfico 3), torna-se viável determinar um fluxo de caixa, que corresponde a definição do fluxo de entradas e saídas de dinheiro durante todo o ciclo de vida planejada para o sistema.

Para realizar o cálculo do rendimento por ano, optou-se por usar o último valor do kWh que corresponde a R\$ 0,75. Como ocorre ajustes na energia gerada com base na tarifa vigente da distribuidora regional e à inflação do país, não será considerada a inflação do período, diferenciando do dinheiro que perde valor no decorrer do tempo. Assim, será escolhida uma expectativa de aumento na conta de energia de 5% por ano, um pouco superior a inflação, mas bem considerável para o mercado.

O fluxo de caixa é um fator de grande importância para a realização da análise de viabilidade econômica, logo no Gráfico 4 apresenta a estabilidade dos rendimentos do projeto, tendo um aumento bastante significativo, com lucros consideráveis, o projeto no total dará um lucro de 416.324,93.

Gráfico 4 – Gráfico que aponta o fluxo de caixa



Fonte: Autor (2018).

- **Valor Presente Líquido (VPL)**

$$VPL = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k}$$

FC_k = Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

FC_0 = Investimento inicial;

k = (1; n) períodos do horizonte de planejamento.

i = taxa mínima de atratividade do projeto (TMA).

Com base na previsão de fluxo de caixa para os próximos 25 anos, com auxílio do software Excel, foi aplicado o valor de cada ano a fórmula de valor presente com uma taxa de 6% ao ano. Chegando ao seguinte valor:

$$VPL = 52.125,07 + \sum_{k=1}^{25} \frac{19.851,75}{(1+0,06)^k}$$

$$VPL = 197.363,06$$

O valor do VPL foi ≥ 0 , isto é, o valor que vai entrar e vai sair está acima do valor investido inicialmente, no caso do presente trabalho o valor presente líquido foi de R\$ 197.363,06, tornando desta forma o investimento nesse projeto, viável, através da avaliação realizada por esse método.

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

$$0 = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+TIR)^k}$$

$$0 = -52.125,07 + \sum_{k=1}^{25} \frac{19.851,75}{(1+TIR)^k}$$

$$TIR = 37,43\%$$

A Taxa Interna de Retorno também é um método utilizado, para avaliar se o investimento é viável, nesse caso, o valor obtido da TIR foi de 37,43%, valor bem acima da taxa de atratividade que foi considerada 6%, portanto, de acordo com esse método o projeto é viável.

- *Payback*

$$\begin{aligned} \textit{Payback} &= \frac{FC}{FC_k} \\ \textit{Payback} &= \frac{52125,07}{19851,75} \\ \textit{Payback} &= 2,62 \textit{ anos} \end{aligned}$$

O *payback* corresponde exatamente ao tempo em que a empresa levará para ter o retorno do investimento inicial e para encontra-lo toma-se como base o fluxo de caixa acumulado. O *payback* também é mais um método para comprovar que o investimento é viável, de acordo com o resultado desse método a pessoa que investiu começa a ter retorno pouco antes do terceiro ano em que o sistema estará em funcionamento, assim, a clínica terá pouco mais de 22 anos de lucro com o sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de energia elétrica através da Energia Solar Fotovoltaica apresenta-se como sendo uma alternativa sustentável, tendo em vista que a energia solar é uma fonte de energia que causa menos impactos, além disso, quando comparada a outras fontes de energia, como por exemplo a energia obtida através de usinas hidrelétricas, esta, por sua vez causa menos impactos ao meio ambiente e produz menos resíduos. Contudo, apesar das inúmeras vantagens (produção, instalação, vida útil), no Brasil ainda está começando a ser implantada em larga escala, por isso, sua instalação ainda possui custos bem elevados, no entanto, as expectativas para o futuro é que haja investimentos governamentais e avanços nas tecnologias que são responsáveis pela produção, para que assim o sistema se torne cada vez mais viável para os brasileiros.

Foi através da elaboração desse trabalho que foi possível conhecer mais a fundo sobre a tecnologia da energia solar fotovoltaica por meio do levantamento bibliográfico e perceber as dificuldades de implantação do sistema no país, pois através da pesquisa realizada para implantar o sistema na clínica odontológica identificou-se que há poucas empresas fornecedoras dessa tecnologia e que seus custos são bastante elevados. Após o embasamento teórico e aplicação dos métodos, foram gerados resultados confiáveis, e, por conseguinte, os objetivos propostos para o trabalho foram alcançados.

No decorrer do trabalho foram encontradas algumas dificuldades, como por exemplo, conseguir um local adequado para realizar o projeto e que o proprietário estivesse disposto a fornecer as informações necessárias, no entanto, depois de um certo tempo procurando finalmente foi encontrado, outra dificuldade também encontrada foi a questão do fornecedor para a região em estudo, no entanto, apesar dos desafios apresentados não comprometeram os resultados finais.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Renata. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações.** (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.

CAMARGO, Lucas. **Projeto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** (Trabalho de Conclusão de Curso) - Centro de Tecnologia e Urbanismo, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2017.

DUTRA, José et. al. **Uma análise do panorama das regiões missões e noroeste do estado do Rio Grande do Sul sob o prisma da energia eólica e solar fotovoltaica como fontes alternativas de energia.** Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba, v.34, n.124, 2013.

FADIGAS, Eliane. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica.** São Paulo, 2013.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** 10ª edição, São Paulo: Harbra, 2007.

JUNIOR, Luiz. **Energia solar no mundo: conheça países que apostam nessa tecnologia.** HCC Engenharia Elétrica, 2017. Disponível em: < <http://hccengenharia.com.br/energia-solar-no-mundo-conheca-paises-que-apostam-nessa-tecnologia/>>. Acesso em 23 de agosto de 2018.

MACHADO, Carolina; MIRANDA, Fabio. **Energia solar fotovoltaica: Uma breve revisão.** Universidade Federal Fluminense, Revista Virtual de Química, v.7, n.1, Niterói, 2014.

MIRANDA, Arthur. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à Rede.** (Projeto de Graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

PINHO, João; GALDINO, Marco. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014.

PIVA, Rodrigo. **Economia ambiental sustentável: Os combustíveis fósseis e as alternativas energéticas.** (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Ciências Econômicas, Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

REBOLLAR, Paola; RODRIGUES, Paulo. **Energias renováveis: Energia solar**. Disponível em: <https://issuu.com/youssefbrasil/docs/energia_solar>. Acesso em 11 de outubro de 2018.

RENEWABLES21. **Energias renováveis 2016**. Global Status Report. Paris: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2008. Disponível em: <http://www.ren21.net/wpcontent/uploads/2016/11/REN21_GSR2016_KeyFindings_port_02.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2018.

RUTHER, 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.

SHAYANI, Rafael; OLIVEIRA, Marco; CAMARGO, Ivan. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília, 2006.

SILVA, Rutelly. **Energia solar no Brasil: Dos incentivos aos desafios**. Núcleo de estudos e pesquisas da consultoria legislativa, 2015.

MOTA, Bruno. **Sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica numa casa de 300m² - conforme legislação Aneel N.º 482/2012**. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Faculdade Independente do Nordeste. Vitória da Conquista, 2017.

JUNIOR, Joel. **Viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema fotovoltaico na Faculdade Independente do Nordeste: Um Estudo De Caso**. (Monografia) – Colegiado de Engenharia de Produção, Faculdade Independente do Nordeste. Vitória da Conquista, 2015.

REZENDE, Maria; BERTOZ, André. **Estratégias de sustentabilidade na prática odontológica**. Revista Odontológica de Araçatuba, v.32, n.1, p. 37-39, 2011.

SOUZA, Luiz. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<https://issuu.com/michelbrazil/docs/livro-digital-de-introducao-aos-s>>. Acesso em 18 de outubro de 2018.