



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



Germano Lima Rodrigues Caires

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
A DEMANDA DO PESQUEIRO KANOA

DOURADOS/MS

2017

GERMANO LIMA RODRIGUES CAIRES

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA
A DEMANDA DO PESQUEIRO KANOA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal da Grande
Dourados para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli

DOURADOS/MS

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C136a Caires, Germano Lima Rodrigues

Análise de Viabilidade de um Sistema Fotovoltaico para a Demanda do Pesqueiro Kanoa / Germano Lima Rodrigues Caires -- Dourados: UFGD, 2017.

57f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Gerson Bessa Gibelli

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Energia Solar. 2. Geração de Energia. 3. Sistema Fotovoltaico. I. Título.

GERMANO LIMA RODRIGUES CAIRES

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA A DEMANDA DO PESQUEIRO KANOA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora
da Faculdade de Engenharia da
Universidade Federal da Grande
Dourados para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de
Energia.

Aprovado em 24 de Agosto de 2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli – UFGD – Orientador



Prof. Dr. Etienne Biasotto – UFGD – Avaliador



Prof. Dr. Rogério da Silva Santos – UFGD – Avaliador

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus e toda minha família, por todo o apoio e suporte que deram durante toda minha vida, não tenho palavras para expressar a gratidão que sinto por tudo que me proporcionaram.

Em especial, gostaria de dedicar e agradecer a meus avós Germano Andrade e Amélia, por terem servido como modelos de seres humanos e de perseverança a toda família e a mim.

Agradeço de uma forma especial meu irmão Anderson Caires por sempre ter sido minha base e referência e sempre me ensinado os princípios e os caminhos que busco prosseguir.

Também agradeço a todos os professores que fizeram parte de minha vida, em singular o professor Dr. Gerson Bessa Gibelli pela orientação e auxílio durante a elaboração deste trabalho.

Ainda agradeço a todos os meus amigos, em particular a L.A, J.H, J.P.D, K.I.Q, R.M.L, sem eles não chegaria onde cheguei e nem teria sido tão especial.

Meu sincero, muito obrigado.

“Aprendi através da experiência amarga a suprema lição: controlar minha ira e torná-la como o calor que é convertido em energia. Nossa ira controlada pode ser convertida numa força capaz de mover o mundo.”

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

CAIRES, G. L. R. **ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A DEMANDA DO PESQUEIRO KANOA**. 57 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

O presente trabalho tem como objetivo projetar e analisar a viabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede, para gozo do sistema de compensação de energia, seguindo as regulamentações das Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015, criadas pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Para esse fim, será feita uma análise na unidade consumidora que receberá o sistema (um pesqueiro localizado na cidade de Dourados), para averiguação de dados técnicos como inclinação de telhados, orientação dos mesmos e radiação solar na localidade. Com a ajuda do software Radasol 2 (desenvolvido pelo LABSOL – Laboratório de Energia Solar da UFRGS), os dados de irradiância solar para plano horizontal serão corrigidos para o plano inclinado (telhado que receberá os módulos). Serão considerados alguns tipos de perdas ao longo de todo o sistema, desde a entrada de luz no gerador fotovoltaico até o ponto de conexão com a rede elétrica de distribuição, com isso, será possível chegar a uma estimativa de geração do sistema em questão. No trabalho também foi realizada uma estimativa de tempo de retorno do investimento, considerando a inflação energética média dos últimos 20 anos no Brasil, as taxas de inflação média e todos os gastos necessários ao longo da vida útil do sistema. O resultado foi um sistema de 43,785 kWp, composto por 139 módulos fotovoltaicos, suficientes para gerar aproximadamente 6424,5 kWh de energia por mês.

Palavras-chave: Energia Solar, Geração de Energia, Sistema Fotovoltaico.

ABSTRACT

CAIRES, G. L. R. **ANALYSIS OF VIABILITY OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR THE DEMAND OF THE KANOA FISHERMAN.** 57 p. Monograph (Course Completion Work) - Faculty of Engineering, Federal University of Grande Dourados, 2017.

The present work aims to design and analyze the viability of a photovoltaic system connected to the grid for the benefit of the energy compensation system, following the regulations of Normative Resolutions 482/2012 and 687/2015, created by ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. For this purpose, an analysis will be made at the consumer unit that will receive the system (a fishery located in the city of Dourados), to ascertain technical data such as slope of roofs, orientation of the same and solar radiation in the locality. With the help of software Radasol 2 (developed by LABSOL - Solar Energy Laboratory of UFRGS), the solar irradiance data for the horizontal plane will be corrected for the inclined plane (roof that will receive the modules). Some types of loss will be considered throughout the system, from the light input to the PV generator to the point of connection with the distribution grid, so that it is possible to determine the generation of the system in question. In the work, an estimation of the time of return of the investment was also pointed out, considering the average energy inflation of the last 20 years in Brazil, the average inflation rates and all the necessary expenses over the life of the system. The result was a 43,785 kWp systems, composed of 139 photovoltaic modules, sufficient to generate approximately 6424.5 kWh of energy per month.

Keywords: Solar Energy, Power Generation, Photovoltaic System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa Solarimétrico do Brasil.	5
Figura 2 – Mapa de insolação diária (em horas), média anual.	6
Figura 3 – Esquemática de um sistema isolado (Off-Grid).	7
Figura 4 – Esquemática de um sistema conectado à rede (Grid-Tie).	8
Figura 5 – Exemplificação de uma célula, um módulo, um painel e um arranjo solar.	9
Figura 6 – Principais recursos presentes nos inversores para sistemas fotovoltaicos.	10
Figura 7 – Exemplificação do sistema elétrico ilhado.	11
Figura 8 – Mapa brasileiro de geração distribuída fotovoltaica.	13
Figura 9 – Vista aérea do Pesqueiro e Restaurante Kanoa.	16
Figura 10 – Esquema de captação de radiação solar por um módulo fotovoltaico.	18
Figura 11 – Ângulo de incidência.	19
Figura 12 – Fator de espaçamento versus latitude do local de instalação.	21
Figura 13 – Espaçamento mínimo entre gerador fotovoltaico e obstáculo.	22
Figura 14 – Modalidade tarifária convencional, baixa tensão.	22
Figura 15 – Painel solar fotovoltaico do fabricante Canadian Solar.	23
Figura 16 - Inversor Fronius Galvo 3.0-1 light (3.000W).	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos elétricos e físicos dos módulos escolhidos.	24
Tabela 2 – Irradiação em superfície horizontal.	24
Tabela 3 – Irradiação em superfície inclinada.	25
Tabela 4 – Dados elétricos e físicos do inversor Light 3.0-1 (3.000W).	28
Tabela 5 – Relação quantidade/preço dos materiais necessários para o sistema fotovoltaico.	29
Tabela 6 – Cálculo mensal da energia produzida pelo sistema fotovoltaico.	30
Tabela 7 – TIR prevista para o projeto.	32
Tabela 8 – Informações necessárias para o cálculo do fluxo de caixa.	34
Tabela 9 – Fluxo de caixa previsto para o investimento.	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
PLL	<i>Phase-Locked Loop</i>
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Justificativa	2
1.2	Objetivo.....	3
1.3	Estrutura do Trabalho	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Energia solar	5
2.2	Sistemas Fotovoltaicos	6
2.2.1	Sistemas isolados (Off-Grid)	7
2.2.2	Sistemas conectados à rede (Grid-Tie)	8
2.2.3	Módulo, placa ou painel fotovoltaico	8
2.2.4	Inversor	10
2.3	Geração de Energia Distribuída	12
3	DESENVOLVIMENTO	15
3.1	Local de Estudo	15
3.2	Normas Regulatórias.....	16
3.3	Análise de investimento	17
3.3.1	Irradiância solar	18
3.3.2	Inclinação e orientação do modulo fotovoltaico	18
3.3.3	Localização do Gerador Fotovoltaico	20
3.3.4	Preço da Energia	22
3.4	Estimativa de Geração de energia	22
3.5	Área de Instalação.....	26
3.6	<i>StringBox</i>	26
3.6.1	Dimensionamento do inversor	27
4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	29
4.1	Payback Simples	29
4.2	Payback Descontado	31
4.3	TIR	32
4.4	Valor Presente Líquido (VPL)	33
5	CONCLUSÕES.....	37
5.1	TRABALHOS FUTUROS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a grande demanda de energia que o mundo precisa, a energia solar fotovoltaica vem tendo um grande papel na mudança do cenário mundial energético.

“Nos últimos 10 anos, a tecnologia fotovoltaica tem mostrado potencial para tornar-se uma das fontes de eletricidade predominantes no mundo – com um crescimento robusto e contínuo mesmo em tempos de crise financeira e econômica. Espera-se que esse crescimento continue nos anos seguintes, respaldado pela conscientização das vantagens da energia fotovoltaica. No final de 2009, a capacidade instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos era de aproximadamente 23 GW. Um ano depois era de 40 GW. Em 2011, mais de 69 GW estão sendo gerados no mundo, podendo produzir 85 TWh de eletricidade a cada ano. Esse volume de energia é suficiente para abastecer a necessidade anual de mais de 20 milhões de casas.” (EPIA, 2012).

No mês de setembro de 2004 foi inaugurada o maior sistema fotovoltaico do mundo conectado à rede elétrica, que conta com uma potência de 5 MW pico, composto por 33.500 módulos, situado próximo de Leipzig, na Alemanha, esse sistema fornece energia para 1.800 residências. Já no ano de 2005 foi dada início também na Alemanha na região da Bavária a construção de uma geração ainda maior, com potência de 10 MW pico. Este sistema consiste em aproximadamente 62.500 módulos, podendo abastecer cerca de 3.300 residências alemãs. A Alemanha foi a precursora para que outros países começassem a investir em sistemas solares, como a Índia, com a instalação de uma usina de 5 MW próxima a Nova Delhi, e a Coreia do Sul, que iniciou, em novembro de 2005, a construção de sua maior usina solar, com 1,2 MW (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

O Brasil está bem localizado para a produção de energia solar fotovoltaica, o que gera um potencial de geração de energia solar durante o ano todo (COLLE; PEREIRA, 1998). O desenvolvimento da energia solar no Brasil seria mais um grande passo para a diminuição e dependência do petróleo e em paralelo uma grande contribuição na redução da emissão de gases poluentes na atmosfera como estabelece a Conferência de Kyoto (PEREIRA; COLLE, 1997).

Com o grande desenvolvimento mundial dos investimentos em energia solar como fonte de energia elétrica, é necessária uma mudança da matriz energética brasileira, onde a energia solar tem muito a contribuir com a geração da energia distribuída nacional. O que mais estimula a produção de energia através de energia

solar é o fato desta ser uma fonte de energia menos poluente e menos finita que temos conhecimento até o presente momento.

A energia solar fotovoltaica tem particularidades que fazem dela única. Um fator muito importante que há torna única é o fato de que a tecnologia pode ser implementada em infraestruturas já existentes, tornando a taxa de inovação no segmento seja muito maior que nos demais setores de energia.

1.1 Justificativa

Com a crescente diminuição dos recursos mundiais, práticas para preservar o meio ambiente, que favorecem a redução dos impactos causados à natureza e a exploração dos recursos oferecidos pela mesma, representam atualmente um grande estímulo do setor energético.

Grande parte da eletricidade no Brasil é gerada através de recursos hidráulicos, a qual é uma energia renovável e pela perspectiva dos efeitos globais a respeito do clima pode se dizer que é uma energia limpa. Porém este tipo de geração de energia dispõe de certa sazonalidade, pois resulta do regime hidráulico dos rios das maiores bacias, em que estão localizados os maiores recursos energéticos. Assim, uma alternativa muito promissora para o país, uma vez que preservar recursos econômicos e ambientais, é aproveitar outras fontes de energia para complementar este recurso sazonal.

O crescimento e consolidação das energias renováveis no país são essenciais, uma vez que o Brasil dispõe às melhores condições para a geração de energia através destas fontes. A energia solar vem se destacando entre as fontes renováveis mais relevantes no Brasil e no mundo.

O Brasil ainda é um país com certa carência de políticas públicas efetivas nas áreas do meio ambiente, educação, entre várias outras. No entanto pode haver uma iniciativa que não depende de grandes investimentos e que tem um retorno imediato para a sociedade e, com isso a vida das pessoas que pagam pelo serviço de energia elétrica seriam transformadas, tendo em vista que este serviço é responsável pelo consumo de boa parte do salário do trabalhador brasileiro de baixa renda: a implantação de um sistema de utilização de energia solar. Uma solução que além de acessível, auxiliaria na solução do problema energético brasileiro que se arrasta

desde a crise do petróleo em 1973, além de impulsionar a inclusão social das famílias de baixa renda.

Um projeto de utilização da energia solar fotovoltaica pequeno/médio porte, em que a tecnologia é promissora e economicamente interessante como uma opção ao fornecimento parcial ou até total de energia elétrica para o estabelecimento.

1.2 Objetivo

Abordar neste trabalho alguns dos aspectos necessários para avaliar um investimento que um restaurante precisa para ter um abastecimento de energia elétrica explorando os recursos solares oferecidos pelo meio ambiente e a viabilidade da implantação destes equipamentos.

Além de demonstrar a viabilidade de uma instalação de um sistema solar, deve ser ressaltado o propósito social de disseminar o conhecimento sobre a tecnologia e mostrar para os leitores que é realmente possível gerar sua própria energia em casa, com um sistema limpo na produção de energia, sustentável, cuja fonte é praticamente inesgotável.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi dividido conforme descrito abaixo:

No Capítulo 2, apresenta-se uma abordagem teórica, para o entendimento detalhado da energia solar e todos os fatores que estão relacionados a esta tecnologia.

No Capítulo 3, são apresentados o desenvolvimento do projeto, as normas utilizadas neste tipo de instalação e a análise de investimento.

O Capítulo 4 apresenta a análise de viabilidade através dos indicadores *Payback* Simples, *Payback* Descontado e Fluxo de Caixa.

O Capítulo 5 traz as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

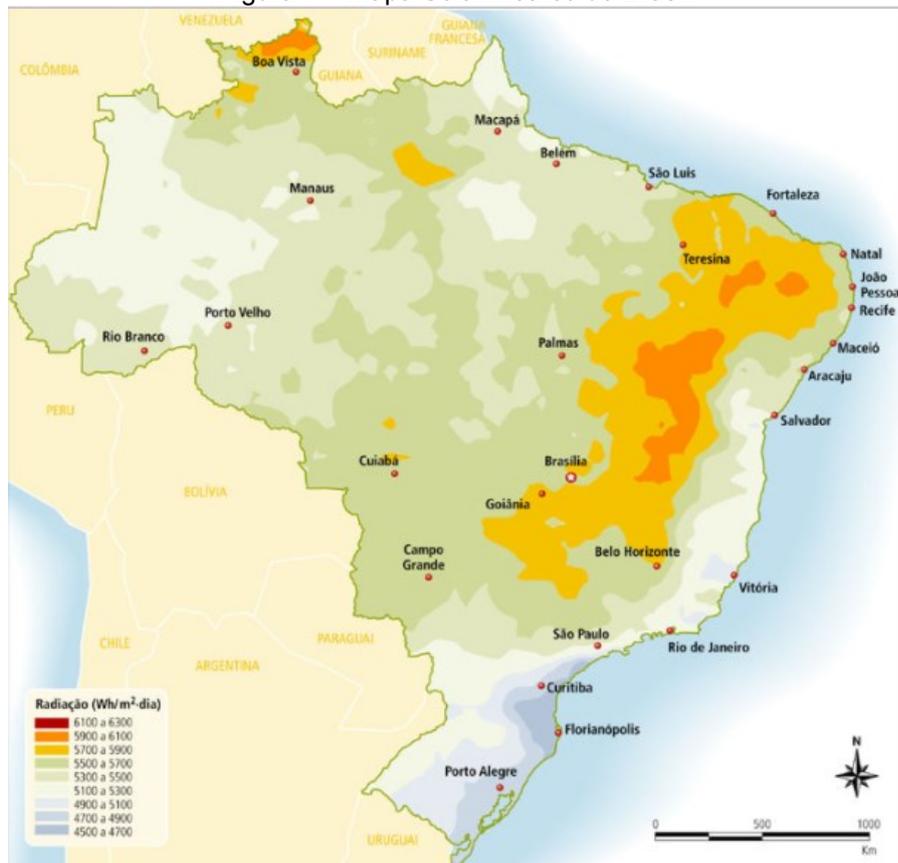
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma abordagem teórica, para o entendimento detalhado da energia solar e todos os fatores que estão relacionados a esta tecnologia.

2.1 Energia solar

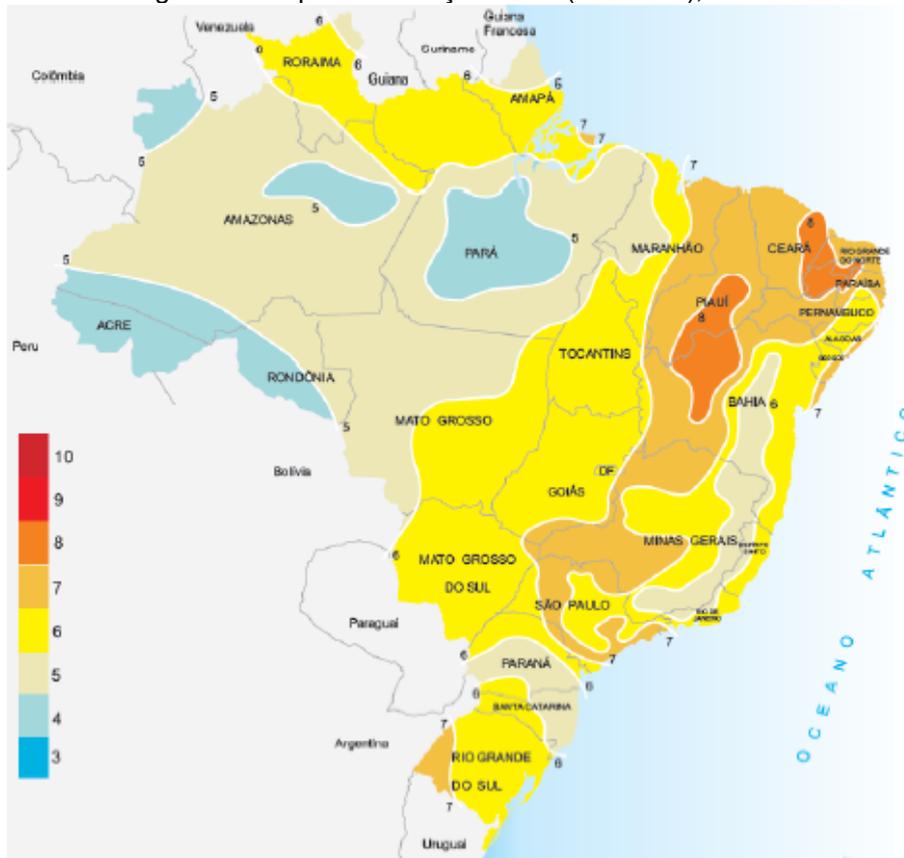
Pode-se conhecer os dados referentes à radiação solar de uma região por meio de consulta ao Atlas Solarimétrico do Brasil. Esse documento reúne dados fornecidos por estações solarimétricas localizadas em diferentes estados e municípios brasileiros. Por exemplo, o Atlas Solarimétrico do Brasil apresenta radiação solar para todos os estados brasileiros, conforme apresentado na Figura 1 (ATOMRA, 2014).

Figura 1 – Mapa Solarimétrico do Brasil.



Além da excelente radiação solar diária, o Brasil também apresenta alta insolação diária, como pode ser verificado na Figura 2, a qual representa a insolação diária média em horas de sol pleno.

Figura 2 – Mapa de insolação diária (em horas), média anual.



Fonte: (CRESESB, 2000).

2.2 Sistemas Fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico de energia é composto por um ou mais módulos fotovoltaicos e por um conjunto de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversores e outros equipamentos de proteção. Esses componentes variam de acordo com a aplicação do sistema fotovoltaico (SILVA JÚNIOR, 2008).

Segundo Treble (1991) e Markvart (2000), existem duas principais categorias de sistemas fotovoltaicos: os sistemas isolados (Off-Grid), ou não conectados à rede elétrica, e os sistemas conectados à rede elétrica (Grid-Tie). A escolha dos componentes que serão integrados aos módulos dependerá em qual categoria os

sistemas são enquadrados. De acordo com Jannuzzi et al. (2009), a diferença fundamental entre esses dois tipos de configuração é a existência ou não de um sistema acumulador de energia, ou seja, as baterias. Além destes dois, existem ainda os chamados sistemas híbridos, que são sistemas que apresentam mais de uma fonte de geração de energia, que serão descritos mais adiante.

2.2.1 Sistemas isolados (Off-Grid)

Os sistemas isolados ou autônomos (Figura 3) para geração de energia solar fotovoltaica são caracterizados por não se conectarem a rede elétrica. Podem ser projetados com ou sem armazenamento de energia, liberando uma Corrente Contínua (CC) ou Corrente Alternada (CA). No sistema CC sem armazenamento de energia a carga se encontra acoplada diretamente ao painel solar, de modo que toda a energia elétrica produzida é instantaneamente consumida (ex.: acionamento de bombas d'água). Já no sistema CC com armazenamento de energia, é possível utilizar equipamentos elétricos mesmo quando não houver geração de energia (ex.: iluminação, TV, rádio, telefone, etc...).

Figura 3 – Esquematização de um sistema isolado (Off-Grid).



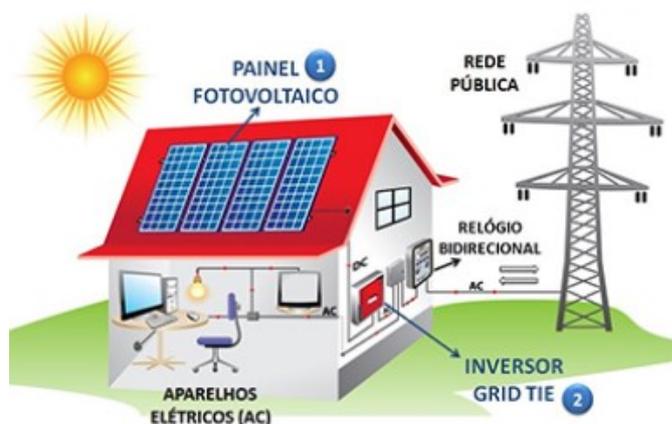
Fonte: (NeoSolar, 2017).

2.2.2 Sistemas conectados à rede (Grid-Tie)

Neste tipo de sistema, o arranjo fotovoltaico representa uma fonte complementar de energia ao sistema elétrico ao qual está conectado, não fazendo uso de armazenamento de energia (banco de baterias), pois toda a energia gerada é consumida no local ou inserida na rede (Figura 4) na forma de créditos, conforme previsto nas Resoluções Normativas nº 482 e 687.

Todo o arranjo é conectado a inversores e em seguida é guiado à rede, sendo necessário que satisfaçam as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja danificada, que serão descritas mais adiante na seção 2.7 (KAUFFMANN, 2012).

Figura 4 – Esquemática de um sistema conectado à rede (Grid-Tie).



Fonte: (NeoSolar, 2017).

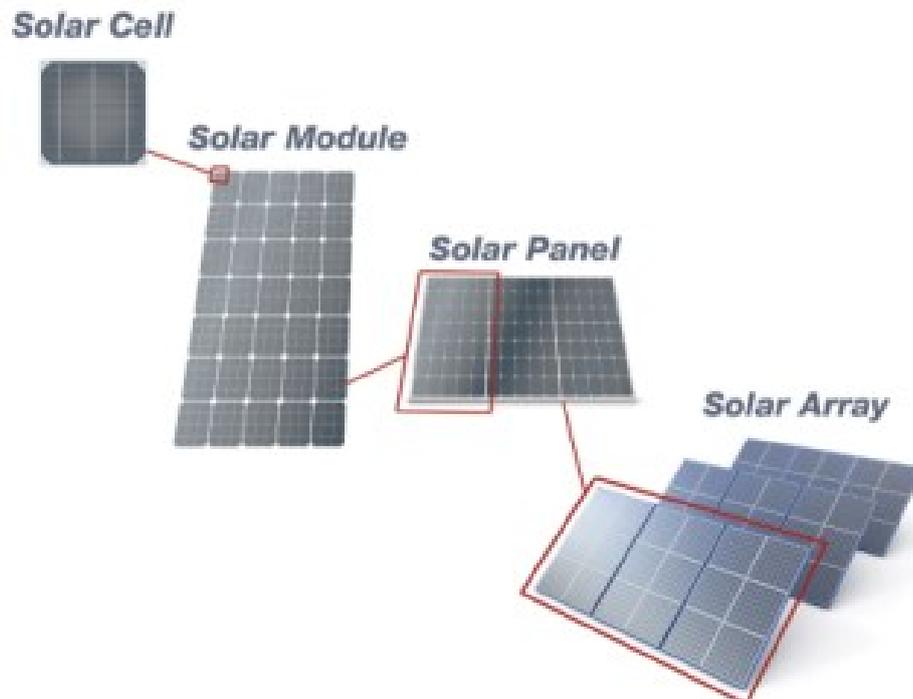
Pode-se também utilizar baterias para sistemas fotovoltaicos conectados à rede para a operação ilhada do sistema de geração no caso de falta da energia da rede elétrica. Sistemas assim são encontrados na Europa e nos EUA. No Brasil, para o caso de micro e mini geração, não há regulamentação prevendo este tipo de operação e as distribuidoras de energia não o aceitam, exigindo proteção para desligamento da geração em casos de ilhamento (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.3 Módulo, placa ou painel fotovoltaico

Um módulo fotovoltaico (Figura 5) é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente suficientes para a utilização

da energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 5 – Exemplificação de uma célula, um módulo, um painel e um arranjo solar.



Fonte: (WC EENGENHARIA, 2017).

O número de células conectadas em um módulo e seu arranjo, que pode ser série e/ou paralelo, depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada. É importante ter cuidado com a seleção das células a serem reunidas no momento da fabricação do módulo, devido as suas características elétricas. A incompatibilidade destas características leva a módulos de baixa qualidade devido ao efeito *mismatch* (desalinhamento), pelo qual as células de menor fotocorrente limitam o desempenho do conjunto e, em consequência, a eficiência global do módulo (PINHO; GALDINO, 2014).

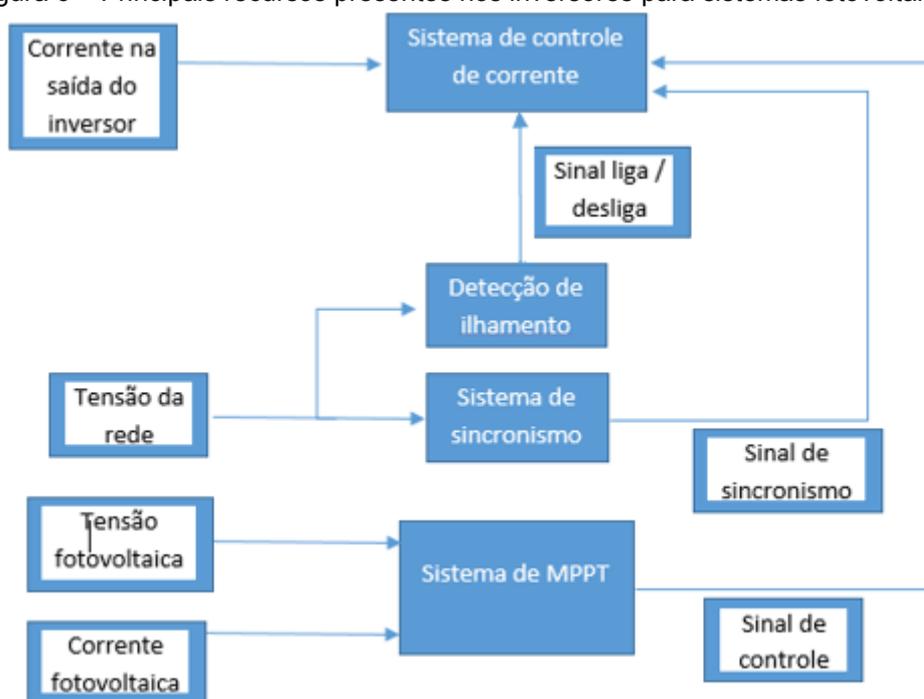
O módulo fotovoltaico, dependendo da associação e das características das células, pode ter diferentes valores para tensão e corrente nominal. Módulos com tensão nominal de 12 V, com 36 células em série, são utilizados para carregar baterias e podem ser associados em série para sistemas de 24 V ou 48 V em corrente contínua. Para outras aplicações, é comum encontrar módulos com tensões nominais diferentes, com maior ocorrência entre 30 V e 120 V (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.4 Inversor

Os inversores CC-CA para conexão de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também conhecidos como inversores Grid-Tie, possuem como função básica a conversão da Corrente Contínua (CC), fornecida pelo módulo, em Corrente Alternada (CA).

Quando conectado à rede, o inversor se comporta como uma fonte de corrente, injetando corrente elétrica senoidal pura (com baixa distorção harmônica) em sincronismo com a forma de onda da tensão. Além de fazer a conversão da energia e a injeção de corrente na rede elétrica, o inversor incorpora diversas funções necessárias para o aproveitamento da energia fotovoltaica e a conexão segura com a rede, como ilustra a Figura 6 (VILLALVA; GAZOLI, 2012; MARQUES et al., 2013).

Figura 6 – Principais recursos presentes nos inversores para sistemas fotovoltaicos.

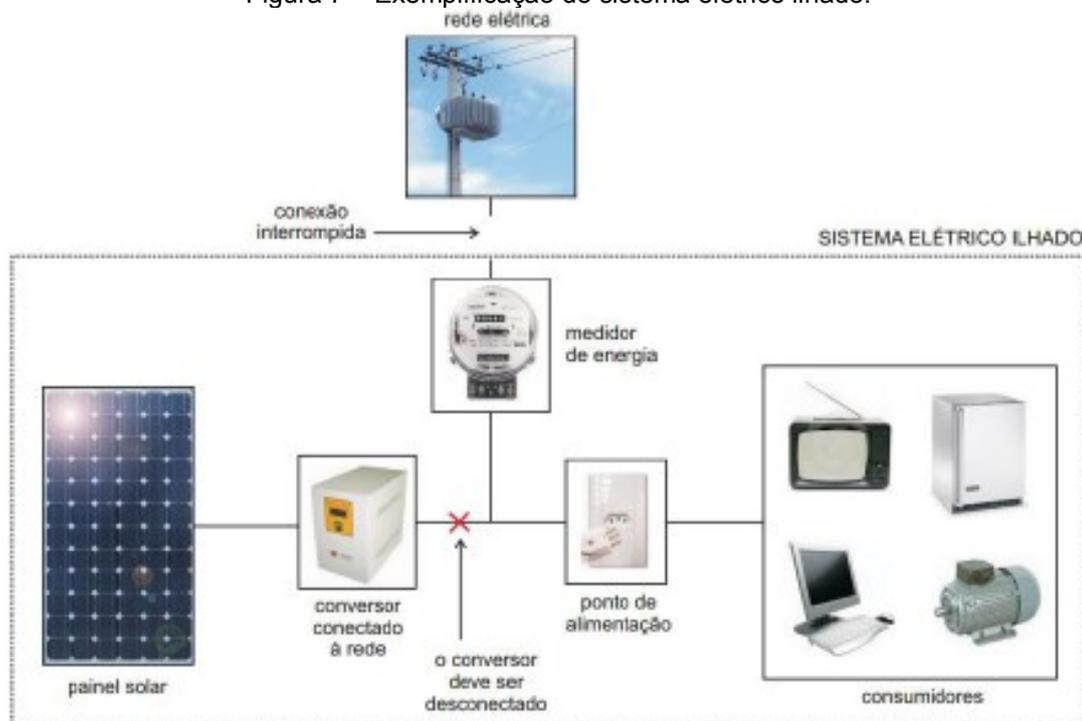


Fonte: (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O sistema de controle de corrente do inversor eletrônico é responsável pela conversão CC-CA e pela formatação da corrente injetada na saída. Nos inversores disponíveis comercialmente, o controle de corrente, bem como as demais funções do inversor, é realizado por um sistema microprocessado (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O Ilhamento ou operação em ilha é uma condição na qual parte da rede elétrica que contenha geração e demanda está isolada do resto da rede. No caso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, o ilhamento pode ser definido como a operação do sistema fotovoltaico sem a presença do sinal da rede. É considerada uma situação inaceitável por comprometer a segurança da manutenção da rede, por isso o recurso de detecção de ilhamento é exigido pelas normas que regem a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede elétrica. Assim, o objetivo do recurso da detecção de ilhamento é desconectar o inversor da instalação elétrica, cessando o fornecimento de corrente, na ocorrência de falhas no fornecimento da rede elétrica ou em sua ausência (situação de ilhamento), mesmo que o sistema fotovoltaico tenha há capacidade de suprir a demanda de energia local. A Figura 8 representa uma situação de ilhamento (VILLALVA; GAZOLI, 2012; PINTO NETO, 2012).

Figura 7 – Exemplificação do sistema elétrico ilhado.



Fonte: (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O sistema de sincronismo empregado nos inversores pode ser uma simples leitura da tensão da rede por meio de detector de cruzamento por zero ou um sistema de PLL (*Phase-Locked Loop*) que produz um sinal senoidal puro com a

mesma frequência e a mesma fase da componente fundamental da tensão da rede elétrica (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) é um recurso presente em todos os inversores para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica. Tem o objetivo de garantir instantaneamente a operação do sistema em seu ponto de máxima potência, independentemente das condições de temperatura e irradiação solar. O sistema MPPT fornece ao sistema de controle de corrente a informação sobre a amplitude da corrente que deve ser produzida na saída do inversor, alterando instantaneamente o fluxo da potência injetada na rede elétrica. Indiretamente a tensão e a corrente dos módulos fotovoltaicos, na entrada do inversor, são reguladas pela modulação da corrente de saída do inversor (VILLALVA; GAZOLI, 2012; PINHO; GALDINO, 2014).

2.3 Geração de Energia Distribuída

Diversos motivos tem induzido o interesse em geração distribuída, onde em particular no Brasil cerca de 81 % da oferta de energia elétrica são assegurados por grandes centrais hidrelétricas distantes dos grandes centros de consumo, a necessária implementação de novas alternativas de geração de eletricidade deve considerar questões tão diversas como distribuição geográfica da produção, confiabilidade e flexibilidade de operação, disponibilidade e preços de combustíveis, prazos de instalação e construção, condições de financiamento e licenciamento ambiental, etc... (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

De acordo com ACKERMANN (2001), define-se a geração distribuída sendo uma fonte de geração conectada diretamente na rede de distribuição ou ao consumidor. Convencionou-se usar as notações empregadas por ACKERMANN (2001) para dividir a geração distribuída em faixas. Sendo elas:

- Micro GD: Sistemas com potência inferior a 10 kW;
- Pequena GD: sistemas com potência entre 10 kW e 500 KW;
- Média GD: sistemas com potência entre 500 kW e 5 MW;
- Grande GD: Sistemas com potência entre 5MW e 100MW.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica operam em paralelo com a rede elétrica local, diferente de sistemas autônomos. O grande objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede é gerar eletricidade para consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou mesmo gerar excedente de energia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A geração distribuída no Brasil ainda não está totalmente difundida, porém tem mostrado evoluções nos últimos anos, e o número de sistemas de geração de energia elétrica tem aumentado conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Mapa brasileiro de geração distribuída fotovoltaica.



Fonte: (ANEEL, 2016).

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo aborda-se o desenvolvimento do projeto, o local onde o sistema solar fotovoltaico será instalado, as normas que devem ser seguidas para este tipo de instalação, além de toda a análise necessária para este investimento.

3.1 Local de Estudo

A escolha do local para a instalação do sistema de geração de energia elétrica através de recurso solar é uma tarefa bastante complexa, visto que envolve diversos aspectos para serem levados em consideração. No entanto, existem algumas questões que facilitam a identificação de um local propício para a instalação desta tecnologia, tais como a morfologia do terreno e a incidência dos raios solares no estabelecimento. Estes aspectos influenciarão direta e indiretamente na eficiência e na vida útil do sistema instalado, conseqüentemente são de extrema importância.

A partir destes conceitos, foram realizadas pesquisa na região de Dourados e o local para ser aplicado o projeto elaborado foi o Pesqueiro e Restaurante Kanoa, localizado na Rodovia Br-163 Km 260, em Dourados, Mato Grosso do Sul conforme apresentado na Figura 9.

Antes de se iniciar o projeto, foi realizado um estudo da fatura de energia elétrica da unidade consumidora, com o intuito de descobrir qual seria o montante ideal de energia a ser gerado. Realizou-se também uma visita técnica para o levantamento de todos os detalhes da unidade consumidora necessários para a melhor elaboração do projeto e projeção de alguns detalhes, tais como: inclinação e orientação do telhado, área de telhado disponível para instalação dos módulos, possíveis sombreamentos (casas e prédios vizinhos, árvores e extensões da própria residência) e as condições das instalações elétricas do local (entrada de energia, cabeamento, circuitos e quadros de distribuição) (ROSSI, 2017).

Figura 9 – Vista aérea do Pesqueiro e Restaurante Kanoa.



Fonte: (Google Maps, 2016).

3.2 Normas Regulatórias

O projeto atenderá à Resolução Normativa n° 687/2015 da ANEEL, que já abrange sua versão anterior, a Resolução Normativa n° 482/2012. Esta nova Resolução Normativa 482 implantou o “sistema de compensação de energia” que foi inspirado no sistema americano chamado de *net metering*, estabelecendo que toda energia ativa injetada na rede pela micro ou miniusina geradora onde contabilizada como um “empréstimo gratuito” à concessionária e, ao final do mês, já compensada na fatura de energia, subtraindo o valor referente à quantidade de energia injetada, ou seja, o valor referente à energia injetada na rede é devolvido ao consumidor. Caso o montante gerado for maior do que o montante consumido, o consumidor acumula créditos energéticos (a energia excedente não pode ser vendida, apenas compensada ou acumulada), que poderão ser compensados em qualquer unidade consumidora que esteja sob mesma titularidade da unidade geradora, desde que esteja localizada na mesma área de concessão da concessionária responsável, com prazo de validade de 60 meses (ANEEL, 2015).

Este projeto também atende as normas internacionais e nacionais que se referem à SFCR (devido ao fato de ainda não existir uma norma brasileira para esse

tipo de projeto), ao que dispõem as versões mais recentes das normas técnicas e as recomendações aprovadas, sendo:

- NDU 001 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades (ENERGISA, 2016);
- NDU 002 - Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária (ENERGISA, 2016);
- PRODIST – Procedimentos de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2016);
- ABNT NBR 5410:2008 – Instalações elétricas em baixa tensão (ABNT, 2008);
- ABNT NBR 5419:2015 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas (ABNT, 2015);
- IEC 1010-1 – Safety Requirements for Electrical Equipment for Measurement, Control, and Laboratory Use (IEC, 1996);
- IEC 60364-7-712:2017 – Low voltage electrical installations – (Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems) (IEC, 2017).

3.3 Análise de investimento

Para a continuação do projeto, é necessário que se entenda a colocação de uma breve definição: tempo de retorno de investimento. Tendo em vista que o sistema fotovoltaico tem uma geração monetária ao longo de sua durabilidade, a aquisição de um sistema de geração de energia fotovoltaica não é tratada como um gasto, mas sim como um investimento. Sendo assim, todo tipo de investimento necessita tempo para obter um retorno financeiro proporcionado pela aquisição “pague” a quantia inicial investida – esse tempo é chamado de tempo de retorno do investimento (ROSSI, 2017).

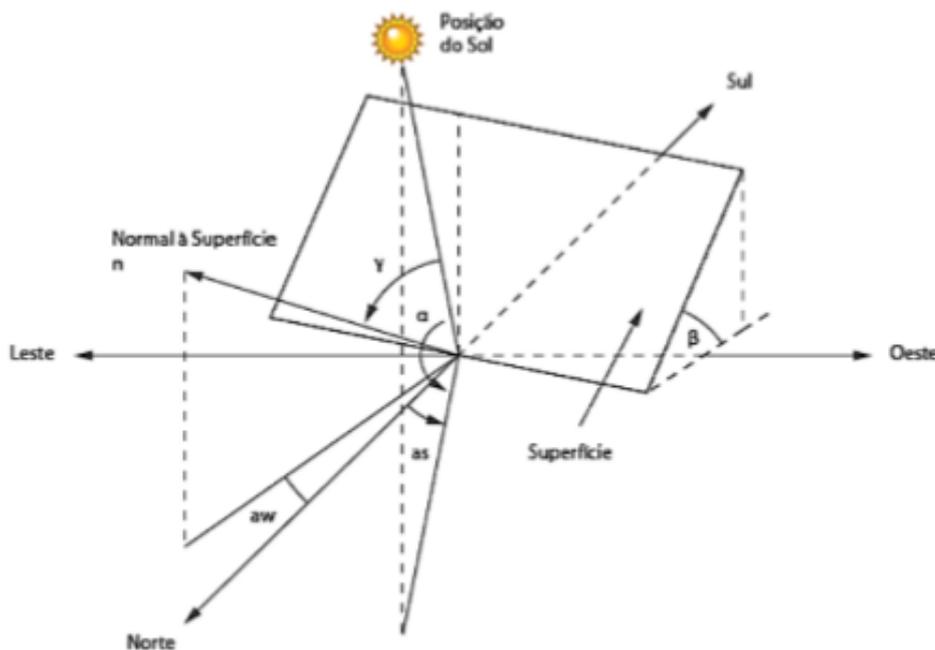
Devem-se considerar alguns fatores que afetam o projeto de maneira direta, e são fatores fundamentais para a determinação do tempo de retorno do investimento do projeto. Sendo eles: irradiância solar; inclinação do módulo fotovoltaico, orientação do módulo e o preço da energia.

3.3.1 Irradiância solar

A irradiância é uma grandeza empregada para a quantificação da radiação solar, sendo expressa na unidade de W/m^2 . Esta grandeza física expressa a energia que está sendo transportada durante certo intervalo de tempo (GAZOLLI; VILLAVAL, 2012).

A irradiância solar de uma localidade depende basicamente de sua posição no globo terrestre e de fatores relacionados ao sombreamento, como níveis de poluição e frequência de chuvas. Quanto maior o sombreamento, menor será a geração do sistema (ROSSI, 2017). A Figura 10 apresenta o esquema de captação de radiação solar por um módulo fotovoltaico.

Figura 10 – Esquema de captação de radiação solar por um módulo fotovoltaico.



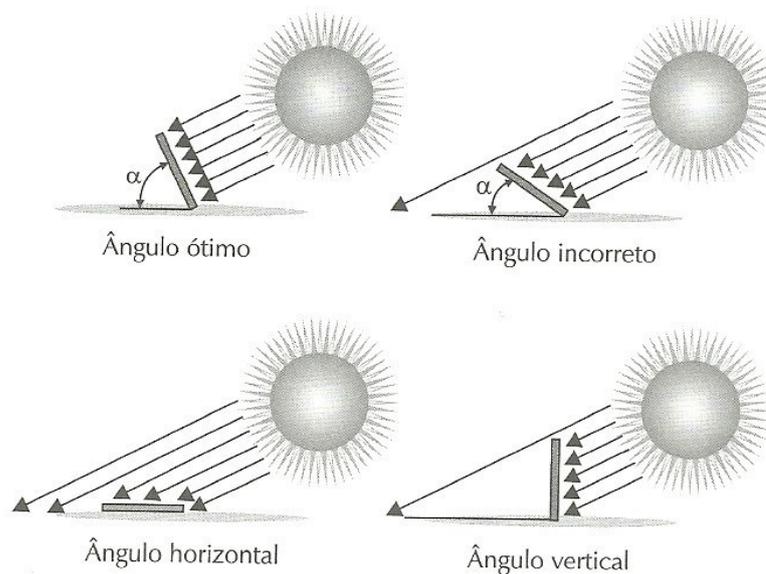
Fonte: (CRESESB, 2014).

3.3.2 Inclinação e orientação do módulo fotovoltaico

O ângulo segundo o qual, os raios solares atingem a superfície terrestre, varia com a latitude e com as horas do dia. Uma superfície relativamente perpendicular a um feixe vertical de raios solares recebe a quantidade máxima de radiação. Portanto, áreas nas quais os raios solares são oblíquos, estão sujeitas a menor insolação, porque os raios oblíquos são forçados a atravessar uma camada mais

espessa de uma atmosfera, que reflete e absorve energia, e porque a energia é espalhada por uma área maior. O mesmo princípio se aplica aos ângulos de emissão dos raios solares: ao meio-dia solar, a intensidade de insolação é maior; nas horas da manhã ou da tarde, quando o Sol está num ângulo baixo, a quantidade de insolação diminui. O funcionamento deste ângulo está representado na Figura 11.

Figura 11 – Ângulo de incidência.



Fonte: (ALVARENGA, 2001).

A melhor posição de um módulo fotovoltaico é aquela que permitirá a maior geração de energia durante 01 ano. Considerando uma posição localizada no hemisfério sul do planeta, o módulo deverá estar voltado para o norte (N) a um ângulo β com a horizontal. A direção mais adequada para os módulos é encontrada conforme a equação abaixo (ALVARENGA, 2001).

$$\beta = 3,7 + (0,69 \times \phi) \quad (1)$$

onde:

- β : Inclinação do módulo em relação ao plano horizontal;
- ϕ : Latitude da localidade.

De acordo com as coordenadas geográficas do local previsto para instalação do sistema fotovoltaico, tem-se:

➤ Dourados: $\phi = 22^\circ$

Sendo assim, utilizando à equação 1, a inclinação média do módulo será:

$$\beta = 3,7 + (0,69 \times \phi)$$

$$\beta = 3,7 + (0,69 \times 22^\circ)$$

$$\beta = 18,88 \approx 19^\circ$$

Portanto, a inclinação média dos módulos será de aproximadamente 19° .

A orientação que se deseja para um módulo na localidade em questão (Dourados-MS) é orientá-lo para o ponto cardinal norte. Como ao decorrer do ano ocorre uma variação de altura solar, a inclinação que traria uma maximização da geração seria a uma configuração em que a inclinação aponte o vetor normal à superfície do módulo exatamente para o meio da janela solar, igualando as captações nas alturas máximas (solstício de verão) e mínimas (solstício de inverno) do Sol no céu.

3.3.3 Localização do Gerador Fotovoltaico

Normalmente não existem restrições quanto ao local de instalação, uma vez que os módulos solares são equipamentos feitos para resistir ao tempo (sol, chuva, geadas, etc.) por longos períodos. A maior recomendação é que estes sejam instalados em locais com boa incidência de radiação solar e, por isso, merece bastante cuidado durante sua avaliação uma vez que o sombreamento provocado por árvores, cercas, postes, prédios, dentre outros, pode reduzir o potencial de geração do sistema. O gerador fotovoltaico deve ser colocado a uma distância suficiente de objetos que possam encobrir a luz do sol, para que nenhuma sombra ocorra especialmente nas horas de melhor irradiância, usualmente entre 9 e 15 horas. A equação 2 apresenta um método para estimar a distância mínima que o

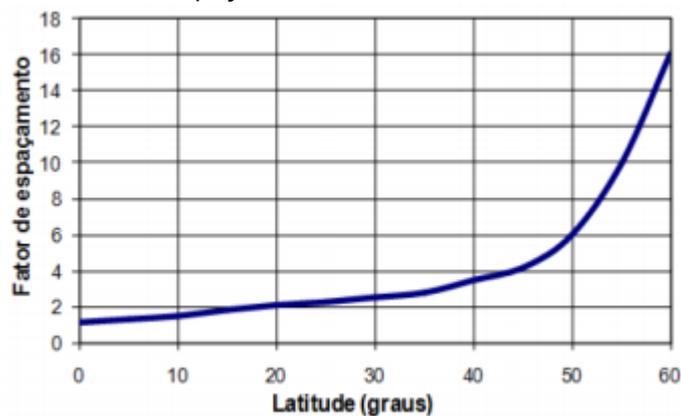
gerador fotovoltaico deve ser colocado da fonte de sombreamento (PINHO; GALDINO, 2014).

$$d = F_e \times (H_{ob} - H_i) \quad (2)$$

onde:

- d = Distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico e o obstáculo (m);
- F_e = Fator de espaçamento obtido pela curva da Figura 12;
- H_{ob} = altura do obstáculo (m);
- H_i = altura de instalação do gerador fotovoltaico (m).

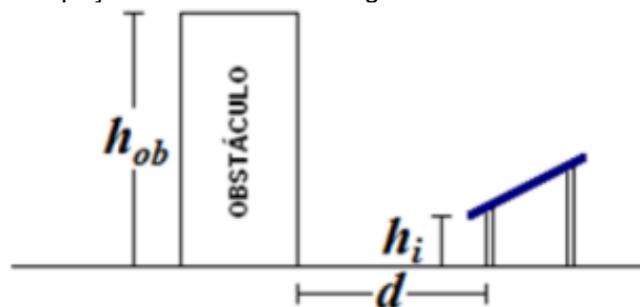
Figura 12 – Fator de espaçamento versus latitude do local de instalação.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), este método garante que o obstáculo não projete sua sombra sobre o módulo durante o inverno (pior caso) conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Espaçamento mínimo entre gerador fotovoltaico e obstáculo.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3.4 Preço da Energia

O último fator é o preço cobrado pela energia no local de instalação. Tendo em vista que o sistema de compensação de energia utiliza como moeda de troca a energia e não o dinheiro, quanto maior for o preço da energia, conseqüentemente será maior a geração monetária do sistema e, assim, menor será o tempo de retorno do investimento (ROSSI, 2017).

As tarifas utilizadas foram extraídas da Figura 14 de tarifas estabelecida pela empresa Grupo Energisa, o local de aplicação do projeto sendo o Kanoa Restaurante e Pesqueiro, se enquadra no grupo B, isto é, de baixa tensão e estabelecimento comercial, assim, seguindo a tabela, temos um valor de tarifa de R\$ 0,49208 para este caso.

Figura 14 – Modalidade tarifária convencional, baixa tensão.

B3	COMERCIAL SERVIÇOS E OUTROS	0,49208
	INDUSTRIAL	0,49208
	PODERES PÚBLICOS	0,49208
	SERVIÇO PÚBLICO	0,41827

Fonte: (Energisa, 2017).

3.4 Estimativa de Geração de energia

Primeiramente, deve-se saber a estimativa de energia a ser suprida pelo sistema, sendo assim, analisou-se a memória de massa do Pesqueiro Kanoa dos

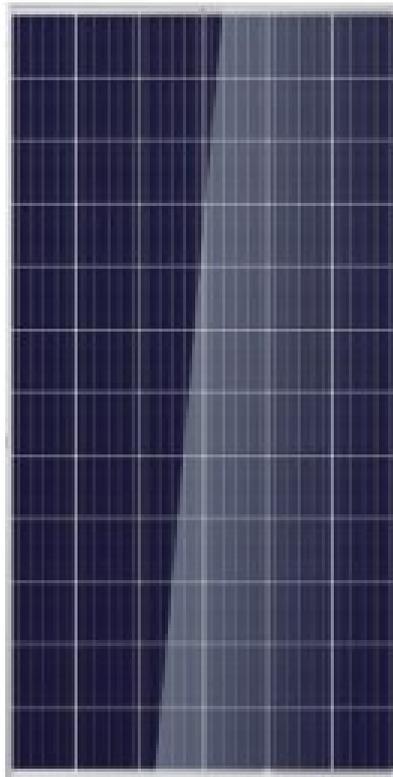
últimos 24 meses, disponibilizados pela concessionária vigente e o seguinte resultado foi encontrado:

$$\text{Demanda a ser suprida pelo sistema: } 8970 \frac{kWh}{mes}$$

Este valor será utilizado como base para cálculo do número de módulos necessários para esta instalação do sistema fotovoltaico. Para iniciar o dimensionamento da quantidade de módulos do sistema, serão utilizadas algumas equações, que serão descritas a seguir. Faz-se necessário também as especificações dos módulos a serem escolhidos.

Como para estimar a energia gerada é necessário conhecer a potência-pico dos módulos, nessa etapa foi realizada uma pesquisa de mercado para escolher a melhor opção de módulo fotovoltaico para a concepção do projeto. Os módulos selecionados para este projeto que apresentaram melhor custo-benefício são do fabricante Canadian Solar, modelo CS6U-315P (apresentado na Figura 15), de 72 células, dimensões de 2 x 1 metros e potência-pico de 315 Wp.

Figura 15 – Painel solar fotovoltaico do fabricante Canadian Solar.



Fonte: (CANADIAN, 2016).

Na Tabela 1 encontram-se as principais características elétricas e físicas

desse módulo.

Tabela 1 – Aspectos elétricos e físicos dos módulos escolhidos.

CS6U	315P	320P	325P	330P
Nominal Max. Power (Pmax)	315 W	320 W	325 W	330 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	36.6 V	36.8 V	37.0 V	37.2 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.61 A	8.69 A	8.78 A	8.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.1 V	45.3 V	45.5 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.18 A	9.26 A	9.34 A	9.45 A
Module Efficiency	16.20 %	16.46 %	16.72 %	16.97%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	15 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

Fonte: (Canadian Solar, 2016).

Para o cálculo da radiação solar média diária no local, faz-se necessário a utilização de uma ferramenta que calcula tal parâmetro médio mensal em qualquer ponto do território nacional. Este programa chama-se *SunData*, desenvolvido pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB. Como o local de aplicação (Dourados – MS), localiza-se na latitude 22,5° S e longitude 54,8° O, para o plano horizontal o programa apresentou a seguinte irradiação diária solar média apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Irradiação em superfície horizontal.
**Irradiação solar diária média sobre superfície horizontal
(kWh/m²/dia)**

Jan	5,61
Fev	5,36
Mar	5,22
Abr	4,47
Mai	4,06
Jun	3,53
Jul	3,89
Ago	4,14
Set	4,14
Out	5,6
Nov	6,08
Dez	5,75
Média anual	4,81

Fonte: (CRESSEB, 2016).

Já para o plano inclinado em 22°, o programa apresenta a irradiação demonstrada na Tabela 3 em kWh/m²/dia.

Tabela 3 – Irradiação em superfície inclinada.
Irradiação solar diária média sobre superfície inclinada
(kWh/m²/dia)

Jan	5,10
Fev	5,12
Mar	5,37
Abr	5,03
Mai	5,02
Jun	4,53
Jul	4,94
Ago	4,82
Set	4,36
Out	5,37
Nov	5,37
Dez	5,15
Média anual	5,03

Fonte: (CRESSEB, 2016).

Analisando-se as Tabelas 2 e 3, é possível notar que a média anual de irradiação obtida para o plano inclinado é superior quando comparada à obtida para o plano horizontal. Este fato já era esperado, uma vez que a inclinação dos módulos em um ângulo igual ao da latitude do local de instalação proporciona uma maior produção de energia para sistemas conectados à rede elétrica. Tomando como base os valores de irradiação, a energia gerada por cada módulo fotovoltaico diariamente, conforme a equação 3, será:

$$EP = GM \times A \times H \quad (3)$$

$$EP = 5,03 \times (2 \times 1) \times 0,1620 = 1,63 \text{ kW}$$

Então cada módulo irá produzir aproximadamente 1,63 kWh/dia, cerca de 48,90 kWh/mês. Já para o cálculo do número de módulos necessários para esta aplicação, faz-se uso da equação 4.

$$N_p = \frac{E_T}{E_P} \quad (4)$$

$$N_p = \frac{8970}{48,90}$$

$$N_p = 138,44$$

Através do cálculo realizado, serão necessários aproximadamente 139 módulos fotovoltaicos para se atender a demanda.

3.5 Área de Instalação

Através do dimensionamento do número de módulos necessários para o suprimento do sistema, é possível realizar o cálculo da área necessária para a instalação do sistema.

$$\text{Área de instalação} = \text{Área do módulo} \times N_p \quad (5)$$

$$\text{Área de instalação} = (2)\text{m}^2 \times 139$$

$$\text{Área de instalação (total)} = 278 \text{ m}^2$$

3.6 StringBox

A *StringBox* é um quadro elétrico de proteção em corrente contínua, composto por um conjunto de dispositivos aptos a intervir contra distúrbios elétricos que ocasionalmente podem ocorrer entre as séries de Módulos Fotovoltaicos e o Inversor. Os dispositivos de proteção que compõem uma *StringBox*, são:

- Bases Porta Fusível;
- Fusíveis;
- DPS (Dispositivos de Proteção Contra Surto);
- Chave seccionadora em corrente contínua.

O escopo principal da *StringBox* é de atuar como elemento de proteção de todos os equipamentos mais sensíveis e custosos do sistema fotovoltaico (módulos

e inversores), além de conter o problema externamente ao local de instalação, zerando o risco de incêndio / queima do local ou do sistema elétrico do cliente.

Para este sistema de geração, como os módulos serão dispostos em 10 *Strings* por bloco, escolheu-se um quadro elétrico (*StringBox*) que possui 2 entradas e 2 saídas. Assim, serão necessários 2 *StringBox* em cada bloco, sendo que cada 2 fileiras de *String* estão ligadas a uma *StringBox*. A saída desta irá diretamente para o inversor.

3.6.1 Dimensionamento do inversor

Como a instalação terá 139 módulos, a potência total a ser instalada pelo sistema é calculada por meio da equação 6, explicitada abaixo:

$$P_t = P_{m\acute{a}x} \times N_p \quad (6)$$

$$P_t = 315 \times 139$$

$$P_t = 43.785W = 43,785 kW$$

O inversor deverá possuir uma potência nominal maior ou igual a 43,785 kW. Sendo assim, devido á disposição e quantidade de painéis, faz-se necessário a utilização de uma associação de inversores. Para tal, escolheu-se o modelo Light 3.0-1 (3.000W), da marca Fronius (Figura 14), que é um modelo próprio para sistemas conectados à rede (Grid-Tie) e por ser um modelo com uma boa confiabilidade no mercado.

Figura 16 - Inversor Fronius Galvo 3.0-1 light (3.000W).



Fonte: (FRONIUS, 2016).

As principais características elétricas e físicas desse modelo de inversor são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados elétricos e físicos do inversor Light 3.0-1 (3.000W).

Entrada (CC)	
Voltagem máxima de entrada	550 Vcc
Faixa de Voltagem do MPP	(165 Vcc a 440 Vcc)
Voltagem mínima de entrada	165 Vcc
Voltagem para inicialização	185 Vcc
Corrente máxima de entrada	19,8 A
Saída (CA)	
Potência nominal de saída	3000W
Voltagem de saída (faixa)	180 a 270 Vca
Frequência de saída	60 Hz
Corrente máxima de saída	14,5 A
Outras características	
Eficiência máxima	96,10%
Consumo Interno (noite)	<1W
Temperatura de operação	(-40°C) a + 55°C
Especificações mecânicas	
Dimensões (L x A x P)	(645 x 431 x 204)mm
Peso	16,8 kg

Fonte: (FRONIUS, 2016).

A quantidade de inversores necessária para esta instalação é calculada da seguinte maneira:

$$\text{Número de inversores} = \frac{43.785W}{3.000 W} = 14,59 \text{ inversores}$$

Através do cálculo realizado, serão necessários 15 inversores para atender a demanda.

4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Dada à necessidade da economia anual do sistema de geração, a análise de viabilidade através dos indicadores *Payback* Simples, *Payback* Descontado e Fluxo de Caixa serão analisadas como indicadores de viabilidade desde projeto solar fotovoltaico.

A Tabela 5 apresenta o levantamento dos equipamentos necessários para a instalação do projeto fotovoltaico, note que não levou em consideração o custo com a mão de obra do serviço de instalação, esse valor gira em torno de 15 a 20 % do valor do projeto.

Tabela 5 – Relação quantidade/preço dos materiais necessários para o sistema fotovoltaico.

Painel solar 315W Canadian Solar - CS6U-315P	139	R\$ 989,00	R\$ 137.471,00
Inversor Fronius Galvo 3.0-1 light (3.000W)	15	R\$ 9.190,00	R\$ 137.850,00
Kit de montagem Thesan para telhado metálico e fibrocimento inclinado - 4 painéis fotovoltaicos	35	R\$ 839,00	R\$ 29.365,00
Kit de montagem Thesan para telhado de fibrocimento inclinado - 3 painéis fotovoltaicos	-	R\$ 649,00	
Quadro Elétrico Fotovoltaico (Stringbox), 2 string IP65 25A 1000V	10	R\$ 2.199,00	R\$ 21.990,00
		Total sistema fotovoltaico:	R\$ 326.676,00

Fonte: Próprio autor.

4.1 Payback Simples

De acordo com Bregolin (2014), o prazo de retorno simples do investimento, ou *Payback* Simples, é um método que apura o tempo necessário para que determinado investimento seja recuperado, e pode ser calculado como:

$$Payback (simples) = \frac{\text{investimento inicial (R\$)}}{\text{economia anual (R\$)}} \quad (7)$$

Considerando-se que no projeto serão utilizados 139 módulos, para calcular o quanto esse sistema fotovoltaico irá produzir de energia elétrica durante um mês, considerou-se o rendimento médio do inversor e a irradiação solar diária média de Dourados de acordo com os dados do *software SunData*. Na Tabela 6 são apresentados os valores que se estima obter com essa instalação fotovoltaica.

Tabela 6 – Cálculo mensal da energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

Mês	Dias	Potência Instalada (kWp)	Irradiação Solar (kWh/m ² .dia)	Rendimento do inversor	Energia produzida (kWh)
Janeiro	31	43,785	5,1	0,961	6654,4336
Fevereiro	28	43,785	5,12	0,961	6032,2139
Março	31	43,785	5,37	0,961	7004,6223
Abril	30	43,785	5,03	0,961	6349,4774
Mai	31	43,785	5,02	0,961	6548,0827
Junho	30	43,785	4,54	0,961	5730,9399
Julho	31	43,785	4,94	0,961	6443,7307
Agosto	31	43,785	4,83	0,961	6300,2469
Setembro	30	43,785	4,36	0,961	5503,7220
Outubro	31	43,785	5,38	0,961	7017,6663
Novembro	30	43,785	5,57	0,961	6791,2900
Dezembro	31	43,785	5,15	0,961	6717,6545
TOTAL					
(Anual)					77.094,08

Fonte: Próprio autor.

Nos cálculos da Tabela 6 não se levou em consideração o decréscimo na eficiência das células devido à temperatura de operação. Assim, com base nesses cálculos, o sistema fotovoltaico teoricamente irá produzir 77.094,08 kWh por ano.

Tendo em vista que o sistema de geração está dimensionado para produzir energia na disponibilidade de luz solar, e que geralmente, este recurso encontra-se presente até 16h30min (aproximadamente), para suprir a demanda do local, o custo médio da energia gerada será o valor da tarifa vigente pela Energisa que é no valor

de R\$ 0,492080. Sendo assim, não é necessário o cálculo do custo médio de energia levando em conta o consumo fora da ponta.

O investimento do sistema fotovoltaico será de R\$ 326.676,00. Tendo em vista que a economia anual varia com o passar do tempo devido à depreciação dos módulos, será utilizada a média da economia anual nos 25 anos (tempo de vida útil). (Vide Tabela 5). Logo, tem-se para o *Payback Simples*:

$$\textit{Payback Simples} = \frac{326.676,00}{35.745,17}$$

$$\textit{Payback Simples} = 9,14 \text{ anos}$$

Obtém-se um valor de 9,14, ou seja, o sistema recuperará o capital investido em aproximadamente 9 anos. Segundo Pinho e Galdino (2014), a vida útil de um sistema fotovoltaico é de aproximadamente 25 anos. Sendo assim, pode-se dizer que o projeto de energia solar fotovoltaica será viável economicamente, pois será pago em 9 anos.

4.2 Payback Descontado

O período de retorno descontado pode ser calculado através da seguinte fórmula (BOTTEON, 2009):

$$\textit{Payback Descontado}: - \frac{\ln\left(1 - \frac{I}{Econ} \cdot i\right)}{\ln(1 + i)} \quad (8)$$

onde:

- I = investimento inicial;
- $Econ$ = economia anual;
- i = taxa de desconto.

Para o projeto de energia solar fotovoltaica, devido ao fato de estar considerando uma situação hipotética para a implantação deste sistema de geração no Pesqueiro Kanoa, não há juros sobre o valor pago pelo investimento (juros de

financiamento). Por conseguinte, para o cálculo do *Payback* descontado e do VPL adotou-se como referência a taxa de juros SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia), cujo valor médio anual é de 14,15%. a.a (BRASIL, 2017).

A partir de tais informações, tem-se que:

$$\textit{Payback Descontado: } - \frac{\ln\left(1 - \frac{326.676,00}{35.745,17} \cdot 0,1415\right)}{\ln(1 + 0,1415)}$$

Payback Descontado: 9,20 anos

O período de retorno descontado é de, aproximadamente, 9 anos para o projeto em questão.

4.3 TIR

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador de investimento, que, diferentemente do VPL, não retorna um valor monetário, e sim um percentual. A TIR é a taxa que zera o VPL, isto é, representa a taxa máxima que o projeto suporta antes de se tornar negativo. Utilizou-se como TMA (taxa mínima de atratividade) 10 %, comum ao mercado financeiro de investimento (Cervi, 2009). Vale ressaltar que para o cálculo deste indicador utilizou-se a ferramenta disponível no Excel. A TIR obtida para este empreendimento está explicitada na Tabela 7.

Tabela 7 – TIR prevista para o projeto.

<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>
13,0 %

Fonte: Próprio autor.

Visto que a TIR obtida foi de 13 %, e os fluxos de caixa são anuais, pode-se dizer que o projeto irá gerar um retorno anual de 13 %. Relacionado a isso, pelo fato do valor obtido ser superior ao valor da TMA (10 %), constata-se a viabilidade do empreendimento.

4.4 Valor Presente Líquido (VPL)

O método do VPL consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixa esperadas, descontadas a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente. Geralmente, numa operação onde se determina o VPL, costuma-se usar a expressão desconto ou valor descontado; assim, a taxa de juros envolvida é também chamada de taxa de desconto (BOTTEON, 2009).

$$VPL = Econ. \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} - I \quad (9)$$

onde:

- I = Investimento inicial;
- Econ = Economia total;
- n = Números de anos;
- i = Taxa de desconto.

A aprovação do investimento está condicionada ao VPL ser maior do que zero.

Relacionado a isso, para uma vida útil de 25 anos, o cálculo do VPL se dá a partir da equação 9, como:

$$VPL = 35.745,17 \cdot \frac{(1 + 0,1415)^{25} - 1}{(1 + 0,1415)^{25} \cdot 0,1415} - 326.676,00$$

$$VPL = R\$ - 91.857,65$$

Desta forma, de acordo com o valor obtido o VPL será de R\$ 91.857,65 negativo. Isto se deve ao fato do valor do investimento ser muito maior se comparado á economia total, quando analisado sob uma taxa de juros de 14,15%. De acordo com a literatura, a TIR é a taxa que zera o VPL. Em outras palavras, a TIR representa a taxa máxima que o projeto suporta antes de se tornar

negativo. Ou seja, como o valor calculado pela TIR foi de 13 %, e a taxa de juros analisada é de 14,15 %, é justificável que o VPL dê negativo.

O fluxo de caixa esperado para este investimento pode ser visto conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Informações necessárias para o cálculo do fluxo de caixa.

<i>Informações Necessárias</i>	
Índice de depreciação dos painéis	0,50%
Geração Base - Ano 0 (kWh)	77.094,08
Investimento	R\$ 326.676,00
Tarifa (R\$/kWh)	R\$ 0,4921

Fonte: Próprio autor.

Por meio da Tabela 9, nota-se que o investimento do sistema fotovoltaico só começou a ficar positivo a partir do 9º ano, valor este equivalente ao obtido pelo método *Payback* Simples. Isto nos mostra que em 9 anos o investimento já terá seu valor quitado em 100 %, entretanto, este valor difere totalmente do calculado pelo método do *Payback* Descontado. Isto se deve ao fato do método *Payback* Simples não considerar o valor do dinheiro ao longo do tempo, ou seja, o custo do capital.

Ao considerar a taxa de juros no investimento, chega-se ao período de retorno descontado. Em nossa análise está sendo desconsiderado o reajuste anual na tarifa de energia, tendo em vista da instabilidade do país e uma política não definida para o setor energético nos próximos anos. Este, apesar de ser relativamente alto se comparado ao período de retorno simples, ainda é menor que a vida útil prevista para o sistema.

Tabela 9 – Fluxo de caixa previsto para o investimento.

<i>Fluxo de Caixa (À vista)</i>						
Ano	Investimento	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo evitado	Total de economia	Total em giro
0	R\$ 326.676,00			-R\$ 326.676,00		-R\$ 326.676,00
1		77094,08	0,4921	R\$ 37.936,45	R\$ 37.936,45	-R\$ 288.739,55
2		76708,6	0,4921	R\$ 37.746,77	R\$ 75.683,23	-R\$ 250.992,77
3		76325,1	0,4921	R\$ 37.558,04	R\$ 113.241,27	-R\$ 213.434,73
4		75943,4	0,4921	R\$ 37.370,25	R\$ 150.611,51	-R\$ 176.064,49
5		75563,7	0,4921	R\$ 37.183,40	R\$ 187.794,91	-R\$ 138.881,09
6		75185,9	0,4921	R\$ 36.997,48	R\$ 224.792,39	-R\$ 101.883,61
7		74810,0	0,4921	R\$ 36.812,49	R\$ 261.604,89	-R\$ 65.071,11
8		74435,9	0,4921	R\$ 36.628,43	R\$ 298.233,32	-R\$ 28.442,68
9		74063,7	0,4921	R\$ 36.445,29	R\$ 334.678,60	R\$ 8.002,60
10		73693,4	0,4921	R\$ 36.263,06	R\$ 370.941,67	R\$ 44.265,67
11		73325,0	0,4921	R\$ 36.081,75	R\$ 407.023,41	R\$ 80.347,41
12		72958,3	0,4921	R\$ 35.901,34	R\$ 442.924,75	R\$ 116.248,75
13		72593,5	0,4921	R\$ 35.721,83	R\$ 478.646,58	R\$ 151.970,58
14		72230,6	0,4921	R\$ 35.543,22	R\$ 514.189,80	R\$ 187.513,80
15		71869,4	0,4921	R\$ 35.365,51	R\$ 549.555,31	R\$ 222.879,31
16		71510,1	0,4921	R\$ 35.188,68	R\$ 584.743,99	R\$ 258.067,99
17		71152,5	0,4921	R\$ 35.012,73	R\$ 619.756,72	R\$ 293.080,72
18		70796,8	0,4921	R\$ 34.837,67	R\$ 654.594,39	R\$ 327.918,39
19		70442,8	0,4921	R\$ 34.663,48	R\$ 689.257,88	R\$ 362.581,88
20		70090,6	0,4921	R\$ 34.490,17	R\$ 723.748,04	R\$ 397.072,04
21		69740,1	0,4921	R\$ 34.317,71	R\$ 758.065,76	R\$ 431.389,76
22		69391,4	0,4921	R\$ 34.146,13	R\$ 792.211,88	R\$ 465.535,88
23		69044,5	0,4921	R\$ 33.975,40	R\$ 826.187,28	R\$ 499.511,28
24		68699,2	0,4921	R\$ 33.805,52	R\$ 859.992,80	R\$ 533.316,80
25		68355,7	0,4921	R\$ 33.636,49	R\$ 893.629,29	R\$ 566.953,29
		Economia Média Anual		R\$ 35.745,17		

Fonte: Próprio autor.

5 CONCLUSÕES

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são uma aplicação bastante promissora da tecnologia fotovoltaica, uma vez que tem as vantagens da geração distribuída (geração próxima ao consumo) e não necessitam de dispositivos acumuladores (banco de baterias), já que a rede elétrica absorve a energia gerada que pode não ser consumida imediatamente pela carga local.

Com relação ao projeto do sistema fotovoltaico, pela análise econômica percebe-se que o investimento possui uma atratividade, além de possuir uma TIR atrativa. Em relação ao tempo de retorno, tanto pelo método do *Payback* Simples quanto pelo Descontado, o valor obtido foi menor do que sua de vida útil estimada, cerca de 25 anos. Apesar de possuir um investimento inicial significativamente alto, este será compensado posteriormente, e será quitado de forma integral a partir do 9º ano, como demonstrado no fluxo de caixa.

Quanto aos aspectos físicos do projeto, a utilização de 139 módulos fotovoltaicos dispostos no teto do prédio principal e na cobertura de alguns quiosques ao longo do pesqueiro. Ponderando-se as vertentes econômicas deste sistema de geração, pode-se notar a economia proporcionada pela autoprodução de parte da energia elétrica utilizada no Pesqueiro Kanoa, totalizando uma economia média anual de R\$ 35.745,17.

Dessa forma, por já ser uma tecnológica viável, é esperada uma expansão da energia fotovoltaica na matriz brasileira nos próximos anos. Algo que trará benefícios ao consumidor final e ao sistema elétrico nacional, além de diversificar a matriz energética, e impulsionar o desenvolvimento tecnológico das indústrias nacionais ao gerar uma nova cadeia produtiva. Que por consequência traz emprego, renda e desenvolvimento econômico nacional.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista a grande expansão dos investimentos em energias renováveis é de extrema importância que haja uma continuidade em pesquisas nesta vertente da engenharia. Como ainda é uma área em desenvolvimento, trabalhos com sistemas híbridos podem ter um grande impacto na região da Grande Dourados.

Como a região de Dourados apresenta várias unidades de criação de suínos e de aves, sistemas híbridos compostos por biodigestores e sistemas fotovoltaicos, poderão trazer bons resultados. Podem ser desenvolvidos trabalhos analisando a qualidade da energia que está gerada por sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. **Overview of government and market driven programs for the promotion of renewable power generation.** *Renewable Energy*. V. 22, p. 197-204, 2001.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. PRODIST: **Procedimentos de distribuição**. 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/prodist>>. Acesso em 07 jun. 2017.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Bandeiras Tarifárias**. (2015b). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/bandeira-tarifaria/654800?inheritRedirect=false> Acesso em 18 mar. 2017.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482. 17 de abril de 2012.** (2012a). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>> Acesso em 18 mar. 2017.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 569, de 23 de julho de 2013.** (2013). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/065/resultado/ren2013569.pdf>> Acesso em 18 mar. 2017.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015.** (2015a). Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 18 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro/RJ: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5419: **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro/RJ: ABNT, 2015.

ATOMRA - **Descubra o Índice Solarimétrico do local do seu projeto**. Disponível em: < <http://www.atomra.com.br/indice-solarimetrico-do-local/> > Acesso em: 11 de ago. 2017

COLLE, S.; PEREIRA, E.B. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil (Primeira Versão para Irradiação Global Derivada de Satélite e Validada na Superfície)** (Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília, 1998), 58 pp.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Prc-prodeem, 2004. 207 p. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Atlas Solarimétrico do Brasil 2000**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

ENERGISA. **Bandeiras Tarifárias**. 2015. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br>>. Acesso em 23 ago. 2016.

ENERGISA. NDU 001 - **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária Edificações Individuais ou Agrupadas até 3 Unidades**. Dourados/ms: Diretoria de Operações, 2016. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/ndu001.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

ENERGISA. NDU 002 - **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Primária**. Dourados/ms: Diretoria de Operações, 2016. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/ndu002.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

FARIA, C. F. da C. (Org.). **Introdução ao Sistema de Aquecimento Solar**. 2010. Apostila. Disponível em: <http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/60551/mod_resource/content/1/Apostila_Aquecimento_Solar.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em 10 de set. 2016

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2017.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 1010-1: **Safety Requirements for Electrical Equipment for Measurement, Control and Laboratory Use**. North Carolina: IEC, 1996.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60364:2017: **Low voltage electrical installations**. North Carolina: IEC, 2017.

KAUFFMANN, G. V. **Avaliação do Potencial de Geração Solar Fotovoltaica e Análise em Tempo Real da Operação de um Painel Fotovoltaico Instalado na Cidade de Lajeado/RS**. 2012. 66 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2012.

MME – Ministério de Minas e Energia. ProGD: Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica. **Ações de estímulo à geração distribuída, com base em fontes renováveis**. Brasília, 15 de dezembro de 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em 25 de ago. 2016.

NEOSOLAR - **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>> Acesso em 11 de ago. 2017.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. - **Atlas brasileiro de energia solar**. – São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RUTHER, R. - **Atlas brasileiro de energia solar**. – São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

PEREIRA, E.B.; COLLE, S. **Revista Ciência Hoje** 22, 25 (1997)

PEREIRA, S.B.; FIETZ, C.R.; PEIXOTO, P.P.P.; ALVES SOBRINHO, T.; SANTOS, F.M. **Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Dourados, MS, Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007.** 18p. (Documentos/Embrapa Agropecuária Oeste, 44). Disponível em: <<http://www.cpao.embrapa.br>>. Acesso em: 24 de ago. 2016.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (Org.). Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

ROSSI, G. B. **Projeto, implementação e validação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia elétrica.** 2017. 93 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. de; CAMARGO, IM de T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais.** In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE). Brasília. 2006.

SILVA JÚNIOR, C. R. J. **Projeto de um Sistema Fotovoltaico Para Energização de um Equipamento de Pesca com Eletricidade.** 2008. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Cap. 3. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

SOLAR AND WIND ENERGY RESOURCE ASSESSMENT – SWERA. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede.** Editora Érica, 2012.

WC ENGENHARIA - **Sistemas de energia solar fotovoltaica.** Disponível em: <<https://www.emaze.com>>. Acesso em 11 de ago. 2017.