



Estudo para implantação de um sistema de energia fotovoltaica em uma Estação de Tratamento de Águas para Abastecimento

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente – MEENA

Matheus Monaco Ferreira

Leiria, novembro de 2020



Estudo para implantação de um sistema de energia fotovoltaica em uma Estação de Tratamento de Águas para Abastecimento

Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente – MEENA

Matheus Monaco Ferreira

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Professor Doutor Ricardo Miguel Rosa Manso, professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, novembro de 2020

Originalidade e Direitos de Autor

A presente dissertação é original, elaborada unicamente para este fim, tendo sido devidamente citados todos os autores cujos estudos e publicações contribuíram para a elaborar.

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionada o Autor e feita referência ao ciclo de estudos no âmbito do qual o mesmo foi realizado, a saber, Curso de Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente – MEENA, no ano letivo 2019/2020, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Portugal, e, bem assim, à data das provas públicas que visaram a avaliação destes trabalhos.

Agradecimentos

Quero expressar meus agradecimentos, à Deus pelo dom da vida, por ter me dado saúde para continuar a batalha e paciência para não desistir.

Ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Miguel Rosa Manso, pelo apoio durante o desenvolvimento da dissertação e pelos princípios que foram importantes para a resolução dos problemas encontrados.

A Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul por disponibilizar dados e informações que contribuíram para a realização deste estudo, em especial ao Eng. Thiago Pereira Vieira.

A minha família, principalmente, aos meus amados pais, Gisele Monaco e Flóridinísio Ferreira, a minha irmã Caroline Monaco e aos meus tios Júlio Cesar Monaco, Romilda Monaco, Ney Monaco e Emily Correa, que estes jamais deixaram de acreditar em mim nessa jornada, e com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse a essa fase da minha vida.

A minha noiva Larissa Tessari, por estar ao meu lado nesse desafio, grato pela paciência, carinho e pela ajuda sempre que necessitava.

Aos meus amigos, Luís Felipe, Renan Carlos, Jean Carlos, Fabrício Zanin, João Lucas Souza e Ed Wilson que contribuíram com o incentivo para a realização desta dissertação.

A todos que de alguma forma doaram um pouco de si para que a realização desse trabalho se tornasse possível.

Resumo

A alta demanda de energia elétrica associada à diminuição das emissões dos gases causadores do aquecimento global, tem ampliado a busca de alternativas de produção sustentável da energia elétrica. No Brasil, o alto custo relacionado com os investimentos no setor energético é um problema ao longo dos últimos anos, o que torna fundamental o avanço de apoios e de políticas que visam o uso racional da energia.

O consumo de energia elétrica é indispensável na gestão e operação dos sistemas de tratamento e abastecimento de água. O uso sustentável da energia elétrica, além de permitir uma retribuição financeira pela diminuição dos custos de tratamento de água, possibilita, ainda a aplicação de recursos “economizados” para ampliação do sistema.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do Brasil (2018), as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento participantes do SNIS atingem R\$ 6,19 bilhões, com consumo de 11,5 TWh com abastecimento de água.

Nesse sentido, esta dissertação permite realizar uma análise técnica e econômica de uma estação de tratamento de água para abastecimento, em busca de eficiência energética para a redução com os custos de energia elétrica, através da implantação de um sistema solar fotovoltaico de acordo com uma área estabelecida.

A partir da área definida, iniciou-se o projecto e realizou-se a simulação com a utilização do *software PVsyst 7.0*. Por fim, uma análise técnica e econômica deste projecto. Dessa forma, concluiu-se que a implantação do sistema fotovoltaico é relevante de acordo com o porte da estação de tratamento de água, além da melhora nos custos de energia, transforma em uma comunidade mais sustentável e para uma produção e um consumo mais responsável com menor quantidade de emissões de dióxido de carbono.

Palavras-chave: Eficiência energética, estação de tratamento de água, sistema solar fotovoltaico.

Abstract

The high demand in the supply of electric energy associated with the invocation in the reduction of emissions to reduce the effects caused by global warming has increased the search for alternatives for the conservation of electric energy. In Brazil, the high costs associated with investments in the energy sector has been a problem over the past few years, which makes it essential to advance support and policies aimed at the rational use of energy.

Electricity consumption is essential in the management and operation of water supply systems. The efficient use of electric energy, in addition to allowing a financial return for the reduction of water production costs, allows for a more favorable use of the existing civil and electromechanical infrastructure, and the application of “saved” resources to expand the systems.

In this sense, this thesis allows to carry out a technical and economic analysis of a Water Treatment Station in search of energy efficiency, consequently reducing electricity costs, through the implementation of a photovoltaic solar system according to a collected area. .

From the defined area, the project was elaborated and produced a simulation using the PVsyst software and finally a technical and economic analysis of the project. Thus, we conclude that the implementation of the photovoltaic system is relevant according to the size of the Water Treatment Station, in addition to the improvement in energy costs, it transforms into a more sustainable community and for more responsible production and consumption with a reduced amount of carbon dioxide.

Keywords: Energy efficiency, water treatment plant, photovoltaic solar system.

Índice

Originalidade e Direitos de Autor	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Quadros.....	xii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiii
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
2. Revisão bibliográfica	4
2.1. Estação de tratamento de água para abastecimento	4
2.2. Resoluções normativas de energia do Brasil	6
2.2.1. Considerações gerais	6
2.2.2. Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica	7
2.2.3. Resolução Normativa 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica	7
2.2.4. Sistema tarifário brasileiro	10
2.2.5. A tarifa de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água	13
2.3. Energia solar fotovoltaica	14
2.3.1. Funcionamento da energia fotovoltaica.....	16
2.3.1.1. Geração de energia solar <i>Off-Grid</i> e <i>On-Grid</i>	17
2.3.1.2. Geração <i>Off-Grid</i>	18
2.3.1.3. Geração <i>On-Grid</i>	19
2.3.1.4. Elementos do sistema de geração de energia On-Grid.....	20
2.4. Eficiência energética no saneamento	23
2.4.1. Estudo de caso: estação de tratamento de águas residuárias de Mogi-Mirim, São Paulo.	23
2.4.2. Universalização do saneamento	25
3. Metodologia de abordagem	26
3.1. Caracterização da área em estudo	26
3.1.1. Caracterização da estação de tratamento de água de Dourados-MS	27

3.1.2.	Escolha do local adequado para implantação dos painéis solares	28
3.2.	Dimensionamento do sistema - PVsyst	29
3.3.	Análise financeira	29
3.3.1.	<i>Payback</i> simples	30
4.	Resultados e discussão.....	31
4.1.	Área de implantação.....	31
4.2.	Dados de incidência de luz solar	32
4.3.	Dimensionamento	33
4.4.	Elementos do sistema.....	33
4.4.1.	Painel solar	33
4.4.2.	Inversor.....	34
4.4.3.	Estrutura de fixação.....	35
4.4.4.	Outros elementos do sistema fotovoltaico.....	36
4.5.	Estimativa de geração.....	36
4.6.	Análise financeira	38
4.6.1.	Custo do projecto.....	38
4.7.	Balanço de dióxido de carbono (CO₂)	43
4.8.	Resumo do projecto	44
5.	Conclusão.....	45
	Referências Bibliográficas	47
	Anexos.	49

Lista de Figuras

Figura 1– Etapas dos processos de uma estação de tratamento de águas (SABESP, 2020) ..	4
Figura 2– Condições sobre Micro e mini geração distribuída (ANEEL, 2015)	10
Figura 3– Curva típica de carga do sistema elétrico nacional (ANEEL, 2015)	11
Figura 4 – Característica sazonal do consumo de eletricidade (ANEEL, 2015)	11
Figura 5 – Funcionamento de uma célula fotovoltaica (Bluesol, 2017).....	17
Figura 6 – Sistema Off-Grid (EnergyTec, 2016).....	18
Figura 7 – Sistema On-Grid (EnergyTec, 2016)	19
Figura 8 – Módulo fotovoltaico de silício monocristalino (Portal da Energia, 2019).....	20
Figura 9 – Funcionamento de um inversor CC-CA (Gazoli, 2012)	21
Figura 10 – Inversor Solar (Portal da Energia, 2019).....	22
Figura 11 – String Box (Portal da Energia, 2019).....	22
Figura 12 – Medidor de Energia Bidirecional (Portal de Energia, 2019).....	23
Figura 13- – Sistema de Energia Fotovoltaica na Estação de Tratamento de Águas de Mogi Mirim- SP (Sabesp, 2019)	24
Figura 14 – Diagrama da metodologia	26
Figura 15 – Mapa de localização do município de Dourados, Mato Grosso do Sul (IBGE adaptado, 2017)	26
Figura 16 – Estação de Tratamento de Água Tratada do município de Dourados, Mato Grosso do Sul (SANESUL, 2020)	27
Figura 17 – Área de implantação dos painéis fotovoltaicos (Google Earth, 2020).....	31
Figura 18 – Simulação de instalação dos painéis fotovoltaicos no SketchUp.....	32
Figura 19 – Disposição dos módulos solares (PVsyst 7.0, 2020)	34
Figura 20- – Inversor SMA (SMA Solar, 2020).....	35
Figura 21- – Estrutura Solar Romagnole RS-232 (Romagnole, 2020).....	35
Figura 22 – Estimativa de produção anual de energia (PVsyst 7.0, 2020).....	36
Figura 23 – Diagrama de perdas do sistema (PVsyst 7.0, 2020).....	38

Figura 24- Produção Anual de Energia (Próprio Autor, 2020)	42
Figura 25 – Lucro Líquido Anual (PVsyst 7.0 adaptado, 2020)	42
Figura 26 – Fluxo de Caixa Cumulativo (PVsyst 7.0 adaptado, 2020).....	43
Figura 27 – Balanço de CO2 (PVsyst 7.0, 2020)	44

Lista de Tabelas

Tabela 1– Volume de água e consumo de energia da Estação de Tratamento de Águas de Dourados-MS (SANESUL adaptado, 2020)	28
Tabela 2 – Dados de irradiação na área de instalação dos painéis fotovoltaicos (PVsyst 7.0, 2020).....	33
Tabela 3 – Componentes do Sistema Fotovoltaico	36
Tabela 4 – Geração ao longo do ano e principais resultados (PVsyst 7.0, 2020).....	37
Tabela 5 – Orçamento dos componentes do projecto (Fornecedor Solar, 2020)	39
Tabela 6 – Variáveis econômicas	39
Tabela 7 – Análise Financeira do Projecto	40
Tabela 8 – Análise Financeira do Projecto	44

Lista de Quadros

Quadro 1- Vantagens e desvantagens dos sistemas On-Grid e Off-Grid (Próprio Autor, 2020)	17
--	----

Lista de Siglas e Acrónimos

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
ETA	Estação de Tratamento de Águas
FV	Fotovoltaico
MPPT	Maximum Power Point Tracker
ONU	Organização das Nações Unidas
SANESUL	Empresa de Saneamento Básico de Mato Grosso do Sul
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do Brasil

1. Introdução

1.1. Enquadramento

De acordo com a Organização das Nações Unidas (2015), a demanda por água é prevista para aumentar 55% até 2050. O setor do saneamento desafia grandes problemas no contexto de água e energia para garantir o fornecimento sustentável para a população. A energia consumida para distribuir água chega a 7% do consumo energético mundial, sendo que em torno de 80% dos custos de distribuição de águas municipais são resultantes da eletricidade (TRIPATHI, 2007).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento do Brasil (2018), as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento participantes do SNIS atingem R\$ 6,19 bilhões, com consumo de 11,5 TWh com abastecimento de água, o que representa aproximadamente 5% da eletricidade do país (BRASIL, 2018).

Atualmente, novas alternativas devem ser encontradas, direcionando a atenção no uso racional da energia. Dentre as energias renováveis, a que vem apresentando um maior crescimento é a energia solar fotovoltaica, por possibilitar a geração e distribuição de energia “limpa”, ou seja, sem causar impactos negativos ao meio ambiente.

O consumo energético neste setor carece de mais estudos e necessita de mais exploração no Brasil. Dentro desse contexto, esta tese traz uma alternativa de implementação de energia fotovoltaica com a finalidade de reduzir os custos associados a energia elétrica nas estações de tratamento e abastecimento. Uma vez que a energia solar, é considerada uma das mais sustentáveis e limpas por não possuir partes móveis, nem poluição sonora, além da baixa manutenção, e também não emite nenhum tipo de gases durante sua operação. Assim, esta dissertação tem o propósito de dar base a estudos futuros em eficiência energética nas estações de tratamento e abastecimento de água.

1.2.Objectivos

Esta dissertação tem por objectivo apresentar uma medida de produção energética através da promoção de um sistema solar fotovoltaico, para redução do custo operacional de energia eléctrica na Estação de Tratamento de Águas para Abastecimento de Dourados e realizar uma análise custo/benefício deste processo.

Para alcançar esse objectivo geral, implica que sejam atingidos os seguintes objectivos específicos:

- Realizar uma revisão da literatura sobre estações de tratamento de águas para abastecimento, resolução normativa, as medidas tarifárias, a eficiência energética e os custos operacionais;
- Definir uma metodologia e *software* de trabalho que permita proceder o desenvolvimento da intersecção em estudo;
- Obter e compilar dados de energia disponibilizados pela entidade responsável;
- Desenvolver e validar o sistema de energia fotovoltaica aplicado e avaliar suas variáveis/desempenho;
- Por fim, realizar uma avaliação financeira e fazer uma relação custo/benefício da implantação desse sistema.

1.3.Estrutura da dissertação

Para além deste primeiro capítulo que introduz a dissertação através do enquadramento do problema, os parágrafos seguintes apresentam uma breve descrição do conteúdo presente em cada capítulo.

Neste primeiro capítulo, além de uma introdução ao tema da dissertação, apresenta-se seu enquadramento e objetivos do estudo.

No capítulo 2 é realizada uma breve revisão do estado da arte, em que é feito uma pesquisa crítica da literatura correspondente.

No capítulo 3 é apresentado a metodologia aplicada, demonstrando os dados relacionados a Estação de Tratamento de Águas, o *software* e a análise financeira utilizada.

No capítulo 4 é feito a análise e discussão dos resultados obtidos e no capítulo 5 é exposto as conclusões do trabalho e algumas recomendações.

2. Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, em que consiste resumir as informações existentes sobre o tema. Iniciando a explicar o funcionamento das etapas de tratamento da estação de tratamento de águas para abastecimento. Em seguida, argumentar sobre as resoluções normativas relacionadas com a produção de energia fotovoltaica e sobre o sistema tarifário brasileiro público e no sistema de abastecimento de água.

2.1. Estação de tratamento de água para abastecimento

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é o local onde a água será tratada de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade. O processo convencional de tratamento de água é dividido em fases. E em cada uma delas existem um rígido controle de dosagem de produtos químicos e acompanhamento dos padrões de qualidade (TSUTIYA, 2006).

Portanto, define-se o tratamento de água como “uma sequência de operações que conjuntamente consistem em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano” (FERNANDES, 2007). A Figura 1 demonstra as etapas dos processos de uma estação de tratamento.

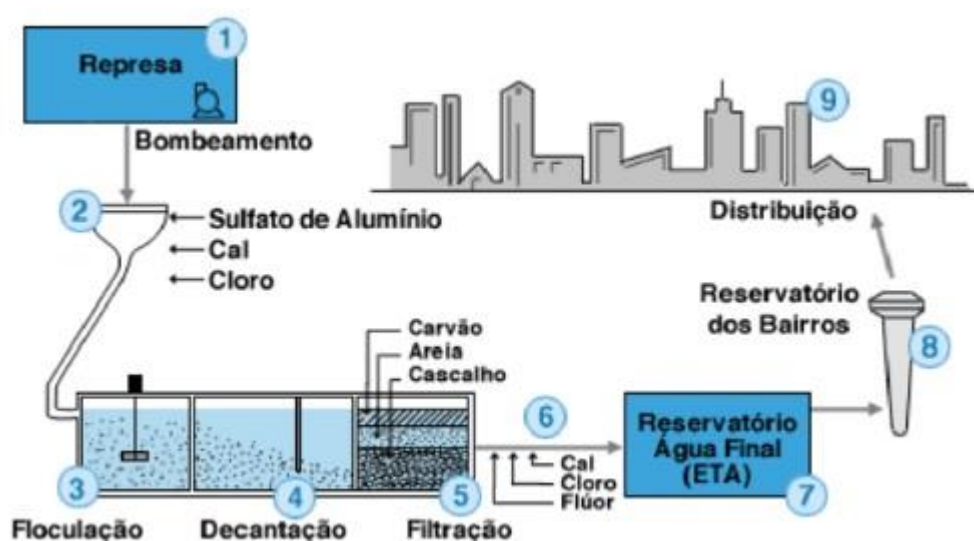


Figura 1– Etapas dos processos de uma estação de tratamento de águas (SABESP, 2020)

E em cada um dos processos existem um rígido controle de dosagem de produtos químicos e acompanhamento dos padrões de qualidade. As etapas do tratamento são as seguintes:

- Pré-cloração: O cloro é adicionado assim que a água chega à estação. Isso facilita a retirada de matérias orgânicas e metais.
- Pré-alkalinização: Depois do cloro, a água recebe cal, que servem para ajustar o pH aos valores exigidos nas fases seguintes do tratamento.
- Coagulação: Nesta fase, é adicionado sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de uma agitação violenta da água. Assim, as partículas de sujeira ficam eletricamente desestabilizadas e mais fáceis de agregar.
- Flocculação: Após a coagulação, há uma mistura lenta da água, que serve para provocar a formação de flocos com as partículas.
- Decantação: Neste processo, a água passa por grandes tanques para separar os flocos de sujeiras formados na etapa anterior.
- Filtração: Logo depois, a água atravessa tanques formados por pedras, areia e carvão antracito. Eles são responsáveis por reter a sujeira que restou da fase de decantação.
- Pós-alkalinização: Em seguida, é feita a correção final do pH da água para evitar a corrosão ou incrustação das tubulações.
- Desinfecção: É feita uma última adição de cloro no líquido antes de sua saída da Estação de Tratamento. Ela garante que a água fornecida chegue isenta de bactérias e vírus até o consumidor.
- Fluoretação: O flúor também é adicionado à água. A substância ajuda a prevenir cáries.

É importante destacar que nem toda água requer tratamento para abastecimento público, ou seja, o tratamento deverá ser realizado quando for realmente comprovada a sua necessidade, sempre que a purificação for comprovada e, deverá compreender apenas os processos imprescindíveis à obtenção da qualidade desejada para fins de abastecimento público (DI BERNARDO, 1993).

2.2. Resoluções normativas de energia do Brasil

2.2.1. Considerações gerais

A comercialização da energia elétrica compreende um conjunto de ações orientadas, aplicadas em determinados segmentos de mercado, cujos resultados esperados devem atender as diretrizes definidas no processo de planejamento da concessionária, visando o cumprimento de seus objetivos.

Portanto, a definição de programas de comercialização tem como base o estudo permanente do mercado, no sentido de identificar características próprias de determinados segmentos, que possam ser traduzidas em oportunidades para a oferta de determinados produtos - diferentes modalidades de fornecimento de energia, os quais são desenvolvidos e apresentados sob a forma de programas, que atendem aos interesses do mercado, bem como as diretrizes da Empresa. O conhecimento detalhado das características do sistema tarifário constitui de imediato, a primeira alternativa a ser estudada com o objetivo de reduzir os custos com energia elétrica.

A estrutura tarifária é um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas de acordo com a modalidade de fornecimento, que pode ser em baixa tensão ou alta tensão.

Segundo Costa (2006), “o preço público da eletricidade, ou tarifa, é a prestação a pagar por um serviço não obrigatório, mas essencial para o progresso, organizado em tabelas, cujo conhecimento deve estar ao alcance de qualquer consumidor”. As tarifas de energia elétrica são determinadas pela entidade que regula o setor elétrico brasileiro, denominada Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

A ANEEL foi criada na década de 90 quando teve início a reestruturação do setor elétrico brasileiro. A estrutura do setor, inicialmente monopolista e centralizada, passou por uma reestruturação com a privatização das companhias de energia elétrica, segundo um modelo adotado mundialmente que dividiu a indústria de energia em quatro segmentos: Geração, transmissão, distribuição e comercialização.

Trata-se de uma autarquia vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Suas atribuições consistem em regular e fiscalizar os segmentos de geração, transmissão, distribuição e

comercialização de energia elétrica, bem como mediar os conflitos de interesses entre os agentes do setor elétrico e os consumidores. Entre outros encargos se destaca a garantia de tarifas justas e a qualidade do serviço fornecido pelas concessionárias aos consumidores, além de ser responsável por promover e estabelecer os pontos regulatórios para a competição do setor. Para atingir estas finalidades a ANEEL conta com a descentralização de suas atividades para as agências reguladoras estaduais que firmam convênios entre os Governos Estaduais e o Governo Federal.

A configuração atual do sistema tarifário brasileiro foi definida praticamente em um único instrumento legal: a resolução N° 687/2015 da ANEEL. Portanto, para entender este sistema e onde nele se encaixam as empresas de abastecimento de água, analisaremos esta resolução com mais detalhes, posteriormente.

2.2.2. Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica

A normativa N° 482 da ANEEL foi a primeira que estabeleceu e descreveu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica. Esta normativa, divulgada em abril de 2012, foi uma providência importante e necessária para a organização da implantação dos sistemas fotovoltaicos não isolados. A normativa em questão define os níveis de potência classificados como microgeração e minigeração, define as responsabilidades específicas para o consumidor e para a concessionária de eletricidade, além de definir prazos para utilização dos créditos gerados pelo consumidor. Em 24 de novembro de 2015, em torno de três anos mais tarde, a ANEEL abrange as possibilidades e altera a resolução normativa N°482 e os módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST (ANEEL, 2015), onde as mudanças e novas possibilidades serão apresentadas no seção 2.2.3.

2.2.3. Resolução Normativa 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica

Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. A atual Normativa N° 687 (ANEEL, 2015), que alterou a resolução N°482, redefine as potências que correspondem a minigeração e microgeração distribuída no Art.2º, sendo:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015);

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

A norma também define o sistema de compensação de energia elétrica, onde a energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição é contabilizada e disponibilizada para a unidade consumidora usufruir em até 60 meses.

A Normativa Nº 687 permite que sistemas fotovoltaicos sejam compartilhados. Nesta nova modalidade de utilização do sistema de compensação é possível que empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras usufruam de um mesmo sistema solar de geração de energia elétrica.

É também permitido a configuração denominada de geração compartilhada, a qual através de cooperativa ou consórcio, a energia excedente pode ser compensada em local distinto da geração. Também é possível uma terceira configuração para o sistema de compensação de eletricidade, sendo este denominado de autoconsumo remoto, onde distintas unidades consumidoras de mesma titularidade física ou jurídica, incluídas matriz e filial, compensem eletricidade mesmo localizadas em diferentes endereços.

Para as três novas configurações citadas acima, é imprescindível que as unidades consumidoras e as unidades com microgeração ou minigeração estejam dentro da mesma área de concessão ou permissão. A definição das novas modalidades de compensação de eletricidade é apresentada nos itens VI, VII e VIII do Art. 2º da normativa Nº 687 (ANEEL, 2015) da seguinte maneira:

VI – empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso

comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (ANEEL, 2015);

VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2015);

VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada (ANEEL, 2015).

É importante ressaltar que a potência da microgeração e da minigeração distribuída fica limitada ao mesmo valor da potência disponibilizada pela concessionária ao consumidor onde há geração instalada. Caso o consumidor deseje instalar central geradora com potência superior a potência disponibilizada pela concessionária, deve-se então solicitar à distribuidora de energia o aumento da potência disponibilizada, sendo dispensado o aumento. A Figura 2 mostra um resumo de algumas condições da resolução normativa para micro e mini geração distribuída.

Fonte de Energia	<ul style="list-style-type: none">• Permitido o uso de qualquer fonte de energia renovável
Faixa de Potencia	<ul style="list-style-type: none">• Microgeração: Até 75 kW• Minigeração: 75 KW – 5 MW
Compensação de Energia	<ul style="list-style-type: none">• Compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais• Prazo para utilizar os créditos: 5 anos
Geração Compartilhada	<ul style="list-style-type: none">• Geração distribuída em condomínios• Consórcio ou Cooperativa• Geração em terrenos afastados do local de consumo
Prazo para conexão	<ul style="list-style-type: none">• Prazo total da distribuidora: 34 dias

Figura 2– Condições sobre Micro e mini geração distribuída (ANEEL, 2015)

2.2.4. Sistema tarifário brasileiro

As tarifas de eletricidade em vigor possuem estruturas com dois componentes básicos na definição do seu preço (ANEEL, 2015):

- Componente relativo à demanda de potência (quilowatt ou kW);
- Componente relativo ao consumo de energia (quilowatt-hora ou kWh).

Até 1981, o único sistema utilizado, denominado Convencional, não permitia que o consumidor percebesse os reflexos decorrentes da forma de utilizar a eletricidade, já que não havia diferenciação de preços segundo sua utilização durante as horas do dia e períodos do ano. Era indiferente para o consumidor utilizar a energia elétrica durante a madrugada ou no final da tarde, assim como consumir durante o mês de junho ou dezembro. Com isso, o perfil do comportamento do consumo ao longo desses períodos reflete uma tendência natural, vinculada exclusivamente aos hábitos de consumo e às características próprias do mercado de uma determinada região. O gráfico (Figura 3) mostra o comportamento médio do mercado de eletricidade, ao longo de um dia. Observa-se, no horário das 17 às 22 horas, uma intensificação do uso da eletricidade. Esse comportamento resulta das influências individuais das várias classes de consumo que normalmente compõem o mercado: industrial, comercial, residencial, iluminação pública, etc.

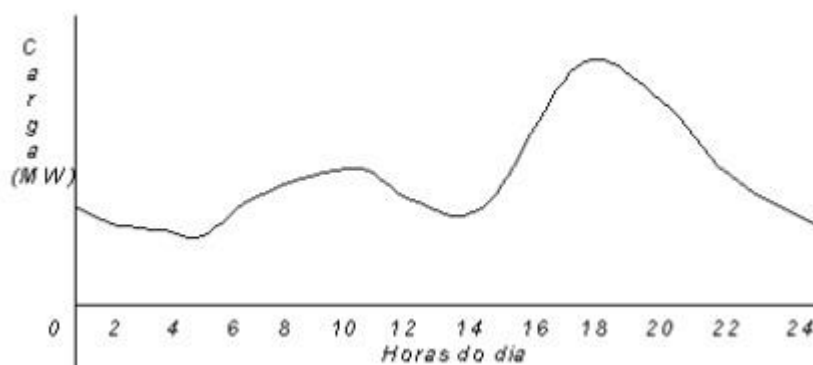


Figura 3– Curva típica de carga do sistema elétrico nacional (ANEEL, 2015)

O horário de maior uso, acima identificado, é denominado "horário de ponta" do sistema elétrico, e é justamente o período em que as redes de distribuição assumem maior carga, atingindo seu valor máximo aproximadamente às 18 horas, variando um pouco este horário de região para região do país. Devido à maior carga no sistema de distribuição neste horário, verifica-se que um novo consumidor a ser atendido pelo sistema custará mais à concessionária nesse período de maior solicitação do que em qualquer outro horário do dia, tendo em conta a necessidade de ampliação do sistema para atender ao horário de ponta. Da mesma forma, o comportamento do mercado de eletricidade ao longo do ano tem características próprias, e pode ser visualizado na Figura 4.

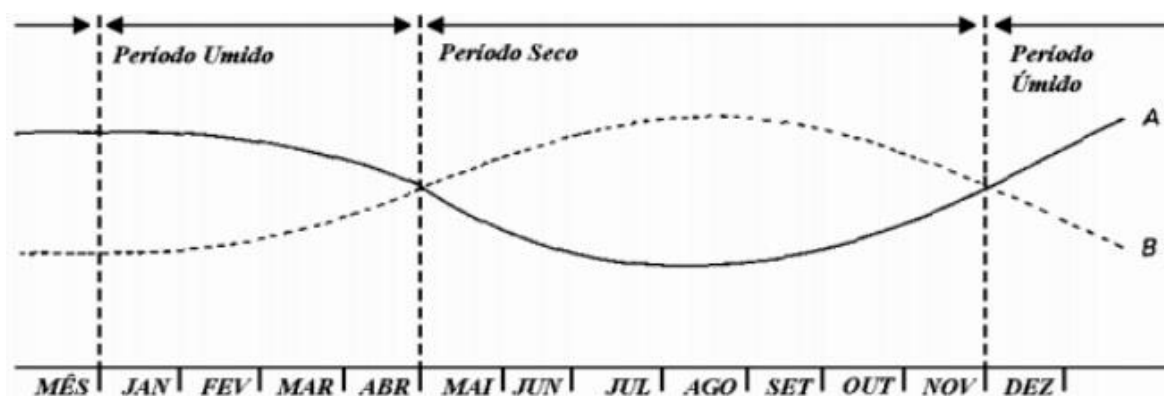


Figura 4 – Característica sazonal do consumo de eletricidade (ANEEL, 2015)

A curva de traço contínuo representa a disponibilidade média de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas, constituindo o potencial predominante de geração de eletricidade. A curva pontilhada representa o comportamento médio do mercado de energia elétrica a nível

nacional, assumindo um valor máximo justamente no período em que a disponibilidade de água fluente nos mananciais é mínima. Este fato permite identificar, em função da disponibilidade hídrica, uma época do ano denominada "período seco", compreendido entre maio e novembro de cada ano, e outro denominado "período úmido", de dezembro de um ano até abril do ano seguinte.

O atendimento ao mercado no período seco só é possível em virtude da capacidade de acumulação nos reservatórios das usinas que estocam a água afluyente durante o ano. Assim, o fornecimento de energia no período seco tende, também, a ser mais oneroso, pois leva à necessidade de se construir grandes reservatórios, e eventualmente, operar usinas térmicas.

Devido a estes fatos típicos do comportamento da carga ao longo do dia, e ao longo do ano em função da disponibilidade de água, foi concebida a Estrutura Tarifária Horo-Sazonal (ANEEL, 2015), com suas tarifas, Azul e Verde, que compreendem a sistemática de aplicação de tarifas e preços diferenciados de acordo com o horário do dia (ponta e fora de ponta) e períodos do ano (seco e úmido).

Tarifa Azul

A tarifa azul é uma modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia, ou seja, a tarifa azul se caracteriza pela cobrança de demanda de potência (kW) e consumo de energia (kWh) onde os preços se encontram segmentados da seguinte forma:

- Demanda de potência (kW)
 1. Um preço para ponta;
 2. Um preço para fora de ponta;
- Consumo de Energia (kWh)
 1. Um preço para ponta em período úmido;
 2. Um preço para fora de ponta em período úmido;
 3. Um preço para ponta em período seco;
 4. Um preço para fora de ponta em período seco.

Aplicar-se-á obrigatoriamente às unidades consumidoras do grupo A, com tensão de fornecimento superior a 69 kV. Pode ser aplicada a consumidores com tensão de fornecimento inferior a 69kV desde que a demanda contratada seja superior a 30 kW.

Tarifa Verde

A tarifa verde é uma modalidade estruturada para aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e os períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência. A tarifa verde se caracteriza pela cobrança de demanda de potência (kW) e consumo de energia (kWh), no entanto se diferencia da tarifa azul na medida em que não diferencia horário nem época do ano na cobrança de demanda. Além disso, o preço do kWh em horário de ponta é aproximadamente cinco vezes superior ao cobrado em horário fora ponta. A tarifa verde será aplicada segundo a seguinte estrutura:

- Demanda de potência (kW)
 1. Um preço único (independente de período e horário);
- Consumo de Energia (kWh)
 1. Um preço para ponta em período úmido;
 2. Um preço para fora de ponta em período úmido;
 3. Um preço para ponta em período seco;
 4. Um preço para fora de ponta em período seco.

A tarifa verde será aplicada por opção a todos os consumidores do grupo A com tensão de fornecimento inferior a 69 kV desde que a demanda contratada seja superior a 30 kW.

2.2.5. A tarifa de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água

Devido à elevada presença de motores em todo o sistema de abastecimento de água, as empresas deste setor se revelam como grandes consumidores de energia elétrica. De facto, segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, as empresas do setor de saneamento consumiram no ano de 2014 aproximadamente 9,47 TWh, o que corresponde a 2,32% do consumo nacional para este ano segundo o Balanço Energético Nacional 2014. Cerca de 95% do consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água é

atribuível aos sistemas de bombeamento. A menor parcela é destinada a sistemas auxiliares e à iluminação (TSUTIYA, 2001). O custo operacional com energia elétrica é ainda potencializado pelo fato de que o regime de operação das unidades ser quase sempre permanente, salvo quando há reservação. Assim, a energia figura como o segundo item na composição média das despesas de operação, ficando atrás apenas das despesas com pessoal próprio.

Como forma de subsidiar as empresas de abastecimento de água, é concedido um desconto na tarifa para a classe Serviço Público de Água, Esgoto e Saneamento. A evolução das tarifas de energia elétrica aplicadas ao saneamento nos mostra que com o passar dos anos, houve uma diminuição significativa nos descontos dados às empresas deste segmento. No fim da década de 60 este desconto era de 80%, passando a 30% na década de 70 e a 15% na década de 80. Hoje este desconto é de 15%. A diminuição deste desconto aliado ao aumento das tarifas acima da média da inflação são as principais causas deste grande impacto das tarifas no custo operacional das empresas.

2.3. Energia solar fotovoltaica

O princípio da energia fotovoltaica surgiu em 1839 com a descoberta de Edmond Becquerel, que consistia na observação do surgimento de uma diferença de potencial (D.D.P.) nos terminais de uma célula eletroquímica quando esta era exposta à luz. Com o aparecimento de pesquisas e estudos sobre o assunto, por volta de 1956, deu-se início à produção industrial, juntamente com o advento da eletrônica e dos semicondutores.

Desde o princípio da fabricação em massa, esta tecnologia esteve em constante ascensão, principalmente por motivos políticos e de crises energéticas, tendo por exemplo a chamada "corrida espacial" entre Estados Unidos e a extinta URSS e, também, a crise do petróleo de 1973.

As vantagens desse tipo de geração de energia elétrica são a inexistência de partes móveis, uma rápida instalação, a baixa manutenção, a característica modular e o elevado grau de confiabilidade (RÜTHER, 2004), além de ser não-poluente e ser silenciosa e renovável.

Embora a disponibilidade de energia solar seja vasta, a produção de energia fotovoltaica ainda pode ser considerada reduzida. Esta realidade pode ser encontrada, principalmente, em países emergentes. Entretanto, no mundo, a China vem se destacando na fabricação e instalação de centrais de geração solar de grande porte. Analisando a produção mundial, a China atingiu, no final de 2018, o total de 176,1 GW de potência fotovoltaica acumulada, sendo 45 GW instaladas apenas no ano de 2018 (ABSOLAR, 2019). A nível de comparação, em 2014, a potência instalada de geração solar no mundo era de 180 GW.

No Brasil, apenas no ano de 2018, foram instalados 1,2 GW, totalizando 2,4 GW de capacidade instalada acumulada. Mesmo ainda sendo pouco para a disponibilidade existente, isso indica um cenário otimista de crescimento para os próximos anos. O Ministério de Minas e Energia (2015) estima que, no ano de 2050, 18 % das residências contarão com o sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica. Atualmente, o Brasil atingiu a marca de 138.086 sistemas solares fotovoltaicos conectados à rede, o que totaliza 1.588,9 MW de potência instalada em geração distribuída.

Os principais benefícios da fonte ao Brasil, segundo a ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, são, nas seguintes esferas:

- Esfera Socioeconômica:

- Redução de gastos com energia elétrica para a população, trazendo economia para a sociedade.
- Líder em geração de empregos locais de qualidade, adicionando de 25 a 30 empregos por MW/ano.
- Atração de capital externo e novos investimentos privados ao País.

- Esfera Ambiental:

- Geração de eletricidade limpa, renovável e sustentável, sem emissões de gases de efeito estufa, sem resíduos e sem ruídos.
- Não precisa de água para operar, aliviando a pressão sobre recursos hídricos escassos.
- Baixo impacto ao meio ambiente.

- Esfera Estratégica:

- Diversificação da matriz elétrica brasileira com uma nova fonte renovável, aumentando a segurança no suprimento de energia elétrica.
- Redução de perdas e postergação de investimentos em transmissão e distribuição.
- Alívio da demanda elétrica em horário diurno, reduzindo custos aos consumidores.

2.3.1. Funcionamento da energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico é a geração de corrente ou tensão através da exposição à luz de um material semicondutor que, neste estudo, trata-se do Silício. Encontrado de maneira abundante na natureza, o Silício, quando beneficiado de forma correta, pode atingir pureza de até 99,999% e formar cristais os quais não possuem boa condutividade elétrica. Entretanto, quando dopado com Fósforo, torna-se Silício tipo N, que é semicondutor com apenas um elétron na camada de valência. Este elétron não está totalmente livre, embora necessite apenas de uma pequena quantia de energia para ser liberado. Do mesmo modo, quando dopado com Boro, torna-se Silício tipo P, que possui a ausência de um elétron, denominado de lacuna. Portanto, deseja receber um elétron para se tornar estável (TOLMASQUIN, 2003).

A junção de uma fina camada de Silício do tipo N e uma mais espessa do tipo P forma o que é conhecido como junção PN. Deste modo, elétrons da parte N migram para a parte P até atingirem o equilíbrio elétrico da junção. Ao serem expostos à luz, absorvem fótons, que culminam na passagem de elétrons da camada de valência para a banda de condução, dando origem a um campo elétrico interior à junção. Por consequente, uma corrente elétrica tende a atravessar a carga externa. O valor desta corrente em relação à carga depende da intensidade luminosa disponível (TOLMASQUIN, 2003). A Figura 5 ilustra este processo.

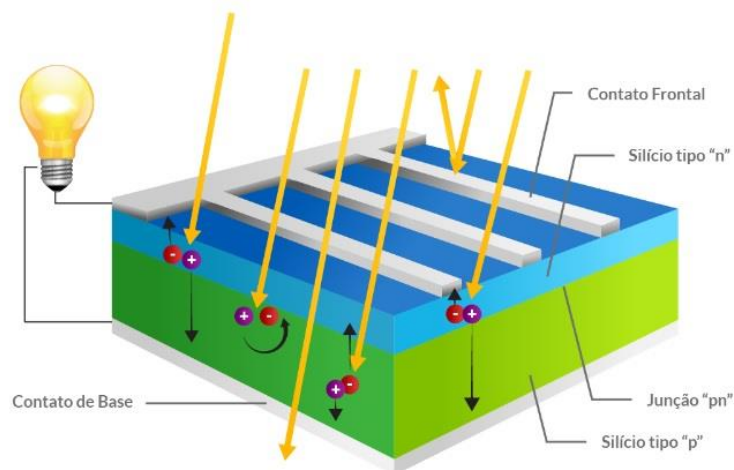


Figura 5 – Funcionamento de uma célula fotovoltaica (Bluesol, 2017)

2.3.1.1. Geração de energia solar *Off-Grid* e *On-Grid*

A geração de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos divide-se em duas categorias: *Off-Grid* e *On-Grid*. A escolha entre os dois modos é definida pela disponibilidade (ou necessidade) de uma rede de distribuição nas proximidades. Esta decisão impacta diretamente o custo geral do sistema (SANTOS, 1997). No Quadro 1 apresenta algumas vantagens e desvantagens entre os dois tipos de sistemas.

Quadro 1- Vantagens e desvantagens dos sistemas *On-Grid* e *Off-Grid* (Próprio Autor, 2020)

Sistemas	Vantagens	Desvantagens
ON-GRID	Custo reduzido	Pagamento do custo de disponibilidade (o mínimo pelo uso da rede)
	Dispensa a utilização de baterias e sistema de cargas	
	Mais eficiência	
	Projeto mais equilibrado	
	Sistema de compensação de créditos	
	Possibilidade de utilizar créditos em outra unidade consumidora	
	Riscos técnicos reduzidos por contar com a rede distribuidora	
OFF-GRID	Pode ser utilizado em regiões remotas	Custo mais elevado
	Possui sistema de armazenamento de energia	Menos eficiente
	Não há custo de disponibilidade	Depende de baterias e sistema de carga

2.3.1.2. Geração *Off-Grid*

O sistema de geração solar fotovoltaico *Off-Grid* ou isolado não é conectado à rede de distribuição pública. Por esta caracterização, precisa armazenar energia para períodos em que não a irradiação solar não é suficiente para suprir as cargas sem que haja problemas na operação deste sistema. Para isto, utiliza bancos de baterias estacionárias. Além das baterias, este sistema requer o uso de controladores de carga e, opcionalmente, inversor de tensão CC-CA, caso as cargas a serem alimentadas necessitem de corrente alternada para o seu funcionamento. A Figura 6 mostra, de maneira simplificada, um sistema isolado.

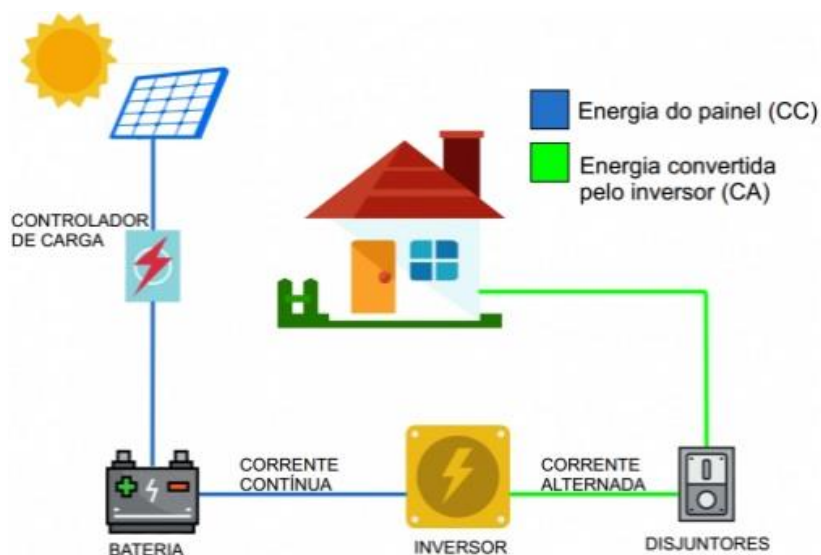


Figura 6 – Sistema Off-Grid (EnergyTec, 2016)

Como não necessita de uma fonte complementar de energia externa proveniente de uma rede de distribuição, esta modalidade de geração solar é indicada para residências em locais onde as concessionárias não atendem e aplicações onde não pode haver a interrupção de energia como, por exemplo, em alarmes, câmeras de segurança, estações de monitoramento, sistemas de telecomunicações, entre outras.

Embora seja uma opção aplicável em algumas situações, ela se apresenta mais onerosa do que o modo *On-Grid*, tendo em vista que, além do custo associado aos controladores de carga, a necessidade de baterias estacionárias torna o conjunto gerador mais caro em seu custo inicial e, posteriormente, na manutenção, uma vez que as baterias utilizadas têm vida útil em média 10 anos.

2.3.1.3. Geração *On-Grid*

Geradores solares fotovoltaicos *On-Grid* possuem conexão com a rede de distribuição da concessionária e que será o foco principal do estudo abordado neste trabalho. Diferentemente do *Off-Grid*, este modo não tem a necessidade de armazenamento de energia e seu objetivo principal é reduzir os custos de energia elétrica e/ou criar um saldo positivo junto à concessionária, tendo a garantia de fornecimento de energia da rede pública caso as condições de irradiação solar não sejam favoráveis (MELO, 2020).

Este modelo de geração difere do anterior pela ausência de baterias e controladores de carga. O inversor CC-CA (Corrente Contínua para Corrente Alternada) é específico para esta finalidade. A Figura 7 mostra um exemplo de sistema gerador *On-Grid*.



Figura 7 – Sistema *On-Grid* (EnergyTec, 2016)

Observa-se a inclusão de elementos extras na Figura 7, dentre eles: medidor bidirecional, que é fornecido pela concessionária local e faz a leitura do consumo e do excedente de energia gerada (fundamental para que o sistema de compensação seja válido); quadro de distribuição e de entrada (são os já existentes e pertencentes ao empreendimento); além da string-box, que é um conjunto de equipamentos de proteção contra surtos, descargas atmosféricas e curto-circuitos, que não está sendo exibido na imagem, porém de suma importância na conexão entre os módulos fotovoltaicos e inversor.

2.3.1.4. Elementos do sistema de geração de energia *On-Grid*

Nesta parte serão descritos os componentes do sistema de geração de energia solar *On-Grid*, desde a recolha da energia radiada pelo sol, até a transformação em energia elétrica em corrente alternada. Estes equipamentos tem a função de captar, converter, garantir a segurança do sistema e medir o quanto de energia elétrica foi gerado. Os equipamentos são:

1. Módulo Solar Fotovoltaico

Módulo Solar Fotovoltaico está definido na Associação Brasileira de Normas Técnicas, norma NBR 10899, como um conjunto de células fotovoltaicas, tornando-se a unidade básica de um sistema solar fotovoltaico. É o responsável por captar a irradiação solar e a transformar em energia elétrica. Comparado com os demais componentes de um gerador solar fotovoltaico, possui eficiência baixa, com o melhor módulo acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) possuindo cerca de 21% de eficiência energética em abril de 2017. Para melhorar seu desempenho, são levados em consideração dados como inclinação do módulo e o seu material de fabricação (BESSO, 2017).

A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua. A corrente do gerador é definida pela conexão em serie e/ou paralelo dos módulos ou das *strings*. A potência instalada é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais (RÜTHER, 2004).

Dentre os painéis solares atualmente disponíveis no mercado, os módulos fotovoltaicos de Silício Policristalino (Figura 8), por serem mais baratos, são dominantes em número de vendas. Os módulos com células de Silício Monocristalino apresentam, no entanto, uma maior eficiência.



Figura 8 – Módulo fotovoltaico de silício monocristalino (Portal da Energia, 2019)

2. Inversor de Tensão CC-AC *On-Grid*

Os Inversores de Tensão CC-CA são equipamentos constituídos de dispositivos de chaveamento que fazem a conversão de corrente contínua, gerada nos módulos, para corrente alternada, usada nas redes de distribuição, estando sincronizado na mesma frequência, fase e nível de tensão. Para o sincronismo correto, utiliza-se de um sistema eletrônico de controle capaz de copiar as características da rede elétrica através de um sensor de tensão (GAZOLI, 2012). Um arranjo de inversor pode ser verificado na Figura 9.

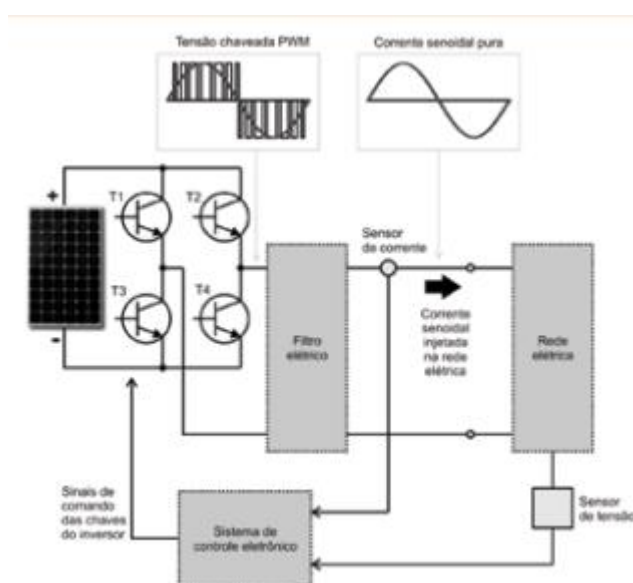


Figura 9 – Funcionamento de um inversor CC-CA (Gazoli, 2012)

Diferentemente dos painéis solares, inversores de tensão CC-CA possuem alta eficiência, variando entre 85 e 99 %, dependendo do modelo, tecnologia empregada e da potência na qual o inversor está operando. A alta eficiência, a contribuição tecnológica trouxe comodidade quanto ao monitoramento em tempo real da potência gerada e injetada na rede de distribuição. Muitos inversores contam com o envio de dados via conexão wireless; segurança através de sistemas anti-ilhamento, proteção contra sobrecorrente, sobretensão e surtos; e uso de algoritmos de MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracker*).

O MPPT tem por função operar sempre no ponto de máxima transferência de potência dos painéis para as cargas. Seu uso é necessário devido à natureza aleatória do funcionamento dos módulos fotovoltaicos (dependem da temperatura, radiação solar, entre outros fatores já

mencionados), permitindo a maximização da energia convertida (GAZOLI, 2012). A Figura 10 ilustra um modelo de conversor de tensão CC-CA.



Figura 10 – Inversor Solar (Portal da Energia, 2019)

3. *String Box*

Este equipamento tem por função servir como dispositivo de proteção. Embora sua composição possa se alterar de acordo com o projeto, normalmente é montado dentro de uma caixa com proteção e isolamento adequados. Possui entradas CC, que estão relacionadas aos cabos vindos das *strings*. Este lado da *String Box* conta com fusíveis, chaves seccionadoras CC e DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos). Um modelo é mostrado na Figura 11.



Figura 11 – String Box (Portal da Energia, 2019)

4. Medidor de Energia Bidirecional

O montante líquido de potência ativa consumida ou excedente injetada na rede de distribuição deve ser mensurado através de um medidor bidirecional de energia, o qual é fornecido e

instalado pela concessionária de energia elétrica no momento da vistoria final. O cálculo de potência ativa feito pelo medidor não requer complexidade. A análise leva em conta apenas a potência que entra da rede para as cargas, assim como quanto o sistema gerador injeta na rede.

$$P_{total} = P_{injetada} - P_{consumida} \quad (1)$$

Conforme esperado, para que o sistema gere créditos junto ao sistema de compensação, que será elucidado a seguir, é necessário que a potência gerada seja maior que a consumida. A Figura 12 apresenta um modelo de medidor de energia bidirecional.



Figura 12 – Medidor de Energia Bidirecional (Portal de Energia, 2019)

2.4. Eficiência energética no saneamento

2.4.1. Estudo de caso: estação de tratamento de águas residuárias de Mogi-Mirim, São Paulo.

A estação de tratamento de efluentes do município de Mogi Mirim, interior de São Paulo, passará a ser parcialmente abastecida por um sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

Segundo a Empresa de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP), o sistema fotovoltaico é composto por 1.073 painéis fotovoltaicos, e ocupam uma área de 2,1 mil

metros quadrados, instalados nos telhados dos prédios que estão no entorno da estação de tratamento e também na cobertura do estacionamento da concessionária local Serviços de Saneamento de Mogi Mirim (SESAMM).

O sistema possui uma potência de 402,375 kWp, energia suficiente para abastecer 370 unidades habitacionais. O projeto terá custo total de R\$ 1,7 milhão e cumpre todas as determinações da Resolução Normativa 482/687 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece os critérios para micro e minigeração de energia.

Com a instalação dos painéis fotovoltaicos, o objetivo para a estação de tratamento de esgoto de Mogi Mirim, que trata 150 litros por segundo de esgoto, com um consumo total de energia de 1,72 megawatts por ano, é que 40% do suprimento energético da estação seja provido pela energia solar. A Figura 13 mostra o sistema implantado na estação de tratamento.



Figura 13- – Sistema de Energia Fotovoltaica na Estação de Tratamento de Águas de Mogi Mirim-SP (Sabesp, 2019)

2.4.2. Universalização do saneamento

A lei 11.445/2007, do Brasil, definiu que a universalização do saneamento é um dos seus princípios fundamentais, conceituando-a como “ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico”. A universalização é o principal objetivo a ser alcançado, abrange abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, coleta e destinação adequada de resíduos sólidos (ABES, 2017).

Mais de 100 milhões de brasileiros não tem acesso ao serviço de esgoto. Por volta de 47% das obras de esgoto do PAC, monitoradas há 6 anos, estão em situação inadequada, apenas 39% dessas foram concluídas e 12% se encontram em situação normal (TRATA BRASIL, 2015).

Com índices preocupantes, a ideia de universalização do saneamento é cada vez de maior relevância, mas os custos não são baixos. O custo para universalizar o acesso aos 4 serviços do saneamento chega a R\$ 508 bilhões no período de 2014 a 2033 (TRATA BRASIL, 2015).

De acordo com SANESUL (2020) para cada metro de ampliação de rede de esgoto é gasto R\$ 45,95 e cada ligação domiciliar tem um custo de R\$ 382,71 em Dourados – MS para rede de distribuição de água, cada metro custa R\$ 11,98. Esses valores são grandes obstáculos para a conclusão do projeto, por isso o maior investimento nesse setor atingiria diversas áreas e traria grandes mudanças. A falta de coleta do esgoto é uma das grandes causadoras de doenças, com o investimento em coleta e tratamento desse efluente conseguir-se-ia resultados satisfatórios em saúde que está ligado diretamente com qualidade de vida.

3. Metodologia de abordagem

As etapas da metodologia para o desenvolvimento da implantação do sistema fotovoltaico na Estação de Tratamento de Águas podem ser resumidas na Figura 14.



Figura 14 – Diagrama da metodologia

3.1. Caracterização da área em estudo

Dourados é um município brasileiro da região Centro-Oeste localizado no estado de Mato Grosso do Sul a 230km da capital, Campo Grande. Dourados tem área de 205.990km² com 225.425 habitantes, de acordo com o último senso demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) (Figura 15).



Figura 15 – Mapa de localização do município de Dourados, Mato Grosso do Sul (IBGE adaptado, 2017)

3.1.1. Caracterização da estação de tratamento de água de Dourados-MS

A empresa responsável pelo sistema de abastecimento de água e distribuição do setor de estudo é a Empresa de Saneamento Básico de Mato Grosso do Sul (SANESUL), fundada em 26 de janeiro de 1979 por meio de um Decreto Estadual nº 071/79, a qual forneceu dados primários da ETA do município. É uma empresa de economia mista com autonomia administrativa e financeira e está vinculada ao Governo do Estado de Mato Grosso do Sul.

Os componentes do sistema de abastecimento de água do município de Dourados são compostos por: manancial superficial e subterrânea, captação por bombeamento, adução de água bruta, tratamento, reservatórios apoiados e elevados e distribuição cobrindo 100% da área urbana. A demanda atende 65.710 ligações (pontos de abastecimento) com um caudal de 1.850 m³/h (SANESUL, 2020).

Como mostra a Figura 16, estação de tratamento de água de Dourados possui um tratamento convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação) com 8 módulos. O conjunto de captação e distribuição conta com três motores com potências de 620cv e dois de 500cv (SANESUL, 2020).



Figura 16 – Estação de Tratamento de Água Tratada do município de Dourados, Mato Grosso do Sul (SANESUL, 2020)

A Tabela 1 mostra os dados referentes ao volume de água tratada e consumo de energia durante o segundo semestre de 2019 e o primeiro semestre de 2020, nota-se que os meses de novembro a fevereiro tem um aumento do consumo de água devido a época com temperaturas mais altas.

Tabela 1– Volume de água e consumo de energia da Estação de Tratamento de Águas de Dourados-MS (SANESUL adaptado, 2020)

Meses	Volume de Água Tratada (m³)	Consumo de Energia (MWh)
jul/19	783.658,0	2434
ago/19	755.201,0	2326
set/19	800.856,0	2704
out/19	739.277,0	2550
nov/19	888.672,0	2513
dez/19	888.886,0	2530
jan/20	882.672,0	2190
fev/20	841.809,0	2142
mar/20	810.386,0	2377
abr/20	744.162,0	2666
mai/20	834.206,0	2619
jun/20	812.204,0	2375
Total	9.781.989,0	29.426

3.1.2. Escolha do local adequado para implantação dos painéis solares

No local da Estação de Tratamento de Águas não possui grandes áreas edificadas com telhado, com isso a instalação dos painéis no solo é a mais adequada. A empresa forneceu um limite de área para implantação dos painéis de 4.000 metros quadrados. Trata-se de uma área que não possui sombreamento por edificações e vegetação, e que também não dificultará projetos futuros e ampliações da ETA.

3.2. Dimensionamento do sistema – *PVsyst 7.0*

Para o dimensionamento decidiu-se utilizar o software *PVsyst 7.0*, por ser gratuito durante um período, e também é de fácil aplicabilidade para dimensionar sistemas com fatores limitantes e realizar uma análise financeira prévia, dentre outros benefícios.

O *software* possui base de dados de incidências solares de várias regiões, e vários tipos de modelos de painéis e inversores, permite a escolha de várias alternativas de parâmetros de projeto, assim consegue-se atingir o melhor desempenho do sítio escolhido. Também leva em consideração diferentes tipos de perdas, e mostra o quanto esta irá intervir na simulação. No final é feito um relatório que contém dados económicos de investimento e retorno, além da descrição do sistema e perdas detalhadas.

Escolhido o tipo de projeto no programa, no caso, conectado a rede, e com os dados de localização geográfica (latitude e longitude), importam-se os dados de incidência solar da região através do banco de dados, e após a determinação da orientação azimutal e inclinação em que os painéis serão instalados, foi dimensionado o sistema de acordo com os componentes escolhidos e a área disponível de 4.000 metros quadrados.

Com o sistema dimensionado foi possível ter acesso a capacidade nominal de geração do sistema, e o próximo passo executado é a inclusão das perdas, exceto as perdas por sombreamento, a qual é inexistente.

Depois de dimensionado e calculado, já incluída todas as perdas, é possível analisar a geração estimada pelo relatório fornecido pelo programa, assim iniciou-se o processo de análise financeira.

3.3. Análise financeira

Depois do dimensionamento do sistema fotovoltaico, foi realizado uma análise financeira, na qual consiste em determinar o custo do projeto preliminar, para isso foi feito um orçamento de um fornecedor, do estado de Mato Grosso do Sul, de equipamentos fotovoltaicos (painel, inversor, dispositivos de proteção, estrutura, entre outros). Esses custos incluem, além dos materiais, o custo da mão de obra para a instalação do sistema e o custo de manutenção com

durabilidade de 30 anos. Depois do levantamento do custo total foi realizado um cálculo do *payback*.

3.3.1. *Payback*

O método pretende selecionar o projeto visando o período de recuperação investido, ou seja, tendo como critério o prazo em que todos os reembolsos igualem-se aos gastos realizados inicialmente (REBELLATTO, 2004). O *Payback* é calculado pelo valor do investimento inicial dividido pelo fluxo de caixa.

4. Resultados e discussão

4.1. Área de implantação

Para a escolha do local para implantação e distribuição dos painéis fotovoltaicos, foi levado em consideração a dimensão da área fornecida pela empresa, condições que facilitam a instalação e principalmente, distanciamento de objetos que poderiam causar sombreamento, o que reduziria a eficiência do projeto.

Na Figura 17 mostra que a área escolhida fica a noroeste da estação de tratamento de águas, próxima de um ponto com energia elétrica, é também um local que não possui um “projecto futuro”, ou seja, uma área que não seja utilizada para o crescimento da estação de tratamento.



Figura 17 – Área de implantação dos painéis fotovoltaicos (Google Earth, 2020)

A área tem dimensões, aproximadamente, de 72 metros de comprimento e 56 metros de largura, que equivale a uma área de 4032 metros quadrados. E encontra-se nas coordenadas geográficas de Latitude 22° 17'S e longitude 54° 49'W. Na Figura 18 mostra o esquema de instalação dos painéis fotovoltaicos.

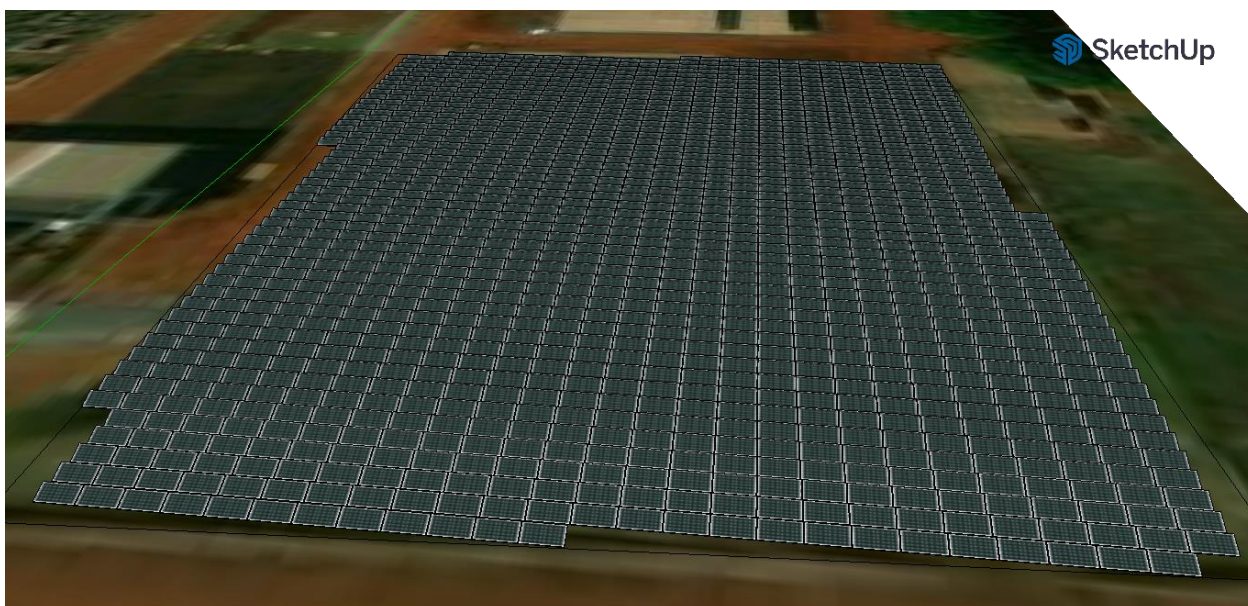


Figura 18 – Simulação de instalação dos painéis fotovoltaicos no *SketchUp*

4.2. Dados de incidência de luz solar

A incidência solar é, sobretudo, a radiação solar que incide sobre uma determinada área desejada. Para o projeto foi utilizado valores de radiação que continha na base de dados do *PVsyst 7.0*, a Tabela 2 mostra as irradiações globais e difusas, com estes valores já consegue calcular a produção do sistema com mais exatidão.

Tabela 2 – Dados de irradiação na área de instalação dos painéis fotovoltaicos (*PV_{sys} 7.0 adaptado, 2020*)

Meses	Irradiação Global (kWh/m ² .dia)	Irradiação Difusa (kWh/m ² .dia)
jul/19	3,97	1,41
ago/19	4,64	1,74
set/19	4,84	2,34
out/19	5,69	2,69
nov/19	6,30	2,55
dez/19	6,45	2,62
jan/20	6,21	2,65
fev/20	5,08	2,47
mar/20	5,38	2,53
abr/20	4,41	1,79
mai/20	4,25	1,44
jun/20	3,50	1,46

4.3. Dimensionamento

O critério utilizado para dimensionar o sistema foi o limite de área fornecida pela empresa, ou seja, instalar a capacidade máxima de painéis verificando a relação custo-benefício.

4.4. Elementos do sistema

4.4.1. Painel solar

Para o sistema foi utilizado painéis da *JinkoSolar Holdings Limited* (NYSE: JKS), que é uma empresa fotovoltaica altamente inovadora no mundo. A empresa fornece produtos solares, soluções e tecnologias para usinas de energia terrestres, clientes comerciais e civis na China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Reino Unido, Chile, África do Sul, Índia, México, Brasil, Emirados Árabes Unidos, Itália, Espanha, França, Bélgica e outras regiões.

As informações fornecidas dos painéis solares foram retiradas do *site* da empresa Jinkosolar:

- Modelo: JKM 440 Mocrystalino
- Número de Células: 144
- Dimensões: 2166 x 1002 x 35mm
- Potência Nominal: 0,44 kWp
- Fabricante: Jinkosolar

Para o sistema foram utilizados 1.728 painéis fotovoltaicos, ligados 27 painéis em série com 64 *strings* em paralelo, que ocupa uma área de 3845 metros quadrados fora as estruturas de fixação. Para maximizar o aproveitamento da irradiação solar, é necessário que os painéis sejam instalados com determinada inclinação, portanto a orientação dos painéis possui uma inclinação de 22° e azimute 0°. Além disso, a inclinação serve também proteger de acúmulos de sujeiras. Na Figura 19 mostra que a perda com relação ao plano de instalação é de zero, indica que a orientação dos painéis está na eficiência máxima.

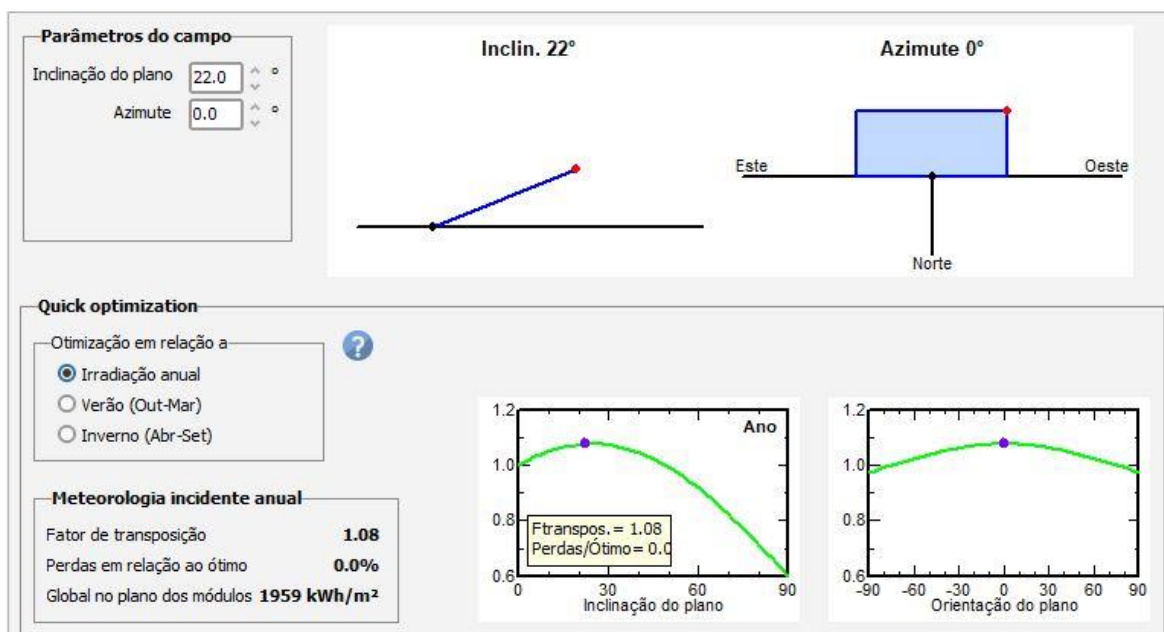


Figura 19 – Disposição dos módulos solares (PVsyst 7.0, 2020)

4.4.2. Inversor

O inversor é dimensionado para suportar a quantidade de módulos instalados e a potência nominal de cada um deles. O sistema é composto por 4 inversores, de acordo com a Figura 20, de 150kW do fabricante SMA, com as seguintes informações:

- Modelo: Sunny Highpower Peak 3 - SHP150-20
- Potência Máxima: 225 kWp
- Faixa de Tensão do MPPT: 880 a 1450V
- Corrente Máxima: 180A
- Eficiência Máxima: 99%
- Número de MPPT: 1
- Fabricante: SMA



Figura 20- – Inversor SMA (SMA Solar, 2020)

4.4.3. Estrutura de fixação

Neste projecto foi proposto uma estrutura de fixação da Romagnole RS-232, que será um suporte para os painéis instalados, é terrestre com capacidade para 4 painéis, assim serão instaladas 432 estruturas. Conforme apresentada na Figura 21, a estrutura é modular e de fácil montagem e encaixe.



Figura 21- – Estrutura Solar Romagnole RS-232 (Romagnole, 2020)

4.4.4. Outros elementos do sistema fotovoltaico

Além dos componentes acima, também são necessários outros para que o sistema seja instalado. Foram listados, de acordo com o orçamento do fornecedor na Tabela 3.

Tabela 3 – Componentes do Sistema Fotovoltaico (Fornecedor Solar, 2020)

Equipamento	Unidades	Quantidade
String Box	un.	72,0
Quadro de Proteção	un.	1,0
Cabo Solar DC Preto	metros	4.200,0
Cabo Solar DC Vermelho	metros	4.200,0
Fusíveis	un.	252,0
Conectores PV4 IP68	un.	420,0

4.5. Estimativa de geração

Através dos dados inseridos no *PVsyst 7.0* foi possível encontrar a energia gerada do sistema fotovoltaico instalado. A potência nominal fornecida pelos 1728 painéis são de 760 kWp, para a prevenção de sobrecargas dos inversores, os 4 inversores possuem uma potência total de 600 kWp. Na Figura 22 observa-se a energia produzida a cada mês do ano. Na parte roxa são as perdas que acontecem antes da conversão de energia (radiação – energia elétrica), em verde expõe as perdas elétricas do sistema e em vermelho é a energia útil injetada na rede. Nos meses de junho e julho a produção é menor devido a época do inverno.

Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 760 kWp

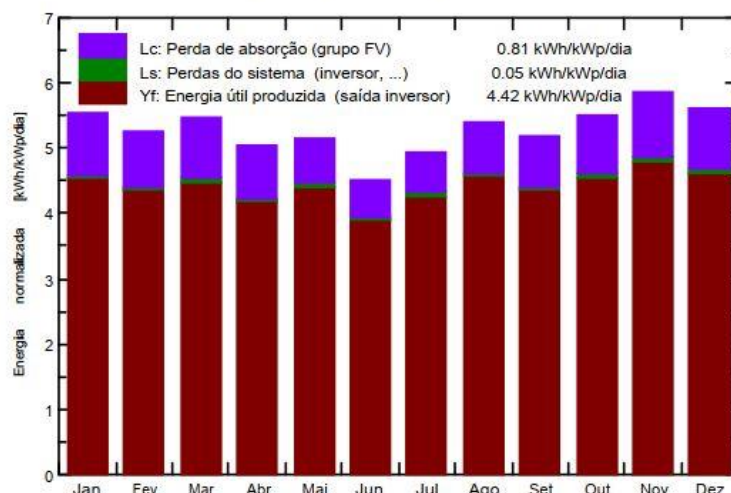


Figura 22 – Estimativa de produção anual de energia (*PVsyst 7.0*, 2020)

Na

Tabela 4 verifica-se os valores de energia produzida e a energia injetada na rede que tem uma média de eficiência do sistema é de 98%, esta é de acordo com a relação entre a energia produzida e a injetada sendo a diferença as perdas do sistema (inversor, cabeamento, entre outras). Ao longo do ano, os meses que possuem maior produção são os meses de outubro, novembro e dezembro.

Tabela 4 – Geração ao longo do ano e principais resultados (*PVsyst 7.0* adaptado, 2020)

Meses	Irradiação Global (kWh/m ² .dia)	Irradiação Difusa (kWh/m ² .dia)	Temperatura Ambiente (°C)	Energia Efetiva na saída (MWh)	Energia Injetada na Rede (MWh)	Eficiência (%)
jul/19	3,97	1,41	19,99	101,70	99,20	97,54
ago/19	4,64	1,74	22,81	108,80	105,90	97,33
set/19	4,84	2,34	23,11	100,80	99,50	98,71
out/19	5,69	2,69	26,02	108,50	107,30	98,89
nov/19	6,30	2,55	25,81	110,70	109,50	98,92
dez/19	6,45	2,62	26,68	110,10	108,20	98,27
jan/20	6,21	2,65	26,49	108,10	106,90	98,89
fev/20	5,08	2,47	26,32	93,70	92,60	98,83
mar/20	5,38	2,53	27,02	107,00	105,80	98,88
abr/20	4,41	1,79	25,35	96,50	95,40	98,86
mai/20	4,25	1,44	21,19	105,20	104,00	98,86
jun/20	3,50	1,46	20,70	90,10	89,00	98,78
Ano	60,72	25,69	25,58	1.241,20	1.223,30	98,84

A energia produzida anualmente é cerca de 1.223 MWh, aproximadamente 4% do consumo anual da estação de tratamento.

A Figura 23 mostra o diagrama de perdas no sistema, na parte superior identifica as perdas que ocorrem antes da conversão de energia em forma de radiação e a parte inferior mostra as perdas elétricas após a conversão fotovoltaica.

As perdas por sombreamento foram desconsideradas, porque o local não apresenta nenhum objeto que dificultará a irradiação solar. O fator IAM (perda de incidência matriz) é relacionada com a diminuição da irradiação que atinge a superfície dos módulos. O *PVsyst*

7.0 considera um valor base de 0,5% de degradação na eficiência, foi calculada com um projecto de vida útil de 30 anos.

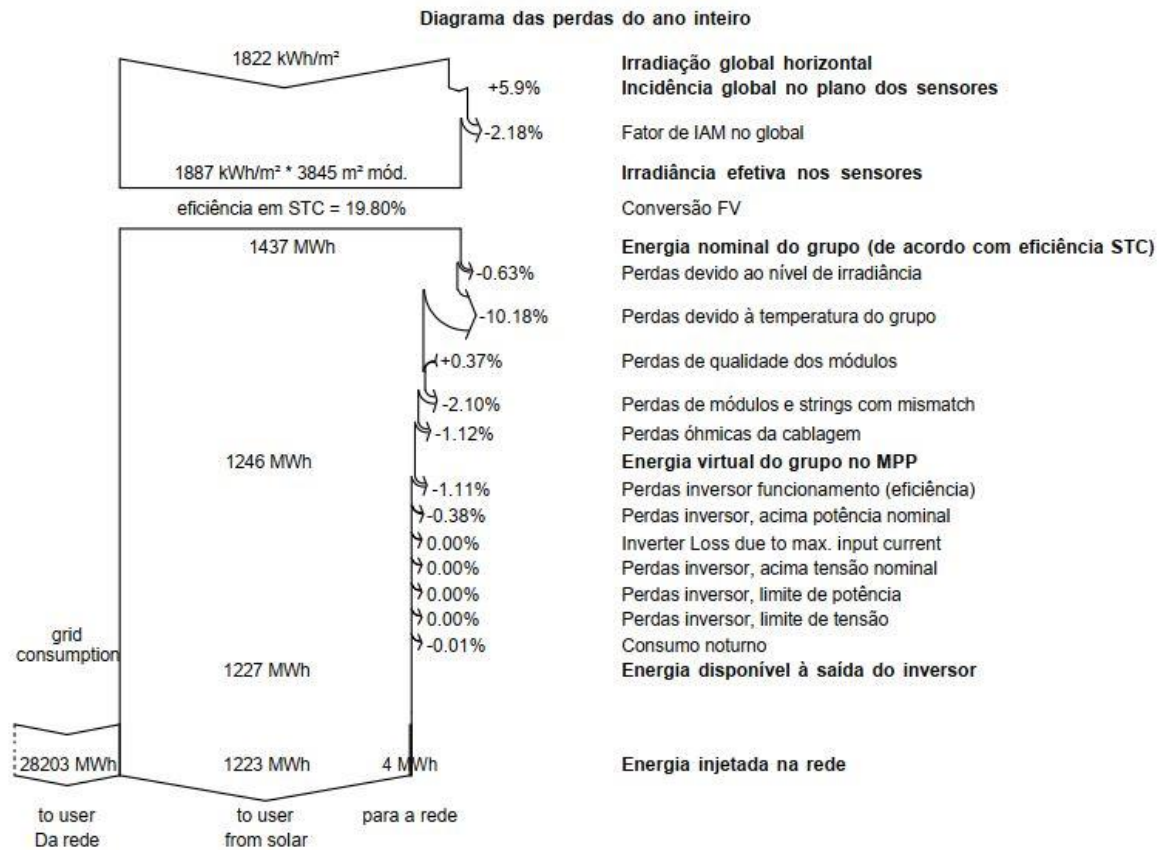


Figura 23 – Diagrama de perdas do sistema (PVsyst 7.0, 2020)

A aglomeração de sujeira sobre os painéis reduz a eficiência na conversão de energia dos painéis. A irradiação captada diminui com o aumento da poeira e reflete na perda de potência (MANI; PILLAI, 2010). Observa-se que os módulos possuem uma eficiência de 19,8%, e apresenta perdas 10% devido a temperatura superiores do ideal para produção de energia. Apesar do inversor ter uma potência de 600kW contra 760kW dos módulos, apenas existem perdas de 0.38% devido a potência excessiva no inversor. A energia injetada na rede de distribuição é de somente 4MWh.

4.6. Análise financeira

4.6.1. Custo do projecto

A Tabela 5 apresenta os custos relativos ao projecto. Além dos custos de instalação, existem outros custos para a realização do projecto, mas foram desprezados por tratar-se de um estudo preliminar. O custo de instalação é aproximadamente 3,3% do custo dos equipamentos, que resulta em um investimento de R\$ 2.018.360,00 que é em torno de R\$ 2,65 por Wp de potência instalada.

Tabela 5 – Orçamento dos componentes do projecto (Fornecedor Solar, 2020)

Item	Unidades	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Módulos Fotovoltaicos	un.	1.728,00	912,00	1.575.936,00
Suporte dos Módulos	un.	432,00	400,00	172.800,00
Inversores	un.	4,00	51.130,00	204.520,00
Instalação Global por Módulo	un.	1.728,00	30,00	51.840,00
Instalação Global por Inversor	un	4,00	3.316,00	13.264,00
			Total	2.018.360,00

Uma situação a ser analisada é a viabilidade econômica do projecto, e verificar se é correspondente às necessidades pretendidas. Isso leva em conta os fluxos de caixa, a potência instalada e a demanda de energia da Estação de Tratamento de Águas. Para os cálculos do investimento foram considerados custos dos materiais e instalação do sistema, e também o aumento do preço da energia, além dos custos de manutenção, que este equivale a 0,1% do valor do sistema, que com a inflação considerada (3,92%) aumenta a cada ano. Na Tabela 6 fica representado das taxas utilizadas no *PVsyst 7.0* para realizar a análise econômica.

Tabela 6 – Variáveis econômicas (Próprio Autor, 2020)

Taxas	Valor
Tarifa de Energia - Ponta	3,92/kWh
Tarifa de Energia - Fora de Ponta	0,397/kWh
Inflação	3,92%*
Investimento Inicial	R\$ 2.018.360,00

*Valor retirado de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

Os valores admitidos para a tarifa de energia foram de acordo com as faturas do ano de estudo da ETA. Esta possui em contrato com concessionária de que a hora energia de ponta é das 17:00 até às 20:00 horas. A tarifa de hora de ponta está relativamente maior, porque foram associados custos de impostos por ser um contrato de uma empresa do governo com a fornecedora de energia (contrato individual), ou seja, tem um acordo da demanda de energia, e quando ultrapassa ou decresce 10% da energia contratada, a empresa é taxada. Então, para simular essa situação foi estimado um valor de acordo com os últimos 12 meses de fatura, mas a tarifa “normal” de ponta é de R\$ 0,462/kWh.

Com o início da estimativa da geração de energia mensal do primeiro ano, executa-se a projeção para os próximos anos levando em consideração a taxa de depreciação do sistema e as variáveis econômicas da Tabela 6.

Na Tabela 7 é possível fazer uma análise econômica ao longo dos 30 anos. A coluna do fluxo de caixa acumulado mostra a soma dos lucros do ano atual (incluídos os gastos com a manutenção) e dos anos anteriores com o sistema fotovoltaico. No ano de 2020 o valor do fluxo de caixa refere-se ao custo de instalação do sistema. Na cor verde observa-se que nos primeiros três anos o investimento ainda não foi recuperado. Entre o final do terceiro e começo do quarto ano (3,9 anos) ocorre uma inversão de cenários, o projecto passa a ter um do retorno financeiro, totalizando aproximadamente 19 milhões de reais nos 30 anos.

O declínio na produção de energia está relacionado com a degradação (0,5%) que os módulos irão sofrer ao decorrer dos anos. Esse desgaste pode ser causado por forças externas, por defeitos de instalação, entre outros.

Na coluna da economia anual percebe-se uma crescente nos valores. Isso tem a ver com a taxa de inflação do preço da energia elétrica, que simula e faz a atualização dos preços do

ano previsto. Esta taxa interfere na viabilidade econômica e no *payback* do investimento do projecto.

Tabela 7 – Análise Financeira do Projecto (*PVsyst 7.0* adaptado, 2020)

Ano	Geração de Energia (kWh)	Custos com Manutenção (R\$)	Economia Anual (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$)
2021	760,32	1.953,00	491.242,00	-1.527.463,00
2022	756,52	2.030,00	505.979,00	-1.021.856,00
2023	752,74	2.109,00	520.716,00	-501.544,00
2024	748,97	2.192,00	535.454,00	33.471,00
2025	745,23	2.278,00	550.191,00	583.186,00
2026	741,50	2.367,00	564.928,00	1.147.597,00
2027	737,79	2.460,00	579.665,00	1.726.701,00
2028	734,10	2.556,00	594.403,00	2.320.494,00
2029	730,43	2.656,00	609.140,00	2.928.972,00
2030	726,78	2.761,00	623.877,00	3.552.131,00
2031	723,15	2.869,00	638.615,00	4.189.968,00
2032	719,53	2.981,00	653.352,00	4.842.478,00
2033	715,93	3.098,00	668.089,00	5.509.656,00
2034	712,35	3.220,00	682.826,00	6.191.499,00
2035	708,79	3.346,00	697.564,00	6.888.001,00
2036	705,25	3.477,00	712.301,00	7.599.157,00
2037	701,72	3.613,00	727.038,00	8.324.963,00
2038	698,21	3.755,00	741.775,00	9.065.412,00
2039	694,72	3.902,00	756.513,00	9.820.500,00
2040	691,25	4.055,00	771.250,00	10.590.220,00
2041	687,79	4.214,00	785.987,00	11.374.566,00
2042	684,35	4.379,00	800.724,00	12.173.534,00
2043	680,93	4.551,00	815.462,00	12.987.115,00
2044	677,53	4.729,00	830.199,00	13.815.303,00
2045	674,14	4.915,00	844.936,00	14.658.091,00

2046	670,77	5.107,00	859.673,00	15.515.472,00
2047	667,42	5.307,00	874.411,00	16.387.438,00
2048	664,08	5.515,00	889.148,00	17.273.982,00
2049	660,76	5.732,00	903.885,00	18.175.095,00
2050	657,45	5.956,00	918.622,00	19.090.769,00
Total	21.230,54	108.083,00	21.147.965,00	19.090.769,00

Na Figura 24 fica representado graficamente a queda de 13,5% na geração de energia devido a degradação do sistema, causada, principalmente, pela depreciação dos módulos fotovoltaicos ano a ano.

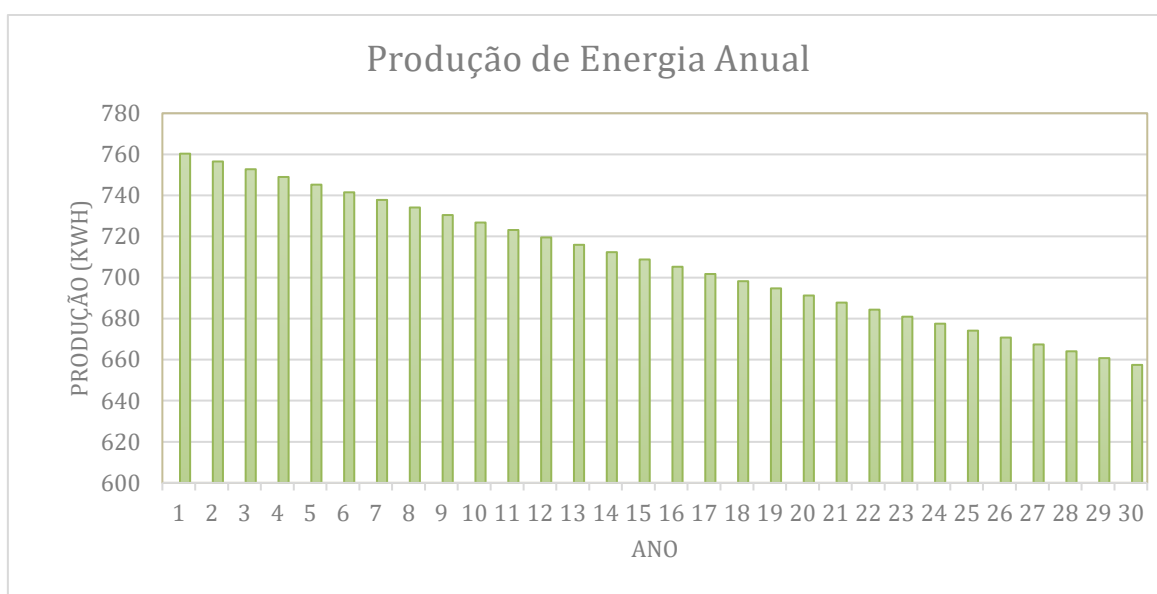


Figura 24- Produção Anual de Energia (Próprio Autor, 2020)

O gráfico da Figura 25 mostra o crescimento do lucro líquido ao longo de 30 anos, sendo que no primeiro ano representa o gasto total com a implementação do projecto.

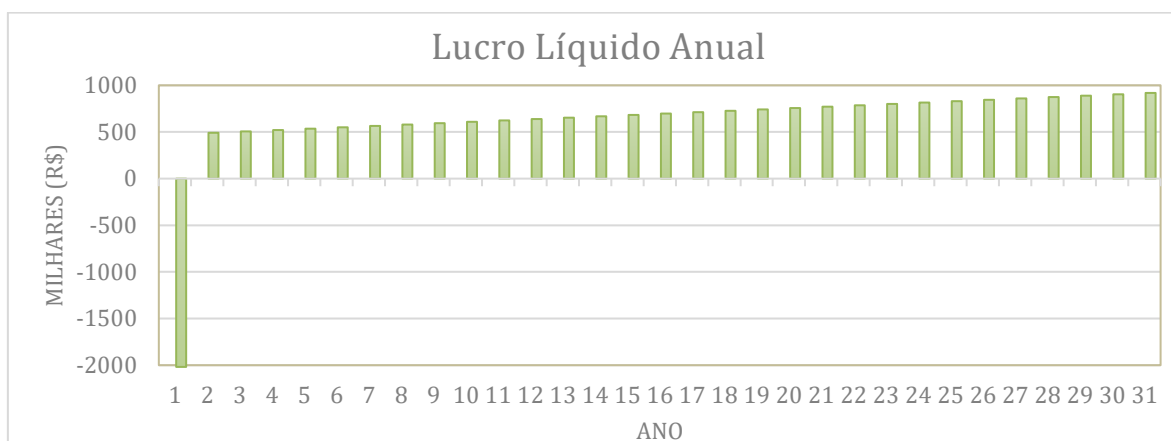


Figura 25 – Lucro Líquido Anual (PVsyst 7.0 adaptado, 2020)

Já na Figura 26 verifica-se o fluxo de caixa, sendo que nos três primeiros anos ainda não haverá retorno do investimento.

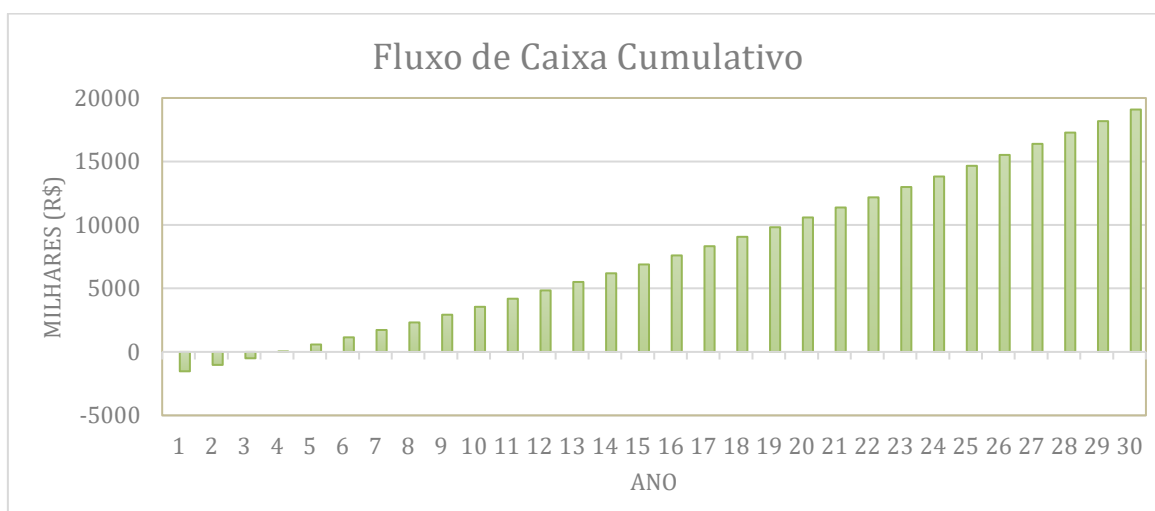


Figura 26 – Fluxo de Caixa Cumulativo (PVsyst 7.0 adaptado, 2020)

4.7. Balanço de dióxido de carbono (CO₂)

O uso de combustíveis fósseis, seja nos transportes, seja nas indústrias ou produção de energia elétrica gera emissão de dióxido de carbono (CO₂) no meio ambiente, que é um dos gases de efeito de estufa.

O elevado crescimento da energia FV no cenário mundial tem contribuído significativamente para a redução de emissões de CO₂. Estima-se que a geração de energia FV já reduz globalmente na faixa de 200 a 300 milhões de toneladas anuais de CO₂ (IRENA, 2017).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2020), são emitidos 263gCO₂/kWh. De acordo com a o gráfico da Figura 27, ao longo dos 30 anos, a redução da emissão de dióxido de carbono ao meio ambiente será de 7.097,00 toneladas.

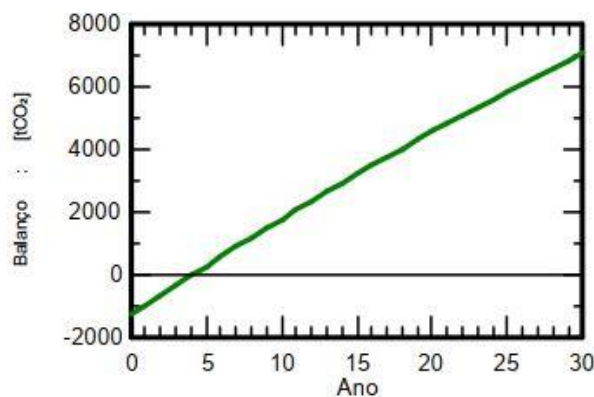


Figura 27 – Balanço de CO₂ (PVsyst 7.0, 2020)

4.8. Resumo do projecto

Tabela 8 – Análise Financeira do Projecto (Próprio Autor, 2020)

Capacidade Instalada	760 kWp
Quantidade de Módulos	1.728
Quantidade de Inversores	4
Investimento Inicial	R\$ 2.018.360,00
Vida Útil do Projecto	30 anos
Geração no Primeiro Ano	1223 MWh
Consumo Médio Anual	29.426 MWh
Inflação	3,92%
Payback	3,9 anos
VPL	R\$ 19.090.769,26

5. Conclusão

O presente trabalho teve por objetivo dimensionar e analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico para uma Estação de Tratamento de Águas de Abastecimento no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.

O sistema proposto tem por finalidade produzir o máximo de energia de acordo com a área disponibilizada de aproximadamente 4.000 metros quadrados. Para o dimensionamento do sistema foram levantadas todas as informações pertinentes e que influenciaram na geração de energia elétrica.

Para o estudo em questão, o sistema produzirá até 760 kWp de potência instalada, sendo enquadrado como um sistema de minigeração. O conjunto gerador requer 1.728 módulos fotovoltaicos de 440 Wp e quatro inversores de tensão de 150 kW.

Com relação à viabilidade econômica do projeto, decidiu-se por uma análise tendo em vista o tempo de retorno exigido para o investimento inicial (*payback*). Tendo em conta os custos do investimento inicial, custos de manutenção e a inflação aplicada sobre os custos da factura de energia. No preço médio do kWh foram incluídos os impostos e os valores reajustados anualmente de acordo com a inflação de 3,92%. Assim, é possível obter o fluxo de caixa utilizado no cálculo e analisar o *payback*.

Os resultados foram satisfatórios. Com um investimento inicial de R\$ 2.010.360,00, a análise do *payback* indica que o investimento vai ter um retorno no final do terceiro ano. Como a Estação de Tratamento de Dourados é de médio porte e atende cerca de 225.000 habitantes, a energia produzida pelo sistema será o suficiente de compor aproximadamente 4% da energia utilizada pela ETA, com um retorno ao final de 30 anos de R\$ 19.090.769,26. Os créditos de energia injetada na rede não foram contabilizados por serem muito poucos comparado com a produção. Talvez esse sistema seria suficiente para suprir a energia total de uma ETA de pequeno porte.

Tendo em conta os valores gastos pela empresa SANESUL para os serviços de ampliação do sistema de saneamento, essa poupança poderia ser investida na universalização do saneamento através de ampliação da rede de esgoto e da rede de distribuição de água em 415,46 quilômetros e 1.593,54 quilômetros, respectivamente. E também na melhoria dos

equipamentos, substituição de electrobombas mais eficientes, implantação de novas estações elevatórias, entre outros investimentos. Além da melhoria no saneamento, tem como consequência benefícios para saúde pública da população.

Sobre o ponto de vista ambiental, além de ser uma fonte de energia renovável, o sistema reduziu a emissão de 7.097 toneladas de CO₂ e produziu menos gases do efeito estufa em comparação a condição em que a unidade consumidora utilizasse apenas energia ativa da concessionária.

Para produzir um cenário ideal de geração de energia, a empresa teria de disponibilizar uma maior área para a instalação do sistema, desta forma as poupanças ambientais, energética e econômica seriam superiores.

Referências Bibliográficas

- ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. IN: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, GO. Set. 2017.
- ABSOLAR. **Infográfico ABSOLAR**. 2019. <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acessado em 23/05/2020.
- BESSO, Rachel. **Sistema Solar Fotovoltaico Conectado à rede. Monografia (Especialização)**. UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.
- BRASIL. (2018) **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Brasília: SNSA/MCIDADES.
- COSTA, G. J. C. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. EDIPUCRS. Porto Alegre, 2006. 4ª Edição. 561p.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Volume I. Rio de Janeiro, 1993. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- FERNANDES, C. **Abastecimento de Água**. 2007. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento>. Acesso em 10/10/2020.
- IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=311060>>. Acesso em: 15/10/2020.
- INSTITUTO TRATA BRASIL – “Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento – 2015”.
- IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency**. Abu Dhabi, 2017.
- MANI, M.; PILLAI, R. **Impact of dust on solar photovoltaic (pv) performance: Research status, challenges and recommendations**. Elsevier, v. 14, p. 3124–3131, 2010.
- MELO, F. **Análise de viabilidade técnica e econômica de um projeto fotovoltaico**. 32 p. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. (2015) **The United Nations World Water Development Report 2015: water for a sustainable world**. UNESCO. 139 p.
- REBELLATO, Daisy Aparecida do Nascimento. **Projeto de investimento: Com estudo de caso completo na área de serviços**. 1 ed. Barueri-SP: Editora Manole, 2004.
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. [S.l.]: LABSOLAR, 2004. ISBN 85-87583-04-2.
- SANESUL – **Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul**, 2020.

SANTOS, C. B. dos. **Análise de Sistemas Fotovoltaicos para Geração de Energia Solar. Dissertação (Mestrado)** — Universidade Federal de Santa Catarina, set. 1997.

SNIS – Sistema Nacional de Informações de Água e Esgoto – 12. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Ministério das Cidades. Brasília, 2018. Disponível em <http://www.snis.gov.br>.

TOLMASQUIN, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. ISBN 85-7193-095-3.

TRIPATHI, M. (2007) **Life-cycle energy and emissions for municipal water and wastewater services: case-studies of treatment plants in U.S.** 218p. Dissertação (Mestrado) –University of Michigan, Ann Arbor.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo, 2005**: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1.ed.. ed. São Paulo: Érica, 2012. ISBN 978-85-365-0416-2.

Anexo

Anexo A – Relatório do *PV*syst 7.0

Sistema acoplado à rede: Parâmetros da simulação

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

Localização geográfica	ETA DOURADOS	País	Brazil
Localização	Latitude -22.17° S	Longitude	-54.49° W
Tempo definido como	Tempo legal Fuso horário TU-4	Altitude	437 m
	Albedo 0.20		
Dados meteorológicos:	ETA DOURADOS	Meteonorm 7.3, Sat=100% - Sintético	

Variante da simulação : Nova variante da simulação

Data da simulação 16/11/20 22h07

Parâmetros da simulação	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	Inclinação	22°	Azimute 0°
Modelos utilizados	Transposição	Perez	Difuso Perez, Meteonorm separado Cicumsolar
Horizonte	Sem horizonte		
Sombras próximas	Sem sombras		
Exigências do consumidor :	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Year
2434001	2326271	2704330	2549820	2513213	2530189	2190250	2141799	2376857	2666034	2618633	2374546	*425944 kWh

Características do grupo FV

Módulo FV	Si-mono	Modelo	Mono 440 Wp Twin L44 half-cells	
Original PVSyst database		Fabricante	Generic	
Número de módulos FV		Em série	27 módulos	Em paralelo 64 strings
Número total de módulos FV		Nr. módulos	1728	Potência unitária 440 Wp
Potência global do grupo		Nominal (STC)	760 kWp	Em condições de func. 661 kWp (60°C)
Características de funcionamento do grupo (50°C)		Umpp	968 V	I mpp 683 A
Superfície total		Superfície módulos	3845 m²	Superfície célula 3434 m²

Inversor		Modelo	Sunny Highpower Peak 3 - SHP150-20	
Original PVSyst database		Fabricante	SMA	
Características		Potência unitária	150 kWac	Tensão func. 880-1450 V
Bateria de inversores		Potência total	600 kWac	Rácio Pnom 1.27
		N.º de inversores	4 unidades	
Total		Potência total	600 kWac	Rácio Pnom 1.27

Fatores de perda do grupo FV

Fator de perdas térm.	Uc (const.)	20.0 W/m²K	Uv (vento)	0.0 W/m²K / m/s
Perdas ôhmicas nos cabos	Res. global do grupo	25 mΩ	Fração perdas	1.5 % em STC
Perdas de qualidade dos módulos			Fração perdas	-0.4 %
Perdas de módulos com mismatch			Fração perdas	2.0 % no MPP
Perdas de strings com mismatch			Fração perdas	0.10 %
Efeito de incidência (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290				

0°	30°	53°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Sistema acoplado à rede: Resultados principais

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

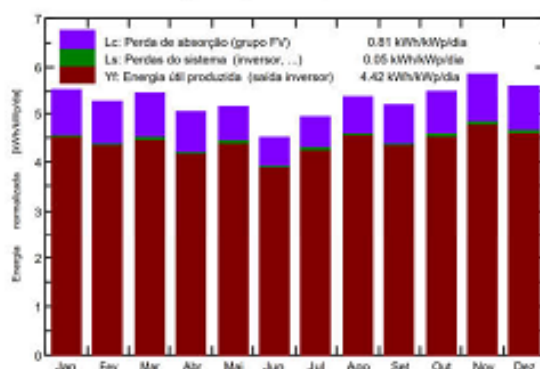
Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema		Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute	0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells 440 Wp		
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total	760 kWp
Inversor	Sunny Highpower Peak 3 - GHP150-20		Pnom	150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total	600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global	29426 MWh/ano

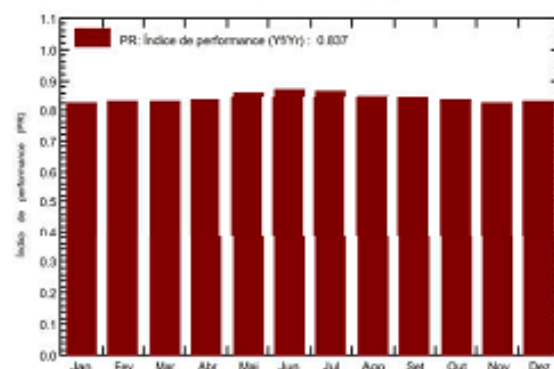
Resultados principais da simulação

Produção do sistema	Energia produzida	1227 MWh/ano	Prod. específica	1614 kWh/kWp/ano
	Índice de performance (PR)	83.68 %	Fração solar	4.16 %
Investimento	Global	2'018'360.00 BRL	Específico	2.65 BRL/Wp
Custo anual	Anuidades	0.00 BRL/ano	Custos de operação	3'602.72 BRL/ano
LCOE		0.07 BRL/kWh	Payback period	3.9 anos

Produções normalizadas (por kWp instalado): Potência nominal 760 kWp



Índice de performance (PR)



Nova variante da simulação Balanços e resultados principais

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Janeiro	186.4	79.38	26.49	171.2	166.6	108.1	2434	106.9	0.000	2327
Fevereiro	152.5	74.07	26.32	147.4	143.6	93.7	2326	92.6	0.000	2234
Março	161.4	75.97	27.02	169.2	165.3	107.0	2704	105.8	0.000	2599
Abril	132.4	53.84	25.35	151.2	148.0	96.5	2550	95.4	0.000	2454
Mai	127.5	43.25	21.19	159.8	157.1	105.2	2513	104.0	0.000	2409
Junho	105.0	43.78	20.70	134.8	132.5	90.1	2530	89.0	0.120	2441
Julho	119.0	42.16	19.99	153.2	150.4	101.7	2190	99.2	1.386	2091
Agosto	139.3	52.30	22.81	166.9	164.1	108.8	2142	105.9	1.718	2036
Setembro	145.1	70.24	23.11	155.5	152.3	100.0	2377	99.5	0.171	2277
Outubro	170.8	80.59	26.02	170.2	166.4	108.5	2666	107.3	0.016	2559
Novembro	188.9	76.60	25.81	176.0	171.4	110.7	2619	109.5	0.000	2509
Dezembro	193.6	78.51	26.68	173.8	169.1	110.1	2375	108.2	0.636	2266
Ano	1821.8	770.63	24.28	1929.0	1886.9	1241.3	29426	1223.3	4.047	28203

Legendas: GlobHor	Irradiação global horizontal	GlobEff	Global efetivo, corrigido para IAM e sombras
DiffHor	Irradiação difusa horizontal	EArray	Energia efetiva à saída do grupo
T_Amb	T amb.	E_User	Energia fornecida ao consumidor
GlobInc	Incidência global no plano dos sensores	E_Solar	Energy from the sun
		E_Grid	energia injetada na rede
		EFrGrid	Energy from the grid

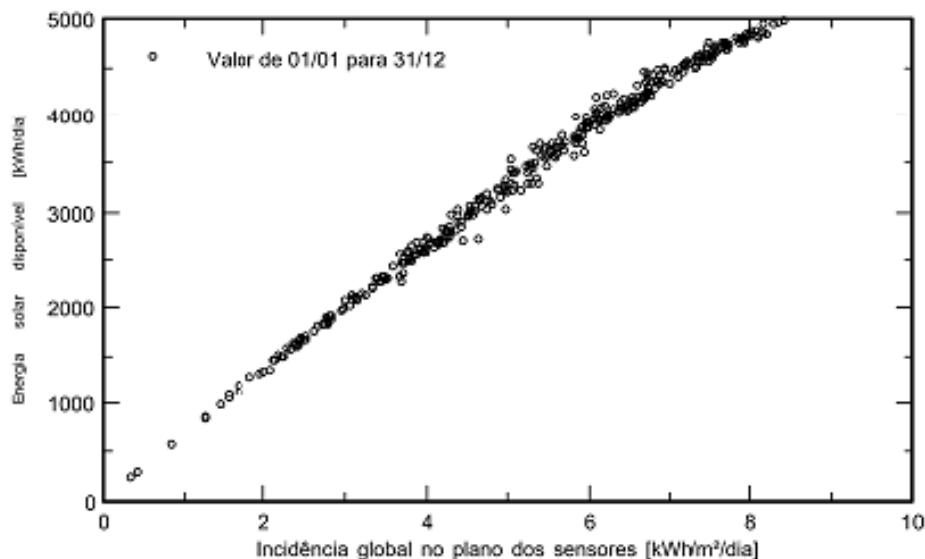
Sistema acoplado à rede: Gráficos especiais

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

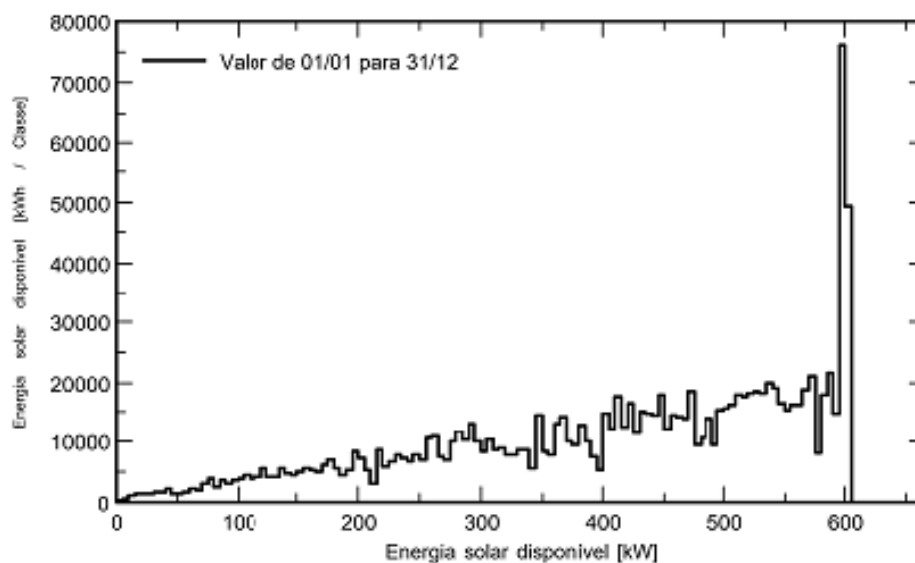
Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor	Sunny Highpower Peak 3 - GHP150-20		Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano

Diagrama de entrada / saída diário



Distribuição da potência à saída do sistema



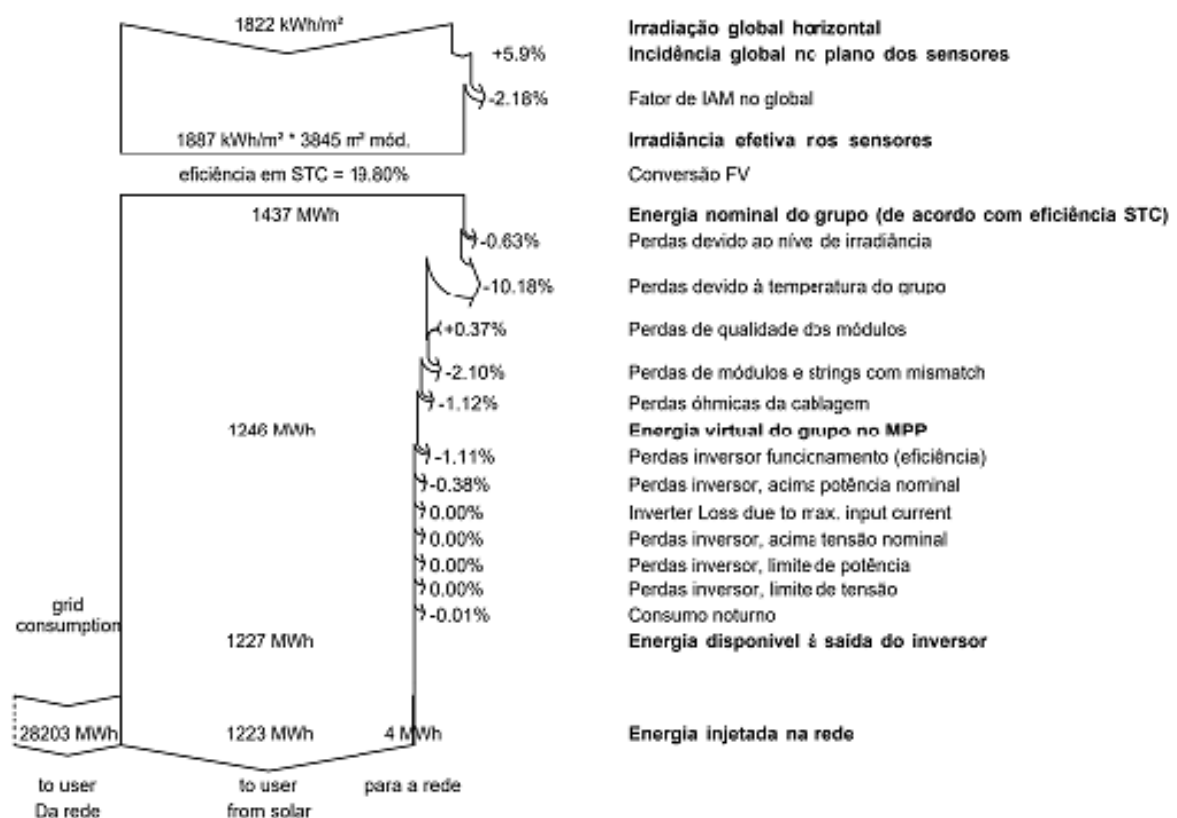
Sistema acoplado à rede: Diagrama de perdas

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor	Sunny Highpower Peak 3 - SHP150-20		Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano

Diagrama das perdas do ano inteiro



PVSYST 7.0.16		16/11/20	Página 6/10
Sistema acoplado à rede: Cost of the system			
Projeto :		Estação de Tratamento de Água Dourados	
Variante da simulação :		Nova variante da simulação	
Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor		Sunny Highpower Peak 3 - GHP150-20	Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano
Installation costs			
Módulos FV			
Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	1728 unidades	912.00 BRL/unidade	1'575'936.00 BRL
Supports for modules	1728 unidades	100.00 BRL/unidade	172'800.00 BRL
Inversores			
Sunny Highpower Peak 3 - SHP150-20	4 unidades	51'130.00 BRL/unidade	204'520.00 BRL
Installation			
Global installation cost per module	1728 unidades	30.00 BRL/unidade	51'840.00 BRL
Global installation cost per inverter	4 unidades	3'316.00 BRL/unidade	13'264.00 BRL
		Total	2'018'360.00 BRL
		Depreciable asset	1'953'256.00 BRL
Operating costs			
Manutenção			1'953.00 BRL/ano
Reparation			
		Total (OPEX)	1'953.00 BRL/ano
		Including inflation (3.92%)	3'602.72 BRL/ano
System summary			
Total installation cost		2'018'360.00 BRL	
Operating costs (incl. inflation 3.92%/ano)		3'602.72 BRL/ano	
Energia não utilizada		1223 MWh/ano	
Energia vendida à rede		4.0 MWh/ano	
Custo da energia produzida (LCOE)		0.069 BRL/kWh	

PVSYST 7.0.16		16/11/20	Página 7/10
Sistema acoplado à rede: Financial analysis			
Projeto :		Estação de Tratamento de Água Dourados	
Variante da simulação :		Nova variante da simulação	
Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor	Sunny Highpower Peak 3 - GHP150-20		Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano
Financial parameters			
Simulation period			
Project lifetime	30 anos	Start year	2021
Income variation over time			
Inflação		3.92 %/ano	
Production variation		0.00 %/ano	
Taxa de desconto		1.40 %/ano	
Income dependent expenses			
Income tax rate		0.00 %/ano	
Other income tax		0.00 %/ano	
Dividends		0.00 %/ano	
Depreciation			
Depreciable assets		1'953'256.00 BRL	
Salvage value		195'325.00 BRL	
Total redeemable		1'757'931.00 BRL	
Depreciation period		30 anos	
Financiamento			
Own funds		2'018'360.00 BRL	
Electricity sale			
Feed-in tariff	Peak tariff	2.20 BRL/kWh	
	Off-peak tariff	0.40 BRL/kWh	20:00-17:00
Duration of tariff warranty		30 anos	
Annual connection tax		0.00 BRL	
Annual tariff variation		+3.0 %/ano	
Feed-in tariff decrease after warranty		50.00 %	
Self-consumo			
Consumption tariff	Peak tariff	2.20 BRL/kWh	
	Off-peak tariff	0.40 BRL/kWh	
Tariff evolution		+3.0 %/ano	
Return on investment			
Payback period		3.9 anos	
Net present value (NPV)		19'090'769.26 BRL	
Return on investment (ROI)		945.9 %	

Sistema acoplado à rede: Financial analysis

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor	Gunny Highpower Peak 3 - GHP150-20		Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano

Detailed economic results (BRL)

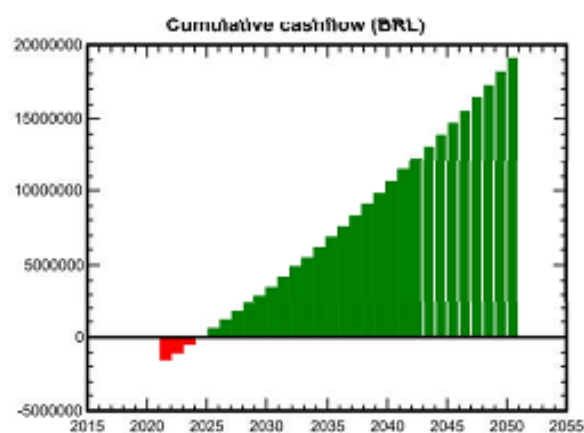
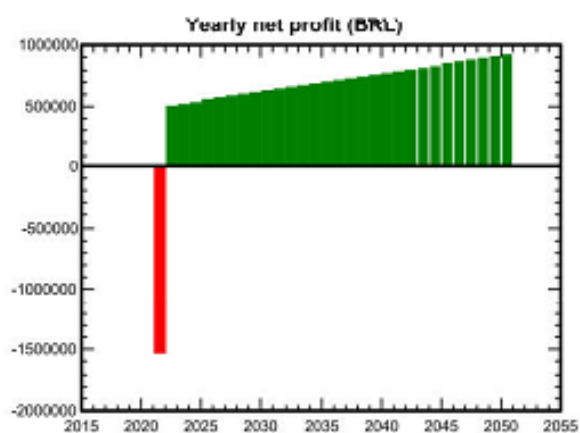
	Gross income	Custos operação	Deprec. allow.	Taxable income	Impostos	After-tax profit	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
2021	1'608	1'953	58'598	0	0	-345	491'242	-1'527'463	24.3%
2022	1'657	2'030	58'598	0	0	-373	505'979	-1'021'856	49.4%
2023	1'705	2'109	58'598	0	0	-404	520'716	-501'594	75.2%
2024	1'753	2'192	58'598	0	0	-439	535'454	-37'471	101.7%
2025	1'802	2'278	58'598	0	0	-476	550'191	583'186	128.9%
2026	1'850	2'367	58'598	0	0	-517	564'928	1'147'597	156.9%
2027	1'898	2'460	58'598	0	0	-562	579'665	1'726'701	185.5%
2028	1'946	2'556	58'598	0	0	-610	594'403	2'320'494	215.0%
2029	1'995	2'656	58'598	0	0	-662	609'140	2'928'972	245.1%
2030	2'043	2'761	58'598	0	0	-718	623'877	3'552'131	276.0%
2031	2'091	2'869	58'598	0	0	-778	638'615	4'189'968	307.6%
2032	2'139	2'981	58'598	0	0	-842	653'352	4'842'478	339.9%
2033	2'188	3'098	58'598	0	0	-911	668'089	5'509'656	373.0%
2034	2'236	3'220	58'598	0	0	-984	682'826	6'191'499	406.8%
2035	2'284	3'346	58'598	0	0	-1'062	697'564	6'888'001	441.3%
2036	2'332	3'477	58'598	0	0	-1'145	712'301	7'599'157	476.5%
2037	2'381	3'613	58'598	0	0	-1'233	727'038	8'324'963	512.5%
2038	2'429	3'755	58'598	0	0	-1'326	741'775	9'065'412	549.1%
2039	2'477	3'902	58'598	0	0	-1'425	756'513	9'820'500	586.6%
2040	2'525	4'055	58'598	0	0	-1'530	771'250	10'590'220	624.7%
2041	2'574	4'214	58'598	0	0	-1'640	785'987	11'374'566	663.6%
2042	2'622	4'379	58'598	0	0	-1'757	800'724	12'173'534	703.1%
2043	2'670	4'551	58'598	0	0	-1'881	815'462	12'987'115	743.4%
2044	2'718	4'729	58'598	0	0	-2'011	830'199	13'815'303	784.5%
2045	2'767	4'915	58'598	0	0	-2'148	844'936	14'658'091	826.2%
2046	2'815	5'107	58'598	0	0	-2'292	859'673	15'515'472	868.7%
2047	2'863	5'307	58'598	0	0	-2'444	874'411	16'387'428	911.9%
2048	2'911	5'515	58'598	0	0	-2'604	889'148	17'273'982	955.8%
2049	2'960	5'732	58'598	0	0	-2'772	903'885	18'175'095	1000.5%
2050	3'008	5'956	58'598	0	0	-2'948	918'622	19'090'769	1045.9%
Total	69'246	108'082	1'757'931	0	0	-38'836	21'147'965	19'090'769	1045.9%

Sistema acoplado à rede: Financial analysis

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor	Sunny Highpower Peak 3 - GHP150-20		Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano



Sistema acoplado à rede: CO2 Balance

Projeto : Estação de Tratamento de Água Dourados

Variante da simulação : Nova variante da simulação

Parâmetros principais do sistema	Tipo de sistema	No 3D scene defined, no shadings	
Orientação do plano dos módulos	inclinação	22°	azimute 0°
Módulos FV	Modelo	Mono 440 Wp Twin 144 half-cells	440 Wp
Grupo FV	Número de módulos	1728	Pnom total 760 kWp
Inversor	Sunny Highpower Peak 3 - GHP150-20		Pnom 150 kW ac
Bateria de inversores	Número de unidades	4.0	Pnom total 600 kW ac
Exigências do consumidor	Definição ext. por ficheiro	Consumo.csv	Global 29426 MWh/ano

Generated emissions	Total:	1305.13 tCO₂	
	Origem:	Detailed calculation from table below:	
Replaced Emissions	Total:	9683.6 tCO₂	
	System production:	1227.32 MWh/ano	Tempo de vida: 30 anos
			Annual degradation: 1.0%
	Grid Lifecycle Emissions:	263 gCO ₂ /kWh	
	Origem:	Custom value supplied by user	
Balanco de emissões CO₂	Total:	7097.0 tCO₂	

System Lifecycle Emissions Details:

Item	Módulos	Supports	Inversores
LCE	1557 kgCO ₂ /kWp	0.54 kgCO ₂ /kg	53.5 kgCO ₂ /unidades
Quantidade	832 kWp	18900 kg	2.00 unidades
Subtotal [kgCO ₂]	1294610	10211	107

