



LUIS CESAR BARBOSA FREIRE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE IMPLANTA-
ÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ESTAÇÃO DE
TRANTAMENTO DE ÁGUA (ETA)**

**LAVRAS – MG
2021**

LUIS CESAR BARBOSA FREIRE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA (ETA)**

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Domingues de Jesus
Orientador

LAVRAS-MG
2021

LUIS CESAR BARBOSA FREIRE

ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

FINANCIAL VIABILITY ANALYSIS OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IMPLEMENTATION FOR A WATER TREATMENT PLANT (WTP)

Concepção básica apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia de Controle e Automação para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 30 de novembro de 2021.

Prof. Dr. Fábio Domingues de Jesus – UFLA

Prof. Dr. Danton Diego Ferreira – UFLA

Prof. Me. Paulo Vitor Grillo De Souza – UFLA

Prof. Dr. Fábio Domingues de Jesus

Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

*A Deus, a Nossa Senhora, todos os anjos e santos que intercederam
por minha trajetória, aos meus queridos pais Geralda, José Luiz
e família que me auxiliam em todas as conquistas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a Deus e todo o reino dos céus, por sempre iluminar meus caminhos, abençoar-me com ótimas oportunidades e também ser consolo e auxílio durante as frustrações e incertezas nos momentos mais difíceis do trajeto.

Aos meus pais, Geralda e José Luiz, que são minha inspiração e base para perseguir todos meus objetivos, não me deixando nunca desistir ou desanimar. Tanto se esforçaram para me educar, ensinando a importância da busca pelo conhecimento e desenvolvimento profissional. Também as minhas irmãs, Luisa e Cíntia, que foram, para mim, grandes parceiras sempre me apoiando, sendo inspiração e confiando em todo meu potencial.

Ao meu amor, Nayra. Você sempre foi para mim motivo de inspiração e alegria, sempre se orgulhou e confiou em mim, ajudou a me conhecer melhor e me motivou em cada fase enfrentada e vencida juntos. Grande parte desses esforços é para realização de nossos sonhos!

Gostaria de agradecer também, ao meu professor e orientador Fábio, que me deu a oportunidade de realizar este trabalho, instruindo-me de maneira tão eficaz durante todo o processo, além de todo corpo docente, por me transmitirem um pouco de seu vasto conhecimento durante a graduação. Por fim, agradeço a todos amigos e parceiros contruídos na vida acadêmica, sem os quais, com toda a certeza, não teria obtido uma experiência tão leve e gratificante durante todos os dias de estudos, dificuldades, encontros e partilhas.

*Combati o bom combate,
terminei a minha carreira, guardei a fé.
II Timóteo, 4, 7*

RESUMO

Desde a primeira observação de Edmond Becquerel sobre o efeito fotovoltaico e as contribuições de Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories nos Estados Unidos; na era moderna com o desenvolvimento do processo de dopagem do silício, sonha-se cada dia mais com a utilização desta inesgotável fonte de energia postada diariamente nos céus, e consequentemente, um planeta autossuficiente no quesito energético. Não é utopia pensar que esta realidade está cada vez mais próxima, tendo em vista crises energéticas provindas de falta de recursos hídricos e altos impostos ocasionando altos preços da energia convencional produzida atualmente. Nesse contexto, apresentam-se necessidades de gerar energia de fontes renováveis e melhoramento dos processos para que sejam mais eficientes. Desta forma, o presente trabalho faz uma análise para o melhoramento da eficiência energética de uma Unidade Estação de Tratamento de Água (ETA) em que o consumo de energia elétrica das motobombas é elevado representando mais de 95% dos gastos totais, e após essa análise é realizado uma proposta de implementação de um sistema fotovoltaico de forma a diminuir os custos, como também, utilizar uma fonte renovável de energia. Para a fomentar o trabalho, foi necessário, a análise de dados de placa das motobombas da ETA e parâmetros coletados, tais como tensão, corrente e rotação. Com os dados citados, foi realizada uma análise mais pontual do fator de carregamento dos motores e seu rendimento, a fim de verificar se há a necessidade de redimensionamento e calcular seu consumo energético. Com os resultados encontrados nesse procedimento, realizou-se então o dimensionamento otimizado da planta fotovoltaica, com o intuito de gerar energia suficiente para reduzir os gastos gerados pela motobomba, e, também, analisar a viabilidade e retorno financeiro do projeto fotovoltaico. Foram comprovados ao final o grande consumo energético da motobomba em operação, que apresentou um ótimo fator de carregamento de 0,94 e rendimento razoável de 0,86 indicando um bom dimensionamento. Após a análise energética o dimensionamento fotovoltaico resultou em um investimento de R\$ 878.744,58 para implementação de um gerador fotovoltaico de 193,12 kWp, composto por 544 módulos de 355 W e 3 inversores de 50 kW. Além disso, as análises financeiras com os métodos de Payback Simples, VPL e TIR, transpareceram ótimos resultados em relação a TMA de 10% e um retorno financeiro de quase 5 milhões de reais ao longo dos 25 anos de durabilidade dos módulos, provando assim, a grande viabilidade do projeto fotovoltaico para a estação de tratamento de água localizada em São Lourenço, cidade com ótimos indicadores climáticos.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico. Energia elétrica. Motobombas. Análise financeira. Companhias de saneamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Motobombas ETA São Lourenço.	19
Figura 2.2 – Fator de potência.	23
Figura 2.3 – Média anual da incidência de radiação solar no planeta.	27
Figura 2.4 – Ângulos solares.	29
Figura 3.1 – Dados de placa da motobomba na ETA de São Lourenço.	31
Figura 3.2 – Dados técnicos do módulo solar KuMax CS3U-355P.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Especificações do motor presente na estação.	32
Tabela 3.2 – Dados de placa e coletados do motor presente na estação.....	32
Tabela 3.3 – Bandeiras médias fornecidas pela Aneel nos últimos 10 anos.	34
Tabela 3.4 – Preço das bandeiras tarifárias da CEMIG.....	35
Tabela 3.5 – Dados de localização.	36
Tabela 3.6 – Irradiação em plano inclinado na cidade de São Lourenço.	36
Tabela 3.7 – Perdas do sistema.....	38
Tabela 3.8 – Dados técnicos do inversor.	42
Tabela 4.1 – Dados calculados do motor presente na ETA 1 de São Lourenço.....	44
Tabela 4.2 – Valores de energia consumida por motor trifásico.	45
Tabela 4.3 – Bandeiras tarifárias e custo mensal de energia da motobomba 1.	45
Tabela 4.4 – Geração necessária para abastecimento da motobomba.	46
Tabela 4.5 – Composição de preço do gerador fotovoltaico.	47
Tabela 4.6 – Retorno de investimento em 25 anos por Payback Simples.	48
Tabela 4.7 – Análise de Valor Presente Líquido (VPL).....	50
Tabela 4.8 – Taxa Interna de Retorno (TIR).	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

AWWA – American Water Works Association

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

COELBA – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia

ETA – Estação de Tratamento de Água

EPC – Engineering Procurement Construction

HFP – Horário Fora de Ponta

HP – Horse Power

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NREL – National Renewable Energy Laboratory

SANESUL - Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

THS – Tarifa Hora Sazonal

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivo Principal.....	17
1.2	Objetivo Específico	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Princípios de Operação das Companhias de Saneamento	18
2.2	Princípios de Funcionamento de Bombas Hidráulicas.....	18
2.2.1	Geradores Fotovoltaicos em Bombas Centrífugas e Volumétricas.....	20
2.3	Energia e Potência Elétrica	21
2.3.1	Sistemas de Corrente Alternada.....	21
2.3.2	Energia e Potência Mecânica	22
2.3.3	Potências Aparente, Ativa e Reativa	22
2.3.4	Fator de Potência	23
2.4	Perdas e Rendimento	24
2.5	Fator de Carregamento	24
2.6	Energia Fotovoltaica.....	25
2.7	Radiação Solar	26
2.7.1	Solarimetria.....	27
2.7.2	Ângulo de Irradiação Solar.....	28
2.8	Efeito Fotovoltaico e Células Solares	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Análise de Carregamento.....	32
3.2	Perdas e Rendimentos	33
3.3	Análise do Consumo de Energia.....	33
3.3.1	Energia Consumida por Motor Trifásico	34
3.4	Incidência Solar e Dimensionamento Fotovoltaico.....	35
3.4.1	Incidência Solar	35
3.4.2	Dimensionamento Fotovoltaico	37
3.5	Indicadores Financeiros	39
3.5.1	Payback Simples	40
3.5.2	Valor Presente Líquido (VPL).....	40
3.5.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	41
3.6	Equipamentos utilizados	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1	Análise de Operação e Consumo Energético do Motor	44
4.2	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	46

4.3	Análise de Investimento e Retorno Financeiro	47
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXOS	58
	ANEXO A.....	58
	ANEXO B.....	59

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros motores elétricos foram desenvolvidos depois de 300 anos de estudos, tendo início com o cientista inglês William Gilbert, que publicou a obra *De Magnete* (GUIMARÃES, 2000), descrevendo a força de atração magnética e posteriormente passando por grandes nomes como Nicola Tesla e Werner Siemens. Hoje são presentes na vida cotidiana das pessoas e muitas vezes até passam despercebidos na maioria dos eletrodomésticos, portões, casas autônomas no fechamento de janelas e cortinas, automóveis e também no importante papel em estações de tratamento de água, companhias de suma importância para a sociedade.

Esses equipamentos são indispensáveis ao se tratar de saneamento básico nos conjuntos denominados motobombas, ferramentas principais nos processos de abastecimento e tratamento de esgoto, e responsável por grande parte do consumo energético da planta. De acordo com *Alliance to Save Energy* (SOBRINHO; BORJA, 2016), cerca de 2 a 3% do consumo mundial de energia é utilizado no bombeamento e tratamento de água para residências e indústrias. O consumo desses sistemas de acordo com dados de 2009 do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) no Brasil é de aproximadamente 7,8 bilhões de kWh por ano, representando um gasto anual com energia elétrica de 2 bilhões de reais (SOBRINHO; BORJA, 2016). Esses gastos são explicados quando se analisa o consumo energético nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, que são por sua maioria em consequência da utilização das motobombas.

Em conjunto ao motor elétrico, a energia fotovoltaica é um elemento essencial para o desenvolvimento da sociedade, econômica, social e tecnológica. Inicialmente, o desenvolvimento dessa tecnologia foi impulsionado, por empresas do setor de telecomunicações, na busca por fontes de energias em localidades remotas. Seguido pelo grande segundo impulsionador, a “corrida espacial”.

No Brasil são instalados diversos sistemas fotovoltaicos, para abastecimento dos mais diversos tipos, entre eles é possível citar: os sistemas de eletrificação residencial, os sistemas híbridos (Solar-Eólico-Diesel), o sistema fotovoltaico em parques ecológicos, o sistema de telefonia pública e os sistemas de bombeamento fotovoltaico para irrigação (CRESESB, 2006). Esse último, pode ser exemplificado com um projeto da cidade de Capim Grosso, contruído no açude Rio dos Peixes, formado por 16 painéis M55 da Siemens e uma bomba centrífuga de superfície de 1 HP. O sistema foi implantado no âmbito da cooperação NREL/CEPEL/COELBA, tendo participado ainda a Coordenação de Irrigação da Secretaria de Agricultura e

Irrigação do Estado da Bahia e a Associação de Moradores de Rio do Peixe. Tratando-se de um interessante projeto em lugar de pouca acessibilidade e que impacta diretamente a vida dos moradores (CRESESB, 2006).

De acordo com o novo relatório *Internacional Renewables Global Status*, de autoria da *REN21*, a energia provinda da fonte solar fotovoltaica liderou o crescimento de novas instalações entre as energias renováveis no mundo em 2019, obtendo um crescimento de 115 GW. Esse valor representa um crescimento anual de 22,5%. Desse aumento, segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020), o Brasil mantém protagonismo em toda a América Latina com uma adição de 2,1 GW em 2019.

Essa energia é considerada limpa pelo fato de não expelir nenhum tipo de poluição, sendo assim, agradável ao ambiente, tendo ainda o fator de duração dos módulos solares que podem chegar a até 25 anos, além de contar com uma fonte até então inesgotável de matéria-prima, a irradiação solar. Estudos de Mousazadeh et al. (2009) mostram ainda que se 0,16% (756,950 Km²) da área do planeta (8,9% do território nacional), fosse utilizada para a instalação de usinas fotovoltaicas, com um rendimento operacional de 10% seria possível produzir uma potência de 20 TW. Valor que representa aproximadamente o dobro do consumo mundial de energia gerada através de combustíveis fósseis.

Tendo em mente os fatores relatados anteriormente, junto ao avanço na tecnologia dos módulos solares, que hoje podem chegar a mais de 20% de eficiência, também a grande extensão territorial do Brasil e sua geolocalização próxima a linha do equador tornam a produção de energia solar no país muito viável. Isso, visto que a irradiância média anual em território brasileiro é em torno de 4,5 kWh/m².dia. Países como Itália e Alemanha possuem uma irradiação bem menor que aquela reportada no Sul do Brasil e já utilizam a energia solar em larga escala.

Considerando que a localidade de execução do projeto em análise possui uma média de irradiância anual diária de 5,22 kWh/m² e ainda a grande parcela de energia elétrica utilizada pelos conjuntos motorbombas em ETAs, pensa-se que a opção fotovoltaica para geração de energia elétrica e abastecimento desse equipamento nesses sistemas pode apresentar ótimos resultados. Assim, neste trabalho foi realizada a análise do consumo energético provindo da utilização da motobomba da ETA localizada na cidade de São Lourenço, seguida do dimensionamento de uma planta de geração fotovoltaica otimizada para cobrir seus gastos energéticos. Isso, com o intuito de estudar viabilidade e retorno financeiro utilizando métodos de Payback Simples, VPL e TIR da proposta apresentada.

1.1 Objetivo Principal

De forma geral, este trabalho visa avaliar a viabilidade técnica e financeira de instalação de sistemas fotovoltaicos em estação de tratamento (ETA).

1.2 Objetivo Específico

Nesse sentido, se dá a avaliação do modo de operação das moto-bombas da ETA para a obtenção de seus gastos energéticos. Seguida da realização do dimensionamento de uma planta geradora fotovoltaica. Finalizado isso, realizou-se uma análise financeira do projeto fomentado a partir do cálculo de Payback Simples, VPL e TIR. Foi realizado o cálculo e análise da viabilidade financeira do projeto fomentado junto aos métodos com ajuda dos orçamentos requeridos pelo mesmo e gastos energéticos da planta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Princípios de Operação das Companhias de Saneamento

Considerando o consumo total de 2% de energia elétrica no Brasil, tem-se o equivalente a 8,3 bilhões de kWh/ano, valor este utilizado por prestadores de serviços públicos de abastecimento de água em todo o país.

Analisando somente as despesas totais de serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário com eletricidade no país, esses chegam a R\$ 1,5 bilhão anualmente, e variam entre 6,5 a 23,8% para tais serviços operados por companhias estaduais. Em outros países, a situação não é muito diferente, segundo a fundação *American Water Works Association Research*, os custos com energia elétrica dos prestadores de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos Estados Unidos assumem uma parcela de 34% dos custos totais. Perdendo apenas para a folha de pagamento dos funcionários com 35% dos gastos (SOBRINHO; BORJA, 2016).

Ademais, tem-se que a ineficiência energética na área do saneamento básico seja de 25 a 30% (GOMES et al., 2009), onde essa, causada pelo desperdício é repassada geralmente ao consumidor na forma de tarifa. Por conseguinte, consumo elétrico é diretamente relacionado aos desperdícios de água, pois calcula-se que é necessário 0,6 a 0,7 kWh para a produção de 1 m³. Por conseguinte tem-se relação direta entre a necessidade de eficiência hidráulica e energética para o bom gerenciamento das companhias de saneamento (SOBRINHO; BORJA, 2016).

2.2 Princípios de Funcionamento de Bombas Hidráulicas

Estima-se que 95% do consumo de energia elétrica nas companhias de saneamento é originário dos sistemas de bombeamento (SOBRINHO; BORJA, 2016). Nesse sentido, vale ressaltar o quão difícil pode ser transportar água e esgoto contra a gravidade em tubulações, justificando assim o uso contínuo das motobombas e seu alto custo energético (SANESUL, 2016).

Por definição, bombas hidráulicas são máquinas hidráulicas operatrizes, que recebem energia de uma fonte motora, e transforma parte desta potência em energia cinética e energia

de pressão, as quais são cedidas ao fluido bombeado. Esse processo resulta na circulação ou transporte da substância de trabalho a outro ponto desejado.

Essas máquinas, apesar de suas subdivisões, podem ser divididas em dois grandes grupos, sendo eles bombas centrífugas ou turbo bombas e bombas volumétricas. Nas primeiras, a movimentação do líquido trabalhado ocorre por forças desenvolvidas na massa do líquido, em consequência da rotação de um eixo, no qual é acoplado um disco, rotor ou impulsor, dotado de palhetas que recebe o líquido em seu centro e o expulsa pela periferia, utilizando a força centrífuga. Os exemplos mais conhecidos desse tipo de bomba são as radiais, as de fluxo misto e as de fluxo axial, que se diferem pelo sentido de saída do líquido no rotor. Bombas centrífugas são utilizadas por sua maioria em instalações de água limpa para pequenas, médias e grandes alturas de elevação, e portanto largamente utilizada em estações de tratamento de água (ELETROBRÁS et al., 2008).

Figura 2.1 – Motobombas ETA São Lourenço.



Fonte: Jesus (2018).

Em contrapartida bombas volumétricas, ou de deslocamento positivo, recebem esta denominação pois o líquido ocupa um espaço no interior que varia seu volume interno constantemente. O funcionamento tem o seguinte princípio: o líquido entra na bomba com certo volume e pressão e devido a forma geométrica do interior do equipamento, e ainda, por ação de um dispositivo de impulsão, o volume interior da bomba diminui aumentando a pressão do líquido trabalhado. Essas bombas são classificadas em alternativas e rotativas e se diferem por seus diferentes dispositivos mecânicos de impulsão (ELETROBRÁS et al., 2008).

2.2.1 Geradores Fotovoltaicos em Bombas Centrífugas e Volumétricas

As características de operação das bombas centrífugas acionadas por motores de corrente contínua se adequam razoavelmente bem quando esses são conectados à saída do gerador fotovoltaico. Portanto, pelo fato de possuírem partida gradual e sua vazão aumentar com a corrente elétrica, elas podem até ser conectadas diretamente ao sistema fotovoltaico, sem a inclusão de bateria. Em contrapartida, é necessário um bom estudo do aspecto técnicos de ambos para que haja um bom casamento dos projetos.

O valor da irradiação solar é muito importante para o desempenho das bombas centrífugas conectadas diretamente no gerador solar, já que as mesmas são muito sensíveis à mudança de irradiação. Assim, quando a irradiância diminui, a corrente do gerador é alterada e o motor gira mais lentamente. Em algumas situações o bombeamento pode até ser interrompido, até o retorno de níveis de irradiância mais elevados.

Em geral os tipos de bombas volumétricas mais utilizados em sistemas fotovoltaicos são as bombas de diafragma, essas adequadas majoritariamente a pequenas alturas manométricas, e as bombas de pistão com contrapeso ou as bombas de cavidade progressiva, para grandes alturas manométricas (PINHO et al., 2014).

As características de operação das bombas volumétricas não se ajustam tão bem quanto as das bombas centrífugas quando conectadas diretamente no gerador fotovoltaico. Por este fato, não é recomendável que essa ligação seja feita sem o uso de controladores eletrônicos para ajustar o ponto operacional do gerador, o que proporciona a corrente de partida necessária para a bomba. A bomba volumétrica demanda mais potência de partida do que a bomba centrífuga. Porém, mudanças pequenas de irradiância nesse tipo de bomba, apesar de ocasionar variações na velocidade do motor, não reduzem a capacidade de atingir a altura manométrica necessária, como nas bombas centrífugas.

No caso da classificação de bombas aqui abordado, os controladores eletrônicos como inversores ou conversores são indispensáveis. Tendo em vista que são responsáveis por ajustar o ponto de operação do gerador fotovoltaico, de modo a fornecer a máxima corrente para a partida do motor. Além disso, eles permitem a operação para uma grande faixa de níveis de irradiância, alturas manométricas e vazões de água (PINHO et al., 2014).

2.3 Energia e Potência Elétrica

É de conhecimento geral que a energia pode existir de diversas formas, quando se passa energia elétrica por uma resistência por exemplo ela se transforma em calor. Assim, quando um motor elétrico absorve energia elétrica da rede e a transforma em energia mecânica disponível na ponta do eixo pronta para movimentar uma máquina ou carga ele constata essa afirmativa.

Nos sistemas de corrente contínua a potência elétrica pode ser obtida fazendo uso da tensão, corrente e resistência presentes no circuito como demonstrado na Equação 2.1.

$$P = U.I \quad (2.1)$$

Onde: U = Tensão de linha

I = Corrente de linha

Diferentemente dos sistemas de corrente contínua, aqueles que possuem corrente alternada, tem um funcionamento e princípios diferentes. Nas seções seguintes serão abordados de forma detalhada esses conceitos essenciais para o entendimento dos motores de corrente alternada, os quais serão tratados neste trabalho (WEG, 2021).

2.3.1 Sistemas de Corrente Alternada

Nos sistemas que trabalham com cargas reativas, como aqueles compostos por motores de indução, existe defasagem entre o ângulo de tensão e da corrente e, portanto, tal aspecto deve ser levado em consideração no cálculo da potência. Isso é exemplificado na Equação 2.2.

$$P = \sqrt{3} . U . I . \cos \phi \quad (2.2)$$

Onde: U = Tensão de linha

I = Corrente de linha

$\cos \phi$ = Ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente de fase.

Lembra-se que a unidade utilizada de potência elétrica, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI) é o Watt (W), correspondente a 1 Volt x 1 Ampère, tal unidade também representa a potência mecânica. Já a unidade utilizada para mensurar a energia elétrica é o quilowatt-hora (kWh), que corresponde a energia fornecida por 1kW de potência funcionando por 1 hora. Esta última também é a unidade vista nas faturas de energia elétrica para cobrança (WEG, 2021).

2.3.2 Energia e Potência Mecânica

A potência mecânica pode ser definida pela velocidade com que a energia é consumida em um sistema, exprimindo assim a rapidez com que esta energia é aplicada, e calcula-se, dividindo a energia ou trabalho total pelo tempo gasto para realizá-lo. No Brasil a unidade de potência mecânica é o cv (cavalo-vapor), equivalente a 0,736 kW. A relação de trabalho e potência mecânica propriamente dita pode ser representada pela Equação 2.3 à seguir (WEG, 2021).

$$P_{mec} = \frac{F \cdot d}{t} \quad (2.3)$$

Onde: F = Força

d = Deslocamento.

t = O período.

2.3.3 Potências Aparente, Ativa e Reativa

O Watt também é a medida oficial da potência ativa, que constitui a parcela da potência aparente que gera trabalho e que é transformada em energia. Sendo a potência aparente nada mais do que a multiplicação da tensão pela corrente sem levar em conta a defasagem entre tensão e corrente, ou seja, se a carga fosse composta por resistências.

Já a potência reativa consiste na parcela da potência aparente oposta da potência ativa. Essa parcela que não realiza trabalho é somente transferida aos elementos passivos (capacitores e indutores) do circuito (WEG, 2021). Pode-se observar essa relação com as Equações 2.4 a 2.6 seguintes.

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \text{ (VA)} \quad (2.4)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (W)} \quad (2.5)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin \phi \text{ (VAr)} \quad (2.6)$$

Onde: S = Potência aparente

P = Potência ativa

Q = Potência reativa

2.3.4 Fator de Potência

O fator de potência é referente ao ângulo de defasagem da tensão em relação a corrente, sua grandeza corresponde ao cosseno do mesmo ($\cos \phi$) e representa a relação entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S).

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P \text{ (kW)} \cdot 1000}{3 \cdot U \cdot I} \quad (2.7)$$

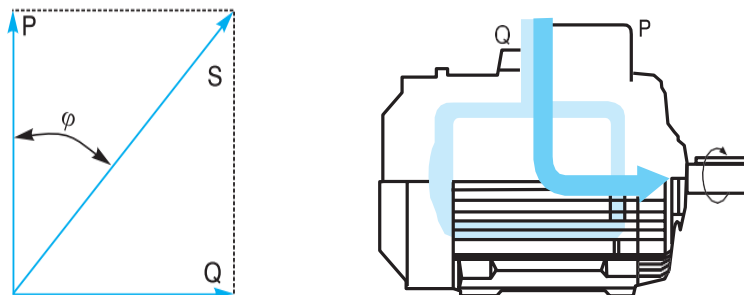
Assim: Carga Resistiva: $\cos \phi = 1$

Carga Indutiva: $\cos \phi$ atrasado

Carga Capacitiva: $\cos \phi$ adiantado

Um motor não necessita somente de potência ativa, que se transforma em trabalho e perdas (calor), mas também consome potência reativa necessária para magnetização do sistema. Na Figura 2.2, o S representa a potência aparente que se divide em potência ativa (P) e potência reativa (Q). Se observa também o ângulo ϕ , que é considerado para obter o valor do fator de potência do motor (WEG, 2021).

Figura 2.2 – Fator de potência.



Fonte: Weg (2021).

2.4 Perdas e Rendimento

O motor de indução trifásico tratado neste trabalho é um equipamento que, como já introduzido, baseia-se nos fenômenos eletromagnéticos e converte energia elétrica em mecânica, ou quando usado como gerador pode fazer o processo reverso. No entanto, essa conversão não é completa devido a uma série de perdas que ocorrem no interior da máquina.

Tais perdas, por sua maioria, podem ser agrupadas em 5 variantes, sendo elas: Perdas Joule no estator, perdas Joule no rotor, perdas no ferro, perdas por atrito e dispersão e perdas por atrito e ventilação. Tendo isto em mente, pode-se definir em conjunto a potência mecânica e o rendimento do equipamento. A primeira pode ser observada quando se retira as perdas citadas do valor de potência elétrica absorvida da rede, resultando na potência mecânica disponível no eixo da máquina ou potência útil (SANTOS et al., 2006).

A potência elétrica absorvida da rede (P_{el}) subtraída das perdas ($\sum P$) resulta na potência mecânica (P_m) disponível no eixo do motor. Onde, o rendimento define a eficiência com que é feita tal conversão da energia elétrica absorvida da rede pelo motor, em energia mecânica disponível. As Equações 2.8 a 2.10 explicitam essas afirmações (SANTOS et al., 2006).

$$n = \frac{P_m}{P_{el}} \quad (2.8)$$

$$P_{el} = P_m + \sum P \quad (2.9)$$

$$n = \frac{P_m}{P_{el}} = \frac{P_m}{P_m + \sum P} = \frac{P_{el} - \sum P}{P_{el}} \quad (2.10)$$

2.5 Fator de Carregamento

Em ambientes industriais, a energia consumida por motores trifásicos pode chegar a mais de 70% dos gastos energéticos. Tendo isso em mente, dois fatores são importantíssimos na análise e escolha de uma máquina consistente do ponto de vista energético, são eles eficiência e fator de potência.

Se o motor for significativamente sobredimensionado e pouco carregado terá, por conseguinte, baixos valores de rendimento e fator de potência, ocasionando aumento no valor de instalação e operação. Em contrapartida, motores subdimensionados também podem

ocasionar maiores gastos, devido ao encurtamento de sua vida útil e futuramente a troca do equipamento (BUCCI et al., 2019).

Tais análises de desempenho são feitas pela aplicação de métodos normalizados ou não. Os mais aplicados são definidos pelas normas IEEE 112-B, IEC 34.2 e JEC 37. Uma vez obtidas as curvas características, o rendimento em operação e carregamento dos motores podem ser encontrados em campo através da medição de corrente e velocidade.

Entretanto, a aplicação dos métodos citados pode conduzir a resultados diferentes, ainda que o motor seja o mesmo. Portanto, a determinação de operação de um motor tem sido reduzida à uma medição de rendimento, uma vez que os métodos citados são impraticáveis. Assim, existem diversos trabalhos na literatura que abordam modelagens não normalizadas para medição de rendimento em campo (SANTOS et al., 2007).

Por conseguinte, enquanto não é apresentada uma solução para medir com exatidão, nem mesmo em laboratório, os valores em operação, considera-se que motores trifásicos são, por sua essência, máquinas eficientes, não havendo necessidade da obtenção de seu rendimento em campo. Pois, um motor bem dimensionado, irá trabalhar em sua melhor região de operação. Dito isso, tal estudo é essencial apenas para quando se deseja realizar análises econômicas, para verificar a necessidade de substituição e gastos energéticos deles.

Sendo assim, ao invés de aplicar algum método não normalizado, e obter um valor discutível para o rendimento, faz-se o cálculo do fator de carregamento em sua condição de aplicação. Se o fator de carregamento for maior que 75% é possível dizer que o motor está em sua zona de bom funcionamento (SANTOS et al., 2007).

2.6 Energia Fotovoltaica

A história da energia fotovoltaica teve início no ano de 1839 com o físico francês Edmond Becquerel, ao descobrir em seus experimentos, que o selênio produzia corrente elétrica quando exposto a radiação. Posteriormente, no ano de 1883, Charles Fritts construiu a primeira célula fotovoltaica sólida utilizando uma fina camada de ouro para revestir o semicondutor selênio. Essa primeira célula projetada apresentava apenas 1% de eficiência. Apesar de não poder ser utilizada na prática em painéis, foi um grande marco para a evolução dos mesmos. Além disso, a célula também foi aproveitada como princípio, no final do século XIX pelo já citado engenheiro alemão Werner Siemens, para comercialização como fotômetros para máquinas fotográficas (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Somente então em 1905, através de Albert Einstein, que explicou o efeito fotoelétrico junto com o surgimento da física dos elementos semicondutores, é que começou a se pensar na transformação da energia solar em elétrica. Desse modo, tal tecnologia iniciou seu processo de expansão, sendo utilizada em projetos residenciais, programas espaciais da *NASA* (National Aeronautics and Space Administration) e também da Rússia, chamada na época de União Soviética, na construção de satélites (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Nesta altura, os rendimentos das melhores células chegavam a 20%, até que por volta da década de 80 essa barreira foi ultrapassada pela primeira vez. Isso ocorreu através dos estudos praticados na Universidade de New South Wales, na Austrália, como resultado das pesquisas da equipe de Dick Swanson, que atingiram 25% de eficiência em células de silício monocristalino (VALLÊRA; BRITO, 2006). A partir dessa fase, com o aumento da emissão de poluentes causadas pelos combustíveis fósseis, os investimentos neste tipo de pesquisa começaram a ter um novo foco, tendo em vista o aumento da eficiência e a produção em massa replicável, a fim de difundir a nova alternativa de energia renovável, visando um mundo mais sustentável.

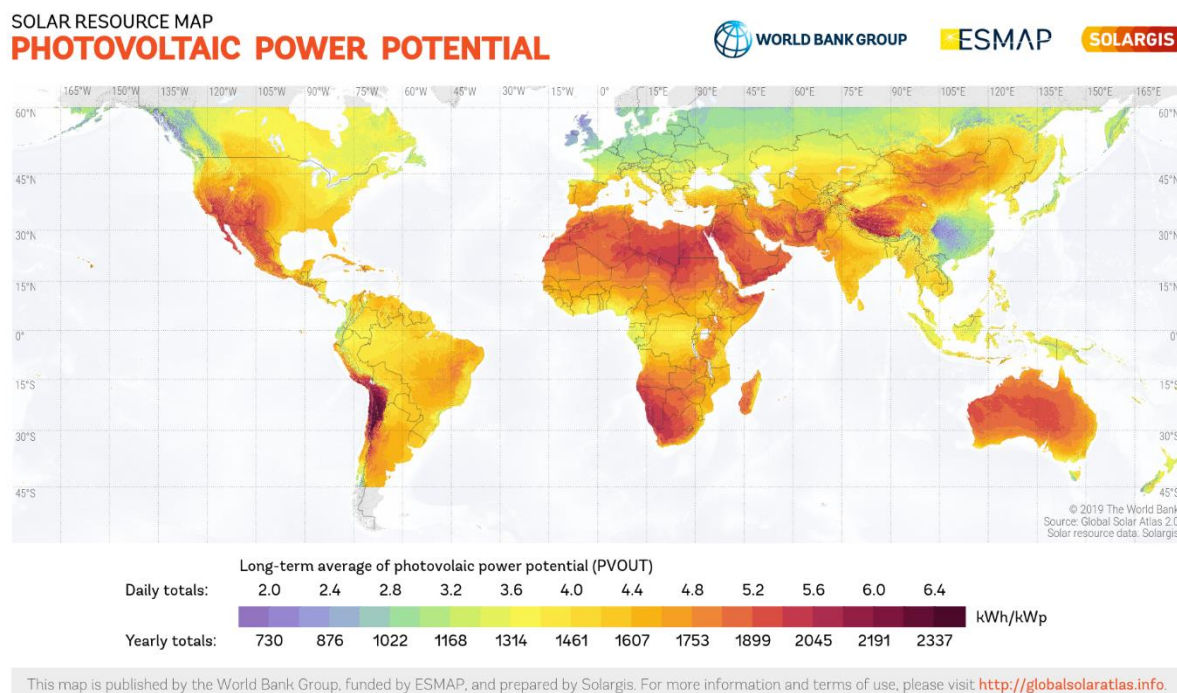
2.7 Radiação Solar

Sabe-se que a radiação solar varia de acordo com a distância dos planetas em relação ao Sol. Nesse sentido, no planeta Terra a radiação solar sofre variações entre 1,47 x 10⁸ km e 1,52 x 10⁸ km durante o ano. Desse modo, a irradiância E_0 varia entre 1.325 W/m² e 1.412 W/m² e teve seu valor médio designado em 1.367 W/m² (PORTAL ENERGIA, 2004).

Entretanto, este valor não é observado em sua totalidade na superfície terrestre, uma vez que há perdas ao longo da trajetória dos raios solares por reflexão, absorção e dispersão. Dessa forma, pode-se dizer que a quantidade aproximada, em média, no globo é de 1.000 W/m² ao meio-dia, em condições climáticas favoráveis, ou seja, sem sombreamento formado por nuvens. Essa média não considera a localização no globo, fator que interfere consideravelmente na radiação como demonstrado na Figura 2.3 (PORTAL ENERGIA, 2004).

Essa variação média da radiação solar, incidente sobre a Terra, quando verificada durante todo o ano, dá forma a irradiação global anual, medida em kWh/m² (PORTAL ENERGIA, 2004).

Figura 2.3 – Média anual da incidência de radiação solar no planeta.



Fonte: Solargis (2020).

2.7.1 Solarimetria

Parâmetros da radiação, tais como, o número de horas do Sol no dia, a radiação difusa, a radiação global e, em alguns casos, a radiação em comprimentos de onda, são medidos e estudados por um ramo da meteorologia chamado Solarimetria. Esses seguimentos são utilizados em diversas aplicações e diferentes áreas do conhecimento (TIBA et al., 2000).

Dentro das medições da radiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre são de suma importância para estudar os efeitos das condições climáticas e atmosféricas. Com os registros dessas medições em determinado período de tempo, pode-se viabilizar e dimensionar instalações de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano. Isso, porque tais radiações podem sofrer grandes mudanças durante esse período (CRESESB, 2008).

Os primeiros estudos realizados com satélites meteorológicos tiveram início por volta de 1960. Eles foram realizados com os dados fornecidos pelo satélite Nimbus 2, de órbita polar. As pesquisas tinham como finalidade obter a irradiação solar incidente sobre a superfície terrestre levando em consideração a energia refletida ao espaço, absorvida pela atmosfera e absorvida pela superfície. Entretanto, tais pesquisas não se mostraram tão eficientes pelo fato

do satélite ser de órbita polar, e portanto, conseguir fazer somente uma medição por dia. Pensando nisso, em 1979 foram desenvolvidos dois modelos físico e estatístico que utilizavam as imagens fornecidas pelo satélite geostacionário GOES, o qual era capaz de fazer várias aferições ao dia (GUIMARÃES, 2003). Esses modelos foram utilizados como base para muitos estudos que contribuíram para os métodos utilizados na atualidade.

Em consequência desse desenvolvimento é possível atualmente obter uma média de irradiação confiável ao considerar a distância espacial fixa do Sol e da Terra, principalmente fora da atmosfera. Sendo assim tem-se a constante solar, que representa a energia do Sol por unidade de tempo, recebida em uma unidade de área perpendicular à direção da radiação. O World 2 Radiation Center (WRC) adotou o valor de 1367 W/m, com incerteza na ordem de 1% já citado anteriormente (PRADO et al., 2007).

Outro importante fator a ser levado em consideração neste trabalho ocorre em recorrência da translação e rotação da Terra. É possível concluir que um plano empírico recebe os raios de sol irradiados com ângulos de incidência diferentes, de acordo com a hora do dia e estação do ano, além de se modificar sua intensidade de acordo com o ângulo e orientação do plano (GUIMARÃES, 2003). Fatores esses melhores descritos na sessão seguinte.

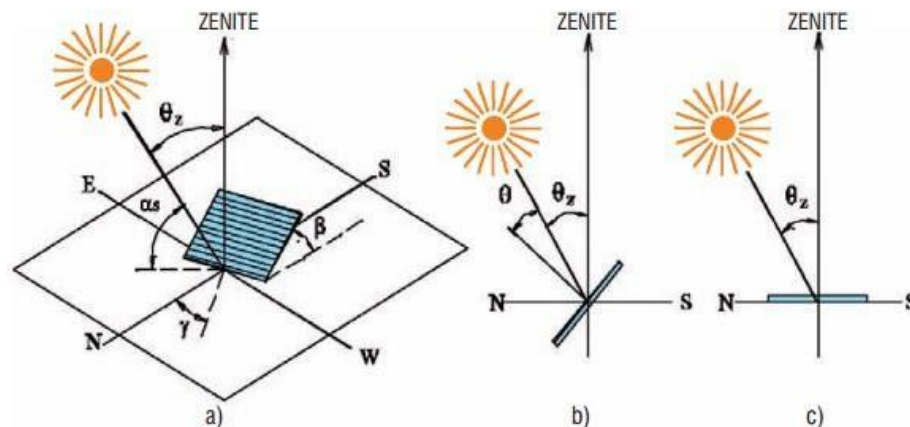
2.7.2 Ângulo de Irradiação Solar

Para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos é necessário ter conhecimento da orientação da incidência dos raios solares em uma superfície, seja plana ou inclinada. A modelagem da irradiação solar em uma superfície não horizontal é mais complexa, devido ao efeito da superfície e da radiação difusa anisotrópica da abóbada celeste, fazendo com que assim, seja necessário alguns instrumentos a mais para medir tal radiação absorvida em relação a radiação direta normal. Através da relação de vários ângulos demonstrados na Figura 2.4, é então possível, determinar tal orientação (ARRUDA, 2004).

Em contraponto, na prática, para geração máxima de energia solar ao longo do ano, o ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico em relação a superfície, demonstrado por β na Figura 2.4, deve ser igual à latitude do local de instalação do mesmo. No entanto, esse ângulo pode apresentar alguma variação quando instalado sem prejudicar significativamente a produção de energia. Para isso, essa variação não deve ser maior que $\pm 10^\circ$ em relação ao ângulo β (PINHO et al., 2014).

Para localidades próximas ao equador, em favor de suas latitudes, aconselha-se utilizar uma inclinação mínima de 10°, para favorecer a autolimpeza dos módulos pela ação da água da chuva. A limpeza dos módulos em locais com muita poeira deve ser feita regularmente, uma vez que o excesso de sujeira reduz sua captação de luz, conseqüentemente reduzindo seu rendimento na produção de energia elétrica (PINHO et al., 2014).

Figura 2.4 – Ângulos solares.



Fonte: Arruda (2004).

2.8 Efeito Fotovoltaico e Células Solares

Pelo termo “fotovoltaico”, entende-se a transformação direta da luz em energia elétrica, através das células solares. Essas são constituídas por alguns materiais semicondutores, alguns deles são: o Silício, o Arsenieto de gálio, Telurieto de Cádmiu ou Disselenieto de Cobre e Índio. O primeiro é o mais comum e compõe cerca de 95% de todas as células solares do mundo e se torna junto ao oxigênio os dois elementos mais frequentemente utilizados no planeta (PORTAL ENERGIA, 2004).

Na construção das células solares busca-se a maior pureza possível desses elementos, que pode ser atingido através de sucessivos processos químicos. Em sua maioria, o fabricante, obtém o material purificado do desperdício da indústria eletrônica de semicondutores (PORTAL ENERGIA, 2004).

Esses componentes citados devidamente processados, quando expostos a luz, geram energia elétrica. O Silício aproveitado, citado anteriormente, é muitas vezes utilizado em placas de processamento nos computadores. Essas possuem o mesmo princípio, e são fabricadas utilizando 3 principais tecnologias: Silício monocristalino, Silício policristalino e Silício

amorfo (CRESESB, 2008). Para que o material de Silício funcione como um gerador de energia, o retículo cristalino é propositalmente contaminado com os chamados átomos impuros. Essas partículas têm um elétron a mais ou um a menos, sendo utilizado no primeiro caso o Fósforo (P) e, no segundo, o Boro (B). Devido a esse fator a célula pode transportar energia tanto com o elétron sobressalente tanto com a lacuna disponível.

Assim, o princípio de funcionamento é relativamente simples. As células de Silício quando projetadas corretamente, geram uma diferença de potencial elétrico quando expostas a luz. Essas células, no painel solar, são interconectadas, de forma a gerar a corrente e a tensão desejadas através da exposição da placa à luz e conseguinte produção de eletricidade em corrente contínua, a qual pode ser usada diretamente ou armazenada em baterias para uso posterior (BISSOCHI et al., 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A estação de tratamento analisada em questão, localizada em São Lourenço, e composta por três motobombas de alto rendimento de 40 cv que ficam a margem do rio e enviam o efluente para a estação de tratamento (ETA) próxima do local. O sistema de motobombas operam sempre com duas ligadas e uma desligada (reserva). Escolheu-se o motor 1 de 40 cv para calcular seu fator de carregamento, rendimento e conseqüentemente a energia consumida.

A metodologia adotada para averiguar a necessidade de substituição e consumo energético dos motores-bombas foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa foram feitas medições utilizando-se Wattímetro Minipa ET-4080 e tacômetro digital para medir as grandezas elétricas do motor em operação e coletar os dados de placa demonstrados na Figura 3.1 (JESUS, 2018). A segunda etapa apresentada neste trabalho, a partir dos dados de operação e de placa obtidos anteriormente, buscou identificar os potenciais de conservação de energia nas motobombas em conjunto com seu consumo energético e, por último, o dimensionamento de um gerador fotovoltaico capaz de reduzir em grande parte os custos energéticos causados pelo motor em análise.

Na Tabela 3.1 e 3.2 apresentam-se de forma sucinta as definições dos parâmetros utilizados para melhor compreensão dos resultados que serão apresentados.

Figura 3.1 – Dados de placa da motobomba na ETA de São Lourenço.



Fonte: Jesus (2018).

Tabela 3.1 – Especificações do motor presente na estação.

MOTOR MOTOBOMBA - ETA SÃO LOURENÇO	
Especificações	
TIPO DE MOTOR	Motor Elétrico Trifásico
CARCAÇA	Gaiola de Esquilo
FABRICANTE	SIEMENS
MODELO	0-91056 ERLAGEN

Fonte: Jesus (2018).

Tabela 3.2 – Dados de placa e coletados do motor presente na estação.

Grandezas	Dados de Placa	Dados Coletados
TENSÃO (V)	220	220
CORRENTE(A)	102	97,8
POTÊNCIA ATIVA(KW/CV)	29,4 / 40	27,44 (kW)
FATOR DE POTÊNCIA	0,82	0,92
RENDIMENTO	0,93	-
ROTAÇÃO	1778	1817

Fonte: Jesus (2018).

3.1 Análise de Carregamento

O carregamento de um motor pode ser entendido como a potência da carga instalada em relação à potência nominal do motor, ou seja, se a potência da carga for muito inferior à sua potência nominal pode-se dizer, em um primeiro momento que o motor se encontra sobre dimensionado, e por tanto gera mais custos do que necessário na fatura mensal da planta.

Deste modo, o fator de carregamento do motor para análise de carregamento pôde ser determinado através da expressão apresentada na Equação 3.1, com dados medidos em campo e nominais (SANTOS et al., 2007).

$$F_c = \frac{2.I_t - I_0}{2.I_N - I_0} \quad (3.1)$$

Onde, I_t representa a corrente de trabalho medida, I_N a corrente nominal e I_0 a corrente em vazio. Esta última, não medida anteriormente, foi calculada em percentagem da corrente nominal pela Equação 3.2 apresentada a seguir (SANTOS et al., 2007).

$$I_0(\%) = 56.93 + 14.53 \cdot \ln(p) - 7.23 \cdot \ln(P_n) \quad (3.2)$$

Na qual p é o número de polos, e P_n a potência nominal (cv) do motor.

Após serem aplicados os conceitos retratados, utilizando-se dos dados de placa e medições de corrente de trabalho em campo, foi possível obter o Fator de Carregamento da motobomba.

3.2 Perdas e Rendimentos

A potência elétrica absorvida da rede (P_{el}) menos as perdas resultam na potência mecânica (P_m) disponível no eixo do motor. O rendimento (η) é a relação entre potência mecânica e a potência elétrica.

O ideal, quando possível, é executar o acoplamento direto, pois o grupo motobomba terá um rendimento maior. É muito importante também que o rendimento da bomba e o rendimento do motor sejam máximos possíveis e que o motor não seja sobredimensionado ou subdimensionado, o que acarretaria aumento de consumo operacional (SANTOS et al., 2006).

O rendimento do motor trifásico em questão foi estimado utilizando-se da Equação 2.8 a partir das potências de mecânica (P_m) e potência elétrica (P_e) calculada com dados coletados em campo (SANTOS et al., 2006).

3.3 Análise do Consumo de Energia

Anteriormente os custos de aquisição de energia pelas distribuidoras somente eram demonstrados ao consumidor sem aviso prévio cerca de um ano depois de sua ocorrência. Hoje, diferentemente, este aviso é feito com antecedência pelas distribuidoras e incluídas de imediato as diferentes taxas de acordo com as bandeiras apresentadas. Essas bandeiras de cobrança tiveram início em 2015 e possuem 3 diferentes modos explicados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2021).

Bandeira verde, onde se encontra condições favoráveis para geração de energia, e por tanto, a tarifa não sofre acréscimo. Bandeira amarela, onde as condições de geração são menos favoráveis e a tarifa sofre um acréscimo no valor por kW/h. Bandeira vermelha, em que as condições de geração são mais custosas e a tarifa sofre um acréscimo bem relevante em relação ao padrão. Em seguida são descritas na Tabela 3.3 as bandeiras tarifárias com referência na média dos últimos 10 anos estabelecidas pela Aneel. Essas utilizadas nos cálculos seguintes de consumo de energia.

Tabela 3.3 – Bandeiras médias fornecidas pela Aneel nos últimos 10 anos.

MÊS	Bandeiras Tarifárias
JAN	Verde
FEV	Verde
MAR	Verde
ABR	Amarela
MAI	Amarela
JUN	Vermelha (Patamar 1)
JUL	Vermelha (Patamar 1)
AGO	Vermelha (Patamar 1)
SET	Vermelha (Patamar 1)
OUT	Vermelha (Patamar 2)
NOV	Verde
DEZ	Verde

Fonte: Aneel (2021).

3.3.1 Energia Consumida por Motor Trifásico

Com os parâmetros calculados anteriormente, foi possível mensurar a energia consumida pela motobomba em questão, utilizando-se da potência mecânica, fator de carregamento e rendimento em operação, junto às bandeiras tarifárias como base de cálculos para seu custo energético considerando a modalidade tarifária THS Verde A4 de classe Industrial. Essas demonstradas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Preço das bandeiras tarifárias da CEMIG.

Tarifa Verde Classe A4	Demanda (R\$/kW)	Horário FP (R\$/kWh)	Horário de Ponta (R\$/kWh)
Demanda	14,86	-	-
Demanda Ultrap. FP Verde	29,79	-	-
Amarela	-	0,34664	1,58306
Vermelha Patamar 1	-	0,36538	1,6018
Vermelha Patamar 2	-	0,38635	1,62277
	-	0,44156	1,67798

Fonte: Cemig (2021).

Calculou-se então a energia diária e mensal consumidas pelo motor trifásico em kWh utilizando a Equação 3.4, que relaciona a potência do motor (P_m), horas de funcionamento (h), fator de carregamento (F_c) calculado e rendimento do equipamento (n) (FERNANDES et al., 2009).

$$E = \frac{P_m \times F_c \times h}{n} \quad (3.4)$$

Primeiro calcula-se o consumo diário para horário de ponta e fora de ponta, e posteriormente, replica-se para o consumo mensal, levando em consideração o padrão de 30 dias com 24 horas de funcionamento. Após obtido o consumo energético do equipamento, foram então utilizadas as tarifas descritas na Tabela 3.4 para calcular o seu custo energético de ponto e fora de ponta na fatura de energia elétrica.

3.4 Incidência Solar e Dimensionamento Fotovoltaico

3.4.1 Incidência Solar

A radiação solar incidente é obtida através de medições, que são normalmente realizadas sobre um plano horizontal. No entanto, a literatura da especialidade refere que um plano inclinado fixo que globalmente maximiza a radiação solar absorvida, deve ter uma inclinação aproximadamente igual à latitude do lugar do projeto (CARNEIRO, 2009).

A base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar fornecido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (PEREIRA et al., 2017) utilizada como referência para os cálculos e construção das Tabelas 3.5 e 3.6, é composta por estimativas fornecidas pelo modelo computacional BRASIL-SR baseadas em 17 anos de imagens de satélite (1999 a 2015). Essas estimativas foram validadas por dados coletados em estações solarimétricas da rede SONDA, de estações privadas e de estações meteorológicas automáticas operadas pelo INMET, totalizando 503 estações de superfície com qualidade adequada para participar do processo de validação.

Os testes de qualidade dos dados observados incluíram critérios para identificar valores superiores aos limites físicos e presença de variabilidade temporal, intercomparação de observações com sensores distintos e comparação com modelos numéricos de céu claro (*clearsky*), para eliminar tanto quanto possível os registros suspeitos. Desta forma tem-se acesso aos dados de irradiação da cidade em questão tomadas como base neste trabalho no dimensionamento da quantidade de módulos necessários para gerar a quantidade de energia consumida pelo motor trifásico.

Tabela 3.5 – Dados de localização.

Cidade	Longitude	Latitude
São Lourenço	-45,051	-22,1175

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 3.6 – Irradiação em plano inclinado na cidade de São Lourenço.

Mês	Irradiação Solar ((Wh/m²) dia) Plano Inclinado
JAN	4912
FEV	5509
MAR	5139
ABR	5259
MAI	4822
JUN	4659
JUL	4852
AGO	5604
SET	5389
OUT	5315
NOV	4934
DEZ	5061

Fonte: Pereira et al. (2017).

3.4.2 Dimensionamento Fotovoltaico

O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) publicou em 2014 o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (PINHO et al., 2014) utilizado neste para dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede, em conjunto com artigos disponíveis no portal de notícias e informações sobre o setor de energia solar Canal Solar (KIKUMOTO, 2019). Também foram analisadas a composição da e tarifa, que para o caso em estudo trata-se de uma fatura de energia elétrica de classe Industrial e modalidade tarifária THS (Tarifa Hora Sazonal) Verde A4. Levando em consideração também, tarifas de consumo de ponta e fora de ponta.

Devem ser avaliadas algumas premissas para validação do dimensionamento em uma fatura de energia elétrica do grupo A. Primeiramente a potência de geração deve ser menor ou igual a demanda contratada, pois não é possível entregar na rede uma quantidade maior de energia que a mesma está apta a receber. Também se leva em consideração, que a energia gerada é consumida, em parte, instantaneamente pela instalação e o restante é injetado na rede em forma de créditos que equivalem à tarifa de consumo Fora de Ponta. Por isso deve-se compensar no dimensionamento o consumo na Ponta utilizando o fator chamado TEP/TEFP posteriormente descrito.

Após avaliadas as premissas destacadas calculou-se a Geração Mensal necessária (G_m), e a Geração Diária necessária (G_d) que compense o consumo de ponta e fora-ponta do motor analisado. Para isso foram utilizadas as Equações 3.5 a 3.7 (KIKUMOTO, 2019):

$$G_m = C_{Mfp} + (C_{Mp} \cdot F_{cor}) \quad (3.5)$$

$$G_d = \frac{G_m}{30} \quad (3.6)$$

Onde, C_{Mfp} é o consumo médio mensal fora de ponta, C_{Mp} o consumo médio mensal em horários de ponta e F_{cor} o fator de correção entre as taxas de energia (TE) da concessionária para horários de ponta e fora-ponta. Este último calculado com a Equação 3.7 (KIKUMOTO,

2019), utilizando-se das taxas TE_p e TE_{fp} fornecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2020) para fatura de energia elétrica da classe em estudo.

$$F_{cor} = \frac{TE_p}{TE_{fp}} \quad (3.7)$$

Posteriormente calculou-se a geração por hora (G) que a planta fotovoltaica necessita para suprir o consumo mensal de energia elétrica. Para isso, a irradiância solar do local, junto com as perdas e rendimento do sistema de fotovoltaico foram levadas em consideração. Ao utilizar a Equação 3.8 tem-se a produção de energia diária, que corresponde a parte CC da potência geradora (KIKUMOTO, 2019).

$$G = \frac{G_d}{(I_r \cdot n_p)} \quad (3.8)$$

Onde, G_d se trata da geração diária necessária citada anteriormente, I_r a irradiância média no local e n_p o rendimento da planta.

O rendimento pôde ser obtido levando em consideração às diversas perdas do projeto. As especificações no *datasheet* do módulo (FIGURA 3.2) auxiliaram no cálculo de algumas perdas, como as relacionadas à temperatura nominal de operação, que no módulo escolhido é de 42°. Sendo este valor 17° acima da temperatura de teste padrão (STC) e tendo o módulo uma queda de 0,37% para cada um grau de elevação na temperatura, resultando em uma perda de 6,29%. Segundo o *datasheet* do inversor (TABELA 3.8) utilizado, o mesmo possui um rendimento de 98,1%, portanto, a perda de 1,9% também deve ser levada em consideração. Os demais fatores relacionados as perdas do projeto, demonstrados na Tabela 3.7, são citadas por Miranda (2014) com referência em artigos científicos para tal resultado.

Tabela 3.7 – Perdas do sistema.

Fator de Perda	Valor (%)
Temperatura Nominal de Operação	6,29%
Baixa Irradiância	4,00%
Inversor	1,90%
Condutores CC	2,00%
Condutores CA	1,00%
Degradação da Incidência Solar Inicial	1,00%

Poeira e Resíduos Acumulados	2,00%
Perdas Totais	18,19%

Fonte: Do autor (2021).

Disposto da Geração ótima horária do sistema, calculada pela Equação 3.8, deve-se então dimensionar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para produzir a demanda encontrada, para isso, fez-se uso da Equação 3.9.

$$N_{mod} = \frac{G}{P_{maxp}} \quad (3.9)$$

Na qual, N_{mod} é o número necessário de módulos fotovoltaicos e P_{maxp} a potência de pico do módulo.

Para o dimensionamento dos inversores usa-se sobrecarregamento devido ao coeficiente de temperatura negativo das tecnologias fotovoltaicas, onde sua potência é reduzida com o aumento de temperatura, costuma-se então dimensionar o inversor com potência nominal inferior ao da geração fotovoltaica. O fator de sobrecarga recomendados por fabricantes e instaladores situam-se na faixa de 25 a 15 por cento. Utilizou-se então nesse trabalho, com segurança, o F_{DI} de 0,78, ou seja, um sobrecarregamento de 22% sobre o inversor. Encontra-se, portanto, utilizando a Equação 3.10 a potência necessária para o inversor (PINHO et al., 2014).

$$F_{DI} = \frac{P_{nca}}{P_{Gcc}} \quad (3.10)$$

Onde, P_{nca} é a potência nominal em corrente alternada (CA) do inversor, P_{Gcc} a potência total em corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos e F_{DI} o fator de dimensionamento do inversor.

3.5 Indicadores Financeiros

Para estimar o investimento e retorno financeiro do projeto idealizado foram feitas análises do consumo energético mensal da estação de tratamento e aplicação de indicadores financeiros. Para tal baseou-se nos custos tarifários por kWh da classe contratada junto a distribuidora e bandeiras tarifárias.

Segundo Souza e Clemente (2008), entre as técnicas mais utilizadas para seleção e viabilidade de projetos estão: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), período de recuperação do capital (payback) e índice de lucratividade.

3.5.1 Payback Simples

O período de recuperação do investimento, *payback*, é definido como período de anos ou meses, dependendo da escala utilizada, que são necessários para que o investimento inicial realizado seja recuperado, ou ainda igualado, dividindo-se o fluxo negativo inicial pelo fluxo dos períodos futuros. Quanto maior o período de payback, maior o fator risco do projeto (CHRISTMANN, 2009).

Portanto, no contexto de plantas fotovoltaicas *on grid*, onde a forma de retorno financeiro se deve ao custo evitado referente a energia elétrica com taxas fixas determinadas pelas concessionárias, utiliza-se pela maioria do mercado, em pequenos e médios projetos, a análise de Payback Simples. Utilizando-se da relação da Equação 3.11.

$$Payback = \sum_{t=0}^T CF_t = I_{n0} \quad (3.11)$$

Onde, CF_t consiste no fluxo de caixa total no tempo t provindo do investimento inicial I_{n0} .

3.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Para análise de investimentos, um dos métodos mais tradicionais utilizados é o Valor Presente Líquido (VPL) que representa um método de análise robusta amplamente conhecido. Para aplicação do método do VPL no projeto em análise levou-se em consideração a concentração do fluxo de caixa esperado no período de tempo em estudo. Para o juro, é geralmente utilizada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que representa o retorno percentual mínimo esperado para que o investimento seja viável. A TMA escolhida para este trabalho foi de 10%, com base em investimentos de pouco risco no mercado atual brasileiro.

O valor presente líquido foi encontrado quando subtraído o investimento inicial do somatório desta série de fluxos de caixa em período determinado (SOLAR VIEW, 2020). Se o resultado obtido for maior que zero em tal análise, resume-se que o projeto de investimento é viável, pois o mesmo cobrirá o investimento inicial, além do retorno mínimo exigido pela TMA e ainda oferecerá um bom retorno líquido ao investidor. Quando o resultado do VPL for igual à zero, significa que o projeto de investimento se apresenta indiferente, cobrindo apenas o investimento inicial e a taxa mínima de atratividade. Por fim, quando encontrado um valor negativo, o projeto de investimento deve ser rejeitado, pois o seu retorno não será suficiente nem mesmo para pagar o investimento inicial e TMA apresentados. Defini-se o VPL algebricamente pela Equação 3.12 descrita (CHRISTMANN, 2009).

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (3.12)$$

Onde, i é taxa de mínima de atratividade (TMA), t o período de análise determinado, FC_t o fluxo de caixa no período t , e FC_0 o investimento inicial do projeto.

3.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Calcula-se a Taxa Interna de Retorno (TIR) para averiguar a atratividade do investimento em relação a TMA. Em que a taxa é um indicador que representa a total remuneração do capital investido. A mesma é calculada através da igualdade entre os fluxos de entrada e de saída de um fluxo de caixa e apresenta resultado satisfatório quando seu valor é maior do que a taxa mínima de atratividade para o projeto. A taxa interna de retorno foi adquirida satisfazendo-se a Equação 3.13 e identificando o valor de i que representa o valor da TIR.

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 = 0 \quad (3.13)$$

A TIR não é tão facilmente calculada, pois dificilmente é possível isolar i da equação acima e o colocar em evidência. Portanto para sua resolução deve-se aplicar o método de aproximações sucessivas ou método numérico de tentativa e erro. Neste trabalho, utilizou-se o segundo método, onde foram atribuídos valores a i até que o VPL se igualou a zero como apresentado na Equação 3.13 (SANTOS, 2009).

3.6 Equipamentos utilizados

O modelo do módulo solar escolhido para integrar o projeto da planta solar dimensionada foi o modelo KuMax CS3U-355P da marca Canadian Solar, que possui potência nominal de 355 Wp, além de ser fabricado em policristalino, possuir a eficiência de 17,89% e apresentar o melhor custo benefício encontrado para o projeto. As principais especificações do mesmo se encontram na Figura 3.2, outras informações mais detalhadas podem ser consultadas também no Anexo A.

Figura 3.2 – Dados técnicos do módulo solar KuMax CS3U-355P.

DADOS ELÉTRICOS STC*					DADOS MECÂNICOS	
CS3U	355P	360P	365P	370P	Especificação	Dados
Máx. potência nominal (Pmax)	355 W	360 W	365 W	370W	Tipo de célula	Policristalina, 156,75 × 78,38 mm
Tensão de operação (Vmp)	39,4 V	39,6 V	39,8 V	40,0 V	Arranjo de células	144 [2 × (12 × 6)]
Corrente de operação (Imp)	9,02 A	9,10 A	9,18 A	9,26 A	Dimensões	2000 × 992 × 35 mm (78,7 × 39,1 × 1,38 pol.)
Tensão de circuito aberto (Voc)	46,8 V	47,0 V	47,2 V	47,4 V	Peso	22,5 kg (49,6 lbs)
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,59 A	9,67 A	9,75 A	9,83 A	Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm
Eficiência do módulo	17,89%	18,15%	18,40%	18,65%	Quadro	Liga de Alumínio Anodizado, com barra transversal
Temperatura de operação	-40°C ~ +85°C				Caixa de Junção	IP68, 3 diodos
Máx. Tensão do Sistema	1500V (IEC/UL) ou 1000V (IEC/UL)				Cabo	4 mm2 (IEC), 12 AWG (UL)
Desempenho antichamas do módulo	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)				Comprimento do Cabo	Retrato: 400 mm (15,7 pol.) (+) / 280 mm (11,0 pol.) (-); palsagem: 1250 mm (49,2 pol.); conexão leap-frog: 1670 mm (65,7 pol.)*
Valor máximo do fusível em série	30 A				Conector	Série T4, H4 UTX ou MC4-EVO2
Classificação da aplicação	Classe A				Por palete	30 peças
Tolerância de potência	0 ~ + 5 W				Por container (40' HQ)	660 peças

* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiância de 1000 W/m², espectro AM 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

Fonte: Canadian Solar Brasil (2020).

Deve-se estimar o inversor a partir da potência do sistema fotovoltaico, além de considerar outros fatores econômicos, desempenho, compatibilidade e qualidade da marca em questão. O inversor escolhido possui uma potência de saída de somente 50 kWp, sendo assim necessário adquirir 3 exemplares do mesmo para atingir o valor da planta dimensionada levando em consideração o fator de sobrecarregamento. Trata-se do modelo Sunny Tripower Core1 STP 50-40 da marca SMA, cujas principais características se encontram na Tabela 3.8 e são mais detalhadas no Anexo B.

Tabela 3.8 – Dados técnicos do inversor.

Dados técnicos	Sunny Tripower CORE1
Entrada (CC)	
Potência máx. do gerador fotovoltaico	75000 Wp STC
Tensão máx. de entrada	1000 V

Intervalo de tensão MPP / Tensão atribuída de entrada	500 V a 800 V/670 V
Tensão mín. de entrada / Tensão de entrada inicial	150 V / 188 V
Corrente máx. de entrada / por MPPT	120 A / 20 A
Corrente de curto-circuito máx. por MPPT / por entrada de string	30 A / 30 A
Número de entradas MPPT independentes / strings por entrada MPPT	6 / 2
Saída (CA)	
Potência atribuída (com 230 V, 50 Hz)	50000 W
Potência aparente CA máx.	50000 VA
	220 V / 380 V
Tensão nominal CA	230 V / 400 V
	240 V / 415 V
Intervalo de tensão CA	202 V a 305 V
Frequência de rede CA / intervalo	50 Hz / 44 Hz a 55 Hz
	60 Hz / 54 Hz a 65 Hz
Frequência de rede atribuída / tensão de rede atribuída	50 Hz / 230 V
Corrente máx. de saída / corrente de saída atribuída	72,5 A / 72,5 A
Fases de injeção na rede / ligação CA	3 / 3-(N)-PE
Factor de potência na potência atribuída / factor de desfasamento ajustável	1 / 0 sobreexcitado a 0 subexcitado
THD	< 3
Rendimento	
Rendimento máx. / Rendimento Europeu	98,1 % / 97,8 %

Fonte: SMA Solar Technology AG (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de Operação e Consumo Energético do Motor

Para estudo do consumo energético do motor fez-se a princípio a análise de como o equipamento está operando na ETA, levando em consideração o período de funcionamento do mesmo, que no caso em questão trata-se de 24 horas diárias. A motobomba em questão exerce a função de captar a água à margem do Rio Verde e a enviar para a estação de tratamento (ETA), que fica localizada próxima ao local.

Utilizando as Equações 3.1 e 3.2, obteve-se o fator de carregamento (F_c) do motor que resultou no valor adimensional de 0,94, levando em consideração sua corrente elétrica nominal, de operação e em vazio. A motobomba apresentou também rendimento de 0,86 em operação, rendimento esse um pouco abaixo do nominal, que pode ser explicado pelo seu desgaste ao longo dos anos.

Para estudo de carregamento quando tal fator é menor que 0,75 significa que o motor foi sobredimensionado, porém, em alguns casos existem motivos para tal, como em ciclos de carga severos ou em partidas de cargas com alta inércia onde o uso de sobredimensionamento é necessário. Como o F_c encontrado é maior que 0,75 no caso em estudo quer dizer que o motor está bem dimensionado (SANTOS et al., 2006). Apesar disso sempre deve-se observar se o motor apresenta sinais de exaustão, já que trabalha perto do seu 100%, para não ocasionar gastos inesperados no futuro.

Tabela 4.1 – Dados calculados do motor presente na ETA 1 de São Lourenço.

Grandezas Calculadas	
Fator de Carregamento	0,94
Rendimento em Operação	0,86

Fonte: Do autor (2021).

Em definição dos gastos energéticos da motobomba, utilizou-se o rendimento operacional calculado na Equação 3.3 junto a sua potência mecânica e fator de carregamento para visualizar o consumo energético em seus diferentes períodos de utilização, fazendo uso da Equação 3.4 e tendo como base seu período de funcionamento. Resultando no consumo para os horários de ponta e fora de ponta (HFP) demonstrados na Tabela 4.2, levando em consideração também o fato de não existir horário de ponta nos finais de semana.

Tabela 4.2 – Valores de energia consumida por motor trifásico.

Motor Classe IR2	Horário FP	Horário FP Finais de Semana	Horário de Ponta
Energia Diária (kWh)	680,32	777,51	97,19
Horas de trabalho por dia (H)	21	24	3
Dias	22	8	22
Energia Mensal Média (kWh)	14967,07	6220,08	2138,15
Energia Mensal Total (kWh)		23325,31	

Fonte: Do autor (2021).

Em posse do consumo energético mensal do motor em estudo, que corresponde a 95% dos gastos totais em energia elétrica de uma companhia de saneamento como citado anteriormente, obteve-se então o custo mensal em provindo do mesmo. Para isso, levou-se em consideração as bandeiras tarifárias mencionadas na Tabela 3.3 e o preço das mesmas em R\$/kWh para a modalidade tarifária THS Verde A4 de classe Industrial. Foram então obtidos os resultados dos custos mensais com energia elétrica apresentados na Tabela 4.3. Custos esses utilizados posteriormente para comparação com a economia gerada pelo gerador fotovoltaico.

Tabela 4.3 – Bandeiras tarifárias e custo mensal de energia da motobomba 1.

Mês	Bandeira Tarifária	Custo Mensal
JAN	Verde	R\$ 10.729,14
FEV	Verde	R\$ 10.729,14
MAR	Verde	R\$ 10.729,14
ABR	Amarela	R\$ 11.166,26
MAI	Amarela	R\$ 11.166,26
JUN	Vermelha (Patamar 1)	R\$ 11.655,39
JUL	Vermelha (Patamar 1)	R\$ 11.655,39
AGO	Vermelha (Patamar 1)	R\$ 11.655,39
SET	Vermelha (Patamar 1)	R\$ 11.655,39
OUT	Vermelha (Patamar 2)	R\$ 12.943,18
NOV	Verde	R\$ 10.729,14
DEZ	Verde	R\$ 10.729,14
Total		R\$ 135.542,95

Fonte: Do autor (2021).

4.2 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Tomando como base o consumo médio mensal fora de ponta (C_{Mfp}) e o consumo médio mensal em horários de ponta de energia elétrica (C_{Mp}) apresentados na Tabela 4.2 calculou-se a geração mensal, diária e horária necessária para alimentar o consumo do motor trifásico fazendo uso das Equações 3.5 a 3.8. Para tal foi levado em conta o fator de correção F_{cor} de 1,68, resultante das TEs apresentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e as perdas listadas na Tabela 3.7. Esse fator é utilizado para corrigir os consumos de ponta e fora de ponta, já que o kWh produzido pelos painéis fotovoltaicos tem valor em reais equivalente ao horário de sua geração, ou seja, em horário fora de ponta. Foram obtidos os resultados demonstrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Geração necessária para abastecimento da motobomba.

Geração Necessária	
Geração Mensal (kWh)	24779,25
Geração Diária (kWh)	825,98
Geração Horária (kWp)	192,97

Fonte: Do autor (2021).

Com os valores dimensionados da geração horária de 192,97 kWp, essa utilizada para se referir a grandeza do gerador fotovoltaico, juntamente com a potência de pico do módulo KuMax CS3U-355P escolhido, obteve-se como resultado a necessidade de 544 módulos instalados na planta fotovoltaica, que irão gerar por hora solar 193,12 kWp para suprir a necessidade energética.

Em acordo com a potência de pico encontrada, foi então dimensionado a potência necessária para o inversor, que resultou em 150,63 kW em corrente alternada, levando em consideração o fator de dimensionamento (F_{DI}). Tendo em vista o ponto financeiro e qualitativo, escolheu-se usar 3 inversores Sunny Tripower Core1 STP 50-40 da marca SMA de 50 kW.

4.3 Análise de Investimento e Retorno Financeiro

Para expor o investimento necessário para realização da planta fotovoltaica dimensionada neste, fez-se estimativa de preços de equipamentos, projeto, instalação, custos e despesas administrativas. Esses obtidos nas empresas Neosolar Energia, TecnoALL e pelo mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica (IDEAL; AHK-RJ, 2018) que tem como base os preços de sistemas fotovoltaicos informados pelas empresas instaladoras e integradoras EPC. A composição de preços do gerador fotovoltaico é representada na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Composição de preço do gerador fotovoltaico.

Equipamento e Outros Custos		Preços
Painéis Solares	R\$	373.874,88
Inversores	R\$	127.200,06
Estruturas Metálicas de Suporte	R\$	92.114,40
Outros Componentes (instalações, proteções elétricas e etc.)	R\$	64.480,08
Projeto e Instalação	R\$	128.96,106
Custos e Despesas Administrativas	R\$	92.115,00
Total	R\$	878.744,58

Fonte: Do autor (2021).

Os custos são compostos por 544 painéis fotovoltaicos e 3 inversores de potência, além dos demais componentes citados na Tabela 4.5, e resultaram em R\$ 878.744,58, valor este em média confirmado por orçamento realizado pelo simulador de investimento da empresa SolarVolt se diferenciando em apenas 1,78%.

Utilizando-se do payback simples, VPL e TIR tem-se os resultados de viabilidade do investimento para realização do projeto fotovoltaico, com foco na economia anual energética culminando no capital gerado nos 25 anos de funcionamento da planta. A análise tem como referência a média das tarifas de energia da classe contratada em horário fora de ponta nas bandeiras mencionadas na Tabela 3.3, que representa o valor do kWh gerado e vendido à concessionária, também considerando um reajuste anual de 6%, irradiância média do local de 5,22 kWh/m².dia e perda anual de eficiência de 0,7%, referente a degradação dos módulos fotovoltaicos (PINHO et al., 2014).

Tabela 4.6 – Retorno de investimento em 25 anos por Payback Simples.

	Saldo	Ano		Economia Anual
-R\$	766.833,52	1	R\$	111.911,06
-R\$	648.612,58	2	R\$	118.220,94
-R\$	523.725,99	3	R\$	124.886,59
-R\$	391.797,92	4	R\$	131.928,07
-R\$	252.431,36	5	R\$	139.366,56
-R\$	105.206,89	6	R\$	147.224,47
R\$	50.318,53	7	R\$	155.525,42
R\$	214.612,94	8	R\$	164.294,41
R\$	388.170,75	9	R\$	173.557,82
R\$	571.514,27	10	R\$	183.343,52
R\$	765.195,25	11	R\$	193.680,98
R\$	969.796,54	12	R\$	204.601,29
R\$	1.185.933,85	13	R\$	216.137,32
R\$	1.414.257,63	14	R\$	228.323,78
R\$	1.655.454,99	15	R\$	241.197,36
R\$	1.910.251,77	16	R\$	254.796,78
R\$	2.179.414,75	17	R\$	269.162,98
R\$	2.463.753,95	18	R\$	284.339,19
R\$	2.764.125,03	19	R\$	300.371,08
R\$	3.081.431,93	20	R\$	317.306,90
R\$	3.416.629,54	21	R\$	335.197,61
R\$	3.770.726,59	22	R\$	354.097,05
R\$	4.144.788,69	23	R\$	374.062,10
R\$	4.539.941,52	24	R\$	395.152,83
R\$	4.957.374,24	25	R\$	417.432,72

Fonte: Do autor (2021).

Ao analisar a Tabela 4.6 é possível identificar, através do Payback Simples, que após o 6º ano para obter-se o retorno total do capital investido no gerador fotovoltaico dimensionado e orçado neste trabalho. Mesmo levando a perda anual de rendimento dos módulos de 0,7% já citada, quando contemplados os 25 anos de duração da planta fotovoltaica, a estação de tratamento obterá uma economia total com a redução dos custos energéticos a quantia de R\$ 4.957.374,24.

A economia oferecida pelo gerador fotovoltaico, a partir do ano 7, poderá também ser revertida em capital de giro da empresa, podendo ser usada para manutenção da companhia, compra de novos maquinários e outros custos como folha de pagamento ou melhoria nos processos realizados.

Com a visualização do Gráfico 4.1 podemos observar os dados comentados anteriormente, como déficit e período de retorno do investimento, além de ilustrar o retorno crescente anual durante os 25 anos de operação da planta fotovoltaica ocasionado pelo reajuste anual das tarifas.

Gráfico 4.1 – Retorno de investimento em 25 anos por Payback Simples.



Fonte: Do autor (2021).

Seguindo a análise de viabilidade do investimento fez-se cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) do projeto utilizando-se do somatório apresentado na Equação 3.13. O resultado obtido e demonstrado na Tabela 4.7, apresentou um lucro líquido de R\$ 753.907,11 utilizando uma TMA de 10%. Por conseguinte, o projeto em estudo possui grande atratividade quando observado que o mesmo além de cobrir o investimento inicial e o retorno mínimo exigido referente a TMA, ainda apresentando um significativo lucro líquido.

Tabela 4.7 – Análise de Valor Presente Líquido (VPL).

Ano	Parcela Anual VPL	Economia Anual
1	R\$ 101.737,33	R\$ 111.911,06
2	R\$ 97.703,26	R\$ 118.220,94
3	R\$ 93.829,14	R\$ 124.886,59
4	R\$ 90.108,64	R\$ 131.928,07
5	R\$ 86.535,67	R\$ 139.366,56
6	R\$ 83.104,37	R\$ 147.224,47
7	R\$ 79.809,13	R\$ 155.525,42
8	R\$ 76.644,55	R\$ 164.294,41
9	R\$ 73.605,46	R\$ 173.557,82
10	R\$ 70.686,86	R\$ 183.343,52
11	R\$ 67.884,00	R\$ 193.680,98
12	R\$ 65.192,28	R\$ 204.601,29
13	R\$ 62.607,28	R\$ 216.137,32
14	R\$ 60.124,79	R\$ 228.323,78
15	R\$ 57.740,73	R\$ 241.197,36
16	R\$ 55.451,20	R\$ 254.796,78
17	R\$ 53.252,46	R\$ 269.162,98
18	R\$ 51.140,90	R\$ 284.339,19
19	R\$ 49.113,07	R\$ 300.371,08
20	R\$ 47.165,65	R\$ 317.306,90
21	R\$ 45.295,44	R\$ 335.197,61
22	R\$ 43.499,40	R\$ 354.097,05
23	R\$ 41.774,57	R\$ 374.062,10
24	R\$ 40.118,13	R\$ 395.152,83
25	R\$ 38.527,37	R\$ 417.432,72
VPL	R\$ 753.907,11	

Fonte: Do autor (2021).

A respeito da taxa interna de retorno (TIR) obteve-se ao utilizar o método numérico de tentativa e erro em planilha e análise do fluxo de caixa resultante do projeto, um retorno percentual de aproximadamente 17,48% no período analisado provindos do gerador fotovoltaico instalado na planta. A seguir apresenta-se na Tabela 4.8 as parcelas resultantes do somatório e o resultado final da TIR, que representa a ótima atratividade do projeto quando comparado a TMA de 10%.

Tabela 4.8 – Taxa Interna de Retorno (TIR).

Ano	Parcela Anual VPL / TIR	Economia Anual
1	R\$ 95.259,67	R\$ 111.911,06
2	R\$ 85.657,72	R\$ 118.220,94
3	R\$ 77.023,63	R\$ 124.886,59
4	R\$ 69.259,83	R\$ 131.928,07
5	R\$ 62.278,61	R\$ 139.366,56
6	R\$ 56.001,07	R\$ 147.224,47
7	R\$ 50.356,30	R\$ 155.525,42
8	R\$ 45.280,51	R\$ 164.294,41
9	R\$ 40.716,34	R\$ 173.557,82
10	R\$ 36.612,23	R\$ 183.343,52
11	R\$ 32.921,81	R\$ 193.680,98
12	R\$ 29.603,37	R\$ 204.601,29
13	R\$ 26.619,42	R\$ 216.137,32
14	R\$ 23.936,24	R\$ 228.323,78
15	R\$ 21.523,53	R\$ 241.197,36
16	R\$ 19.354,01	R\$ 254.796,78
17	R\$ 17.403,17	R\$ 269.162,98
18	R\$ 15.648,97	R\$ 284.339,19
19	R\$ 14.071,59	R\$ 300.371,08
20	R\$ 12.653,21	R\$ 317.306,90
21	R\$ 11.377,80	R\$ 335.197,61
22	R\$ 10.230,94	R\$ 354.097,05
23	R\$ 9.199,69	R\$ 374.062,10
24	R\$ 8.272,38	R\$ 395.152,83
25	R\$ 7.438,55	R\$ 417.432,72
TOTAL	-R\$ 43,98	
TIR		17,48%

Fonte: Do autor (2021).

5 CONCLUSÃO

A partir de um fator fundamental para investir em uma planta fotovoltaica como a irradiação solar local, o projeto em estudo demonstrou que a localização da estação de tratamento, apresenta bons indicadores climáticos e solarimétricos. Além dos fatores citados, confirmou-se o alto custo energético provindo de motobombas nas companhias de saneamento. Isso, com base na análise do motor localizado na ETA de São Lourenço, o qual apresentou bom fator de carregamento. No entanto, esse equipamento demonstrou rendimento um pouco abaixo do nominal, culminando em um gasto energético ainda maior.

Levando em consideração os fatores descritos, pode-se dizer que a instalação e o investimento em uma planta de geração de energia fotovoltaica é uma ótima alternativa para redução dos custos operacionais da companhia. Após confirmação de tais premissas, realizou-se, portanto, o dimensionamento fotovoltaico para atender o consumo energético proveniente da motobomba, que resultou em um gerador fotovoltaico de 193,12 kWp.

A partir do orçamento do projeto, da perda de eficiência dos módulos em decorrência dos anos e da taxa de ajuste anual relativa aos custos de energia elétrica, foi realizada a análise de investimento do gerador dimensionado que apresentou já no primeiro ano uma redução de 83% dos custos na referentes ao equipamento. Além disso, foram utilizados os métodos de Payback Simples, VPL e TIR, os quais apresentaram ótimos resultados. Onde, a análise por Payback Simples apresentou um período de 6 anos para obter o retorno total do capital investido e uma economia de R\$ 4.957.374,24 durante os 25 anos de vida útil do gerador fotovoltaico. Na análise dos métodos do Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), os resultados superaram a taxa mínima de atratividade (TMA) definida em 10%, culminando ainda para o primeiro, em um lucro líquido de R\$ 753.907,11 e no segundo uma TIR de 17,48%.

Mediante os resultados do estudo, o investimento, além de não demonstrar risco financeiro de perda de capital, por ter apresentado ótimos resultados quando comparado a TMA estipulada e verificar resultado líquido positivo do VPL, possui um ótimo retorno de capital. Onde, tal capital economizado com o projeto, poderá ser aplicado em outros projetos, treinamentos e inclusive investimentos em maquinário, como por exemplo, em uma motobomba mais moderna e com melhor rendimento, que oferecerá ainda mais redução nos custos operacionais da estação de tratamento de água de São Lourenço.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Calendário e resultado dos processos tarifários de distribuição.** 2020. Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>>. Acesso em: 15 de ago. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatório de Bandeiras Tarifárias.** 2021. Disponível em:<<https://www.aneel.gov.br/relatorio-bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 15 ago. 2021.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** 2004. 250 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Energia solar cresce 22,5% no mundo.** São Paulo, 2020. Disponível em:<<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-cresce-225-no-mundo/>>. Acesso em: 25 ago. 2021.

BISSOCHI, F. et al. **Utilizando técnicas de realidade virtual para o estudo da conversão de energia solar em energia elétrica.** Uberlândia, 2021. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/265982067_Utilizando_Tecnicas_de_Realidade_Virtual_Para_o_Estudo_da_Conversao_de_Energia_Solar_em_Energia_Eletrica>. Acesso em: 18 out. 2021.

BUCCI, G. et al. A Simplified Indirect Technique for the Measurement of Mechanical Power in Three-Phase Asynchronous Motors. **International Journal of Emerging Electric Power Systems**, Águila, p.1, 2019.

CANADIAN SOLAR BRASIL. **Kumax cs3u-355|360|365|370p:** módulo poli de alta eficiência (1000 v / 1500 v). São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custom/uploa>

d/File-1594840569.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

CARNEIRO, J. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**: sistemas ligados à rede e sistemas autônomos. Universidade do Minho, Campus de Azurém. Guimarães, 2009. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/dimensionamento-sistemas-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Energia Solar: Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:< http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf >. Acesso em: 20 set. 2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Tutorial de energia solar fotovoltaica**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:< http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4 >. Acesso em: 19 set. 2021.

CHRISTMANN, R. A. **Análise de investimentos**: um sistema de apoio à decisão. 2009. 87 p. Monografia (Bacharel em Administração)- Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2009.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Bandeira tarifária**. 2021. Disponível em:<<https://www.cemig.com.br/atendimento/bandeira-tarifaria/>>. Acesso em: 13 ago. 2021.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Valores de tarifas e serviços**. 2021. Disponível em:<<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

ELETROBRÁS et al. **Bombas: Guia Básico**. 2. ed. Brasília: IEL/NC, 2009.

EMPRESA DE SANEAMENTO DE MATO GROSSO DO SUL (SANESUL). **Custos operacionais de água e esgoto são tema de palestra ministrada pela Sanesul**. Campo

Grande. 2016 Disponível em: <<http://www.sanesul.ms.gov.br/noticias/custos-operacionais-de-agua-e-esgoto-sao-tema-depalestra-ministrada-pela-sanesul>>. Acesso em: 20 out 2021.

FERNANDES, U. B. et al. **Análise econômica na especificação do motor de indução trifásico**. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 7., 2009, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Ed. UFU, 2009. Disponível em:<https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2009/ceel2009_001.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2021.

GOMES, H. P. et al. Tecnologias de Conservação em Sistemas Públicos. In: Gonçalves, R.F. **Uso racional de água e energia**. 1. ed., Rio de Janeiro: Ed. ABES, 2009. cap. 4, p. 155 – 156.

GUIMARÃES, A. P. Os 400 anos do de magnete. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 167, p. 74-77, 2000.

GUIMARÃES, A. P. C. **Estimativa de parâmetros da camada atmosférica para cálculo da irradiação solar incidente na superfície terrestre**. 2003. 185 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA (IDEAL); AHK-RJ. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**, Florianópolis, v. 5, p. 33-37, 2018. Disponível em:<https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2018_digital3>. Acesso em: 12 out. 2021.

JESUS, F.D. de. **Projeto de conservação de energia elétrica nas bases de tratamento de água do SAAE do Sul de Minas Gerais**. Fundeccc/UFLA, Lavras, MG, 2018. 72 p.

KIKUMOTO, B. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para o grupo A**. Campinas, 2019. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-o-grupo-a/>>. Acesso em: 05 set. 2021.

MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2014. 85 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica)–Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MOUSAZADEH, H. et al. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Belfast, v. 13, n. 8, p. 1800-1818, 2009.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PINHO, J. T. et al. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014. 530 p. CEPEL/CRESESB. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em:<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2021.

PORTAL ENERGIA. **Energia fotovoltaica**: manual sobre tecnologias, projecto e instalação. 2004. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/manual-e-guia-tecnico-de-energia-solar-fotovoltaica-tecnologias-projecto-e-instalacao/>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

PRADO, R. T. A. et al. **Levantamento do estado da arte**: energia solar. São Paulo: USP, 2007. Disponível em:<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/tecnologias-para-construcao-mais-sustentavel/HabitacaomaisSustentavel_D2.3_energia_solar.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de energia**: eficiência energética de equipamentos e instalações. 3. ed. Itajubá: UNIFEI. 2006.

SANTOS, A. H. M. et al. **Eficiência energética**: teoria & prática. 1. ed. Itajubá: UNIFEI. 2007.

SANTOS, I. M. A. dos. **Análise de investimentos**. Campinas, 2009. Disponível em:<http://vigo.ime.unicamp.br/Projeto/2009-2/MS777/ms777_ieda.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2021.

SOBRINHO, R. A.; BORJA P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Salvador, v. 21, n.4, p. 784 – 785, out./dez. 2016.

SOLARGIS. **Photovoltaic power potential. 2020.** 1 mapa, color. Disponível em:<<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>>. Acesso em: 11 set. 2021.

SOLAR VIEW. **O que são TMA, VPL, TIR e Payback?. 2020.** Disponível em:<<https://solarview.zendesk.com/hc/pt-br/articles/360053021011>>. Acesso em: 29 out. 2021.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análises de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. **Sunny Tripower Core1 STP 50-40.** 2020. Disponível em: < <https://www.skysollaris.com.br/produtos/anexos/stp50-40-sunny-tripower-core1-1558385496.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2021.

TIBA, C. et al. **Atlas solarimétrico do brasil:** banco de dados terrestres. Recife: Ed. Universitária da UFPE. Recife. 2000.

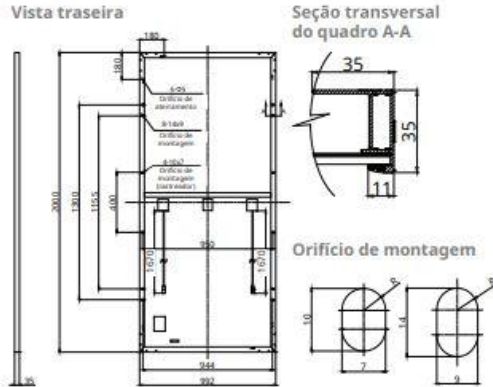
VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, Lisboa, v. 29, p. 10–15, 2006.

WEG. **Guia de Especificação: Motores Elétricos.** Jaraguá do Sul: 2021. Disponível em: < <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/search/downloadcenter?q=GUIA%20ESPECIFICA%C3%87%C3%83O> >. Acesso em: 25 set. 2021.

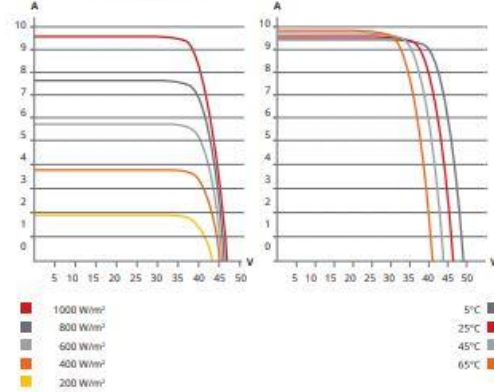
ANEXOS

ANEXO A

DESENHO DE ENGENHARIA (mm)



CS3U-365P / I-V CURVAS



DADOS ELÉTRICOS | STC*

CS3U	355P	360P	365P	370P
Máx. potência nominal (Pmax)	355 W	360 W	365 W	370 W
Tensão de operação (Vmp)	39,4 V	39,6 V	39,8 V	40,0 V
Corrente de operação (Imp)	9,02 A	9,10 A	9,18 A	9,26 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	46,8 V	47,0 V	47,2 V	47,4 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,59 A	9,67 A	9,75 A	9,83 A
Eficiência do módulo	17,89%	18,15%	18,40%	18,65%
Temperatura de operação	-40°C ~ +85°C			
Máx. Tensão do Sistema	1500V (IEC/UL) ou 1000V (IEC/UL)			
Desempenho antichamas do módulo	TIPO 1 (UL 1703) ou CLASSE C (IEC 61730)			
Valor máximo do fusível em série	30 A			
Classificação da aplicação	Classe A			
Tolerância de potência	0 ~ +5 W			

* Sob condições de teste padrão (STC) de irradiância de 1000 W/m², espectro AM 1.5 e temperatura de célula de 25°C.

DADOS ELÉTRICOS | NMOT*

CS3U	355P	360P	365P	370P
Máx. potência nominal (Pmax)	264 W	268 W	271 W	275 W
Tensão de operação (Vmp)	36,6 V	36,8 V	37,0 V	37,2 V
Corrente de operação (Imp)	7,21 A	7,27 A	7,34 A	7,40 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	43,9 V	44,1 V	44,3 V	44,4 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	7,74 A	7,80 A	7,87 A	7,93 A

* Sob temperatura nominal de operação do módulo (NMOT), irradiância de 800 W/m², espectro AM 1,5, temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento de 1 m/s.

DADOS MECÂNICOS

Especificação	Dados
Tipo de célula	Policristalina, 156,75 × 78,38 mm
Arranjo de células	144 [2 × (12 × 6)]
Dimensões	2000 × 992 × 35 mm (78,7 × 39,1 × 1,38 pol.)
Peso	22,5 kg (49,6 lbs)
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm
Quadro	Liga de Alumínio Anodizado, com barra transversal
Caixa de junção	IP68, 3 diodos
Cabo	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Comprimento do Cabo	Retrato: 400 mm (15,7 pol.) (+) / 280 mm (11,0 pol.) (-); pilsagem: 1250 mm (49,2 pol.); conexão leap-frog: 1670 mm (65,7 pol.)*
Conector	Série T4, H4 UTX ou MC4-EVO2
Por palete	30 peças
Por container (40' HQ)	660 peças

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

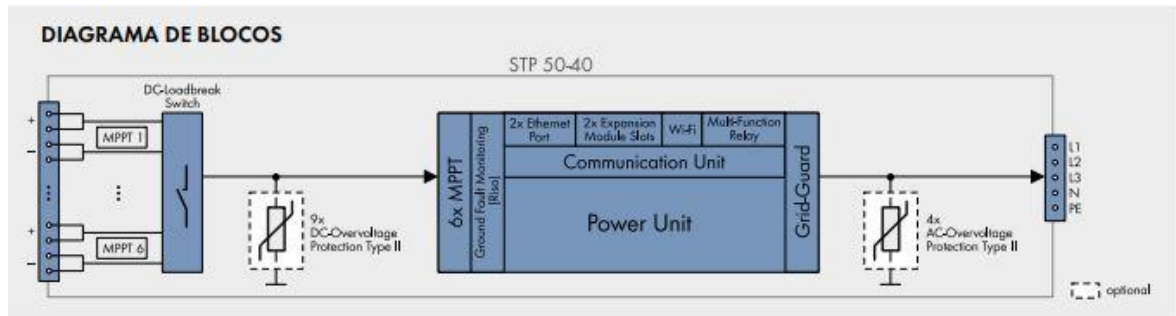
Especificação	Dados
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0.37 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0.29 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0.05 % / °C
Temperatura Nominal de Operação do Módulo	42 ± 3°C

SEÇÃO DE PARCEIROS

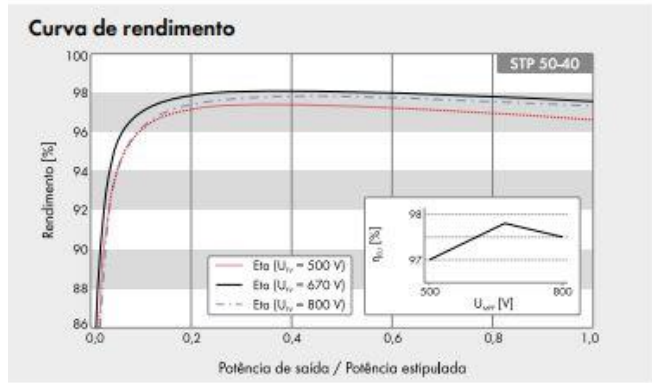


* As especificações e características principais contidas nesta ficha de dados poderão diferir ligeiramente das dos produtos reais, devido à inovação e melhorias efetuadas continuamente nestes produtos. A Canadian Solar Inc. se reserva o direito de fazer quaisquer ajustes necessários nas informações descritas aqui, a qualquer tempo, sem aviso.

ANEXO B



Dados técnicos	Sunny Tripower CORE1	Dados técnicos	Sunny Tripower CORE1
Entrada (CC)		Rendimento	
Potência máx. do gerador fotovoltaico	75000 Wp STC	Rendimento máx. / Rendimento Europeu	98,1 % / 97,8 %
Tensão máx. de entrada	1000 V	Dados gerais	
Intervalo de tensão MPP / Tensão atribuída de entrada	500 V a 800 V/670 V	Dimensões (L/A/P)	621 mm / 733 mm / 569 mm (24.4 in / 28.8 in / 22.4 in)
Tensão mín. de entrada / Tensão de entrada inicial	150 V / 188 V	Peso	84 kg (185 lb)
Corrente máx. de entrada / por MPPT	120 A / 20 A	Faixa de temperatura de operação	-25°C a +60°C (-13°F a +140°F)
Corrente de curto-circuito máx. por MPPT / por entrada de string	30 A / 30 A	Emissões sonoras (típicas)	< 65 dB(A)
Número de entradas MPPT independentes / strings por entrada MPPT	6 / 2	Autoconsumo (noite)	4,8 W
Saída (CA)		Topologia / Princípio de refrigeração	Sem transformador / OptiCool
Potência atribuída (com 230 V, 50 Hz)	50000 W	Grav de protecção (conforme a IEC 60529)	IP65
Potência aparente CA máx.	50000 VA	Classe de condições ambientais (conforme a IEC 60721-3-4)	4K4H
Tensão nominal CA	220 V / 380 V 230 V / 400 V 240 V / 415 V 202 V a 305 V	Valor máximo admissível da humidade relativa (sem condensação)	100 %
Intervalo de tensão CA	50 Hz / 44 Hz a 55 Hz 60 Hz / 54 Hz a 65 Hz	Equipamento / Função / Acessórios	
Frequência de rede CA / intervalo	50 Hz / 230 V	Ligação CC / Ligação CA	SUNCLUX / Terminal roscaado
Frequência de rede atribuída / tensão de rede atribuída	50 Hz / 230 V	Pés de instalação	●
Corrente máx. de saída / corrente de saída atribuída	72,5 A / 72,5 A	Indicador LED (estado / erro / comunicação)	●
Fases de injeção na rede / ligação CA	3 / 3-{N}-PE	Interface: Ethernet / WLAN / RS485	● [2 entradas] / ● / ○
Fator de potência na potência atribuída / fator de desfasamento ajustável	1 / 0 sobrecarregado a 0 subexcitado	Interface de dados: SMA Modbus / SunSpec Modbus / Speedwire, Webconnect	● / ● / ●
THD	< 3 %	Relé multifunções / Locais de encaixe para módulos de ampliação	● / ● [2 entradas]
Dispositivos de protecção		OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Ponto de seccionamento no lado de entrada	●	Capacidade off-grid / Compatível com SMA Fuel Save Controller	● / ●
Monitorização de defeitos à terra / Monitorização da rede	● / ●	Garantia: 5/10/15/20 anos	● / ○ / ○ / ○
Protecção contra inversão de polaridade CC / Resistência a curtos-circuitos CA / Galvanicamente separado	● / ● / -	Certificados e homologações (mais a pedido)	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11/2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2016, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2016, PFC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7/2013, SI4777, TOR D4, TR 3-2-2, ULTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014, P.O. 12.3, NTC0-NTC0/S, GC 8.9H, PR20, DEWA
Unidade de monitorização de corrente residual sensível a todas as correntes	●	* Não se aplica a todos os anexos nacionais da norma EN 50438	
Classe de protecção (conforme a IEC 62109-1) / Categoria de sobretensão (conforme a IEC 62109-1)	I / CA: III; CC: II	● Equipamento de série ○ Opcional - Não disponível	
Descarregador de sobretensões CA/CC (tipo II)	○ / ○	Dados em condições nominais - Versão 07/2017	
		Designação do modelo	STP 50-40



Acessórios

- SMA Sensor Module MD.SEN-40
- SMA IO-Module MD.IO-40
- SMA RS485 Module MD.485-40
- Antenna Extension Kit EXTANT-40
- AC Surge Protection Module Kit AC_SPD_Kit-1-10
- DC Surge Protection Module Kit DC_SPD_Kit4-10