

Monitoramento e Análise de Desempenho de uma Usina Fotovoltaica de Pequeno Porte em São Miguel do Anta-MG

Daniel Silva Pereira *

* Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, MG, (e-mail: daniel.pereira3@ufv.br).

Abstract: The generation of photovoltaic solar energy is influenced by various factors such as irradiance level, shading, humidity, degradation, and dirt on the photovoltaic modules, among others. Therefore, monitoring and analyzing the energy generation of photovoltaic solar power plants is of fundamental importance to ensure their performance and efficiency, thereby preventing an extension of the payback period calculated in the project. In this context, a small-scale power plant located in the municipality of São Miguel do Anta, in Minas Gerais, was monitored and analyzed using daily generation data from the year 2022. Two main indices were analyzed: the number of interruptions and their duration. Results showed that these interruptions did not have a significant impact on generation, resulting in an annual loss of 0,25%. Therefore, they do not significantly affect the payback period of the plant. Focusing on the periods when the plant was not generating energy at the expected times, it was found that these interruptions did not have a significant impact on generation, with financial impacts of 0,63% in the worst month and 0,25% over the entire year. Thus, the interruptions in generation analyzed do not impact the payback period of the plant.

Resumo: A geração da energia solar fotovoltaica é influenciada por diversos fatores, como nível de irradiância, sombreamento, umidade, degradação e sujeira dos módulos fotovoltaicos, entre outros. Dessa forma, o monitoramento e a análise da geração de energia de usinas solares fotovoltaicas é de fundamental importância para garantir seu desempenho e eficiência, e assim assegurar que não ocorra um prolongamento do Payback calculado em projeto. Neste contexto, uma usina de pequeno porte localizada no município de São Miguel do Anta, em Minas Gerais, foi monitorada e analisada utilizando os dados de geração diária do ano de 2022. Dois principais índices foram analisados, quantidade de interrupções e duração. Resultados mostraram que tais interrupções não apresentaram impactos relevantes na geração, apresentando uma perda anual de 0,25%. Sendo assim, não impactam de forma significativa o Payback da usina. Ao focar nos períodos em que a usina não estava gerando energia nos horários esperados, constatou-se que tais interrupções não apresentam impactos relevantes na geração, sendo os impactos financeiros no pior mês de 0,63% e no acumulado do ano de 0,25%. Sendo assim, as interrupções na geração analisada não impactam o Payback da usina.

Keywords: Power; Photovoltaic Solar Energy; Interruption; Energy.

Palavras-chaves: Potência; Energia Solar Fotovoltaica; Interrupção; Energia.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, detentor de uma matriz energética majoritariamente limpa, destaca-se pela predominância de hidrelétricas como principal fonte de energia. Contudo, devido à sua posição geográfica privilegiada, próxima à linha do Equador, com elevada irradiância e baixa incidência de nuvens, aliada aos avanços tecnológicos e estímulos governamentais, a geração solar tem sido impulsionada, inclusive expandindo-se para sistemas residenciais e comerciais (PEREIRA et al., 2017; Empresa de Pesquisa Energética, 2023). Em relação à Matriz Elétrica Brasileira de Maio de 2024, as usinas hidrelétricas representam 50,93% da energia gerada e as Usinas Fotovoltaicas 6,88% (Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024). Se tratando da Micro e Mini Geração Solar Distribuída, tem-se que o Cresci-

mento Anual em kWh foi de 1.658.135,8 kWh em 2019 para 17.383.082,4 kWh em 2022, ou seja, um aumento de 948,13% (Empresa de Pesquisa Energética, 2023).

No contexto da geração, independentemente da fonte geradora, surgem desafios como estudos de viabilidade econômica, eficiência e desempenho das usinas instaladas. A análise de desempenho se mostra importante para validar informações de fornecedores, identificar fatores que podem impactar na geração e otimizar usinas existentes.

Em usinas fotovoltaicas, a queda de eficiência na geração pode ser causada pelo acúmulo de sujeira, degradação do sistema - seja dos módulos fotovoltaicos, cabos ou equipamentos de proteção (disjuntores), sombreamento nos módulos ou até mesmo mau dimensionamento do sistema de proteção que pode desativar a geração em horários de

pico. Estes fatores representam diretamente um impacto financeiro e por isso, a importância do monitoramento e análise dessas instalações, a fim de identificar e averiguar as possíveis causas de queda de desempenho. O desempenho da usina em análise é avaliado através do cálculo da quantidade de interrupções da geração e de suas durações. Com isso, uma estimativa das perdas financeiras é realizada.

Em uma usina solar, no período que se situa entre o Nascer do Sol e Por do Sol a geração deve ser sempre acima de zero, ou seja, a potência gerada não pode ser zero durante o dia em condições normais. Dessa forma, nesse trabalho será denominado como Interrupção o momento em que a Potência for igual a zero, o que será indício de uma condição anormal.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os dados de geração do ano de 2022 e complementar as informações fornecidas, afim de apresentar mais indicadores de qualidade para a usina. Além da qualidade, fornecer informações sobre possíveis necessidades de manutenção para a planta.

Este artigo é organizado da seguinte forma: Na Seção 2 são apresentados princípios técnicos envolvidos na geração de Energia Solar Fotovoltaica, como o princípio físico envolvido na conversão de luz solar para energia elétrica e a influência das estações do ano na geração. Na Seção 3 é descrito o cálculo de viabilidade econômica de uma usina fotovoltaica. Na Seção 4 uma análise do desempenho da usina é realizada, levando em consideração a quantidade de interrupções da geração, duração e perdas financeiras. Por fim, as conclusões são realizadas na Seção 5.

2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1 Princípios Técnicos

A Energia Solar Fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão (CRESESB-CEPEL, 2008). Vale a pena destacar que a geração de energia a partir dos painéis solares fotovoltaicos não é por aquecimento dos painéis proveniente do calor emitido pelo sol, e sim pela conversão dos raios solares (irradiância solar). Isso significa que os painéis não necessitam esquentar para gerar energia, como acontece na Energia Solar Térmica.

Sabe-se que a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é fornecida em corrente contínua. Para viabilizar seu uso, são empregados inversores de frequência, responsáveis por converter a corrente contínua em corrente alternada antes que ela seja consumida pela residência e injetada na rede elétrica. O inversor é um equipamento que possibilita a conexão da energia gerada pelo painel solar à rede elétrica, convertendo a corrente contínua (CC) proveniente dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA) (Alves, 2019). Dessa forma, a eletricidade passa a ter as mesmas características de amplitude, frequência e fase da rede elétrica convencional.

2.2 Estações do Ano e a Influência da Geração

As estações do ano são consequência da inclinação da Terra em relação ao sol. Durante o Verão, os dias amanhecem mais cedo e as noites chegam mais tarde. Ao longo dos três meses desta estação, o sol se desloca lentamente em direção ao norte e os raios solares diminuem sua inclinação. No início do Outono, os dias e as noites têm a mesma duração, aproximadamente 12 horas, devido à posição do sol estar exatamente na linha do Equador. Entretanto, o sol continua a se afastar aparentemente para o norte. A partir daí, os raios solares atingem o mínimo de inclinação no início do Inverno, resultando em dias mais curtos e noites mais longas, ao contrário do Verão. Posteriormente, o Sol começa a se deslocar em direção ao sul, marcando o início da Primavera, quando os dias e as noites têm novamente a mesma duração (Fiocruz, 2006).

Considerando que a geração dos painéis solares é diretamente influenciada pelo nível de irradiância incidente, é esperado que em dias mais curtos, como no inverno e na primavera, a geração seja menor devido ao menor tempo de exposição solar. Além disso, nessas estações, a angulação do sol em relação à Terra é menos favorável para a incidência da radiação solar, contribuindo para uma redução na produção de energia. Portanto, é esperado que a produção de energia a partir das usinas solares fotovoltaicas seja maior nos meses de outubro a março, correspondentes às estações da Primavera e do Verão. A Fig. 1 ilustra como o Sol incide com mais intensidade no teto das casas durante o Verão, período em que os painéis solares são normalmente instalados.

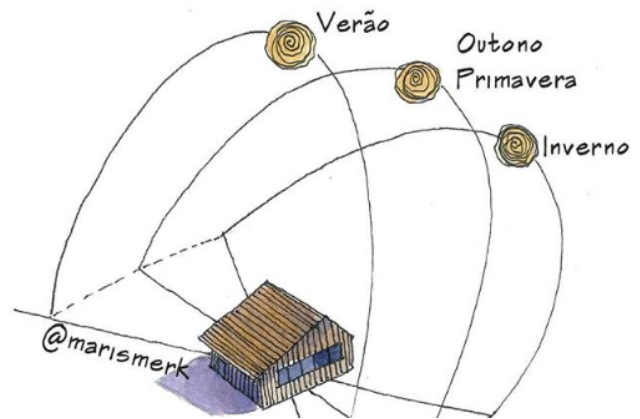


Figura 1. Incidência Solar durante as estações do ano (Maristela Rodrigues, 2020, 1 dez.)

3. PAYBACK NAS USINAS RESIDENCIAIS

O Payback é um indicador financeiro utilizado para medir o tempo necessário para recuperar o investimento inicial em um projeto. No contexto de uma usina solar fotovoltaica, o Payback representa o período necessário para que as economias geradas pela produção de energia solar igualem o valor do investimento feito na instalação do sistema.

O cálculo do Payback envolve a análise dos fluxos de caixa ao longo do tempo, considerando tanto as receitas geradas pela venda ou economia de energia quanto as despesas

Tabela 1. Tabela de Payback - Anos 0 a 7

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7
Investimento	-15260	0	0	0	0	0	0	0
Geração Anual	4143,100	4018,71	3970,03	3939,84	3887,06	3853,14	3835,32	3800,65
Tarifa	0	0,83	0,89	0,95	1,02	1,09	1,16	1,24
Receita Anual	0	3335,53	3533,33	3742,85	3964,80	4199,92	4448,97	4712,80
Despesa Anual	0	16,68	17,67	18,71	19,82	21,00	22,24	23,56
Resultado Líquido	0	3318,85	3515,66	3724,14	3944,98	4178,92	4426,73	4689,23
Valor Presente	0	3010,30	2892,34	2779,01	2670,12	2565,49	2464,97	2368,38
FCD	-15260	-12249,70	-9357,36	-6578,35	-3908,24	-1342,74	1122,22	3490,60

operacionais e de manutenção. O objetivo é determinar o momento em que o saldo acumulado dos fluxos de caixa se torna positivo, indicando a recuperação do investimento inicial.

Na 1 demonstra os parâmetros do Payback. O cálculo do Payback envolve alguns parâmetros e conceitos que serão descritos a seguir. O Investimento Inicial é o valor total desembolsado para a instalação da usina solar fotovoltaica. Este valor inclui os custos dos equipamentos, instalação, licenciamento, entre outros. No exemplo a ser desenvolvido, o Investimento Inicial é de R\$ 15.260,00, A Tarifa de Energia é o valor cobrado por quilowatt-hora (kWh) de eletricidade. Este valor pode variar ao longo do tempo devido a Reajustes Tarifários. A tarifa inicial será de R\$ 0,83 por kWh, com uma previsão de aumento anual de 7%. A Geração Anual é a quantidade estimada de energia que a usina solar fotovoltaica é capaz de produzir em um ano. Inicialmente, a Geração Anual estimada é de 4.143 kWh. É importante considerar que a eficiência dos painéis solares diminui ao longo do tempo, resultando em um Decaimento da Geração de energia. Geralmente uma usina solar possui um Decaimento de 3% no primeiro ano e 1% nos anos subsequentes. A Receita Anual é calculada multiplicando-se a Geração Anual pela Tarifa de Energia, conforme (1). Esta receita representa a economia na conta de energia ou a renda obtida pela venda da energia gerada. Já as Despesas Anuais incluem custos operacionais e de manutenção, e geralmente é obtida como uma porcentagem da receita anual, conforme (2), onde $Taxa_{MA}$ representa a Taxa de Manutenção Anual, neste trabalho, estimados em 0,5%. O Resultado Líquido, apresentado em (3) é a diferença entre a Receita anual e as Despesas Anuais. Este valor representa o ganho anual após descontar os custos operacionais. O Valor Presente (VP) é o valor do Resultado Líquido anual (onde i representa o ano que está sendo calculado) trazido ao valor presente usando uma Taxa de Desconto, conforme (4). A Taxa de Desconto utilizada é a Taxa Selic atual, de 10,25% ao ano. O Fluxo de Caixa Descontado (FCD) é a soma do Investimento Inicial com os valores presentes dos Resultados Líquidos anuais, conforme (5). Na equação o número de anos é apresentado pela letra n e o ano que está sendo calculado a letra i , ou seja, na tabela 1 o somatório varia de 1 a n igual a 7 e o valor de i representa um dos sete anos que será calculado. Este valor é utilizado para determinar o momento exato em que o Payback ocorre. O Payback ocorre no momento em que o Fluxo de Caixa Descontado se torna positivo pela primeira vez. A fórmula de calcular o Payback é descrita em (6), essa fórmula permite interpolar o ponto exato entre os anos em que o fluxo de caixa se torna positivo.

- Investimento Inicial: R\$15.260,00

- Tarifa de Energia: R\$0,83
- Reajuste Tarifária: 7%
- Geração Anual: 4.143 kWh
- Decaimento Geração Primeiro Ano: 3%
- Decaimento Geração Anos Seguintes: 1%
- Taxa de Manutenção Anual ($Taxa_{MA}$): 0,5%
- Taxa de desconto (Selic): 10,25%

$$\text{Receita Anual} = \text{Geração Anual} \times \text{Tarifa de Energia} \quad (1)$$

$$\text{Despesas Anuais} = \text{Receita Anual} \times Taxa_{MA} \quad (2)$$

$$\text{Resultado Líquido} = \text{Receita Anual} - \text{Despesas Anuais} \quad (3)$$

$$VP_i = \frac{\text{Resultado Líquido}_i}{(1 + \text{Taxa de Desconto})^i} \quad (4)$$

$$FCD_n = \text{Investimento Inicial} + \sum_{i=1}^n \text{Valor Presente}_i \quad (5)$$

$$\text{Payback} = \text{Último Ano com FCD Negativo} - \left(\frac{\text{Valor do FCD no Último Ano Negativo}}{\text{Valor Presente do Ano Seguinte}} \right) \quad (6)$$

Ao utilizar a Tabela 1 é possível calcular o momento exato que ocorreu o Payback a partir da equação 6. Sendo o Último Ano com FCD Negativo o ano 5, o Valor do FCD no Último Ano Negativo igual a -1342,74 e o Valor Presente do Ano Seguinte 1122,22. Dessa forma, tem-se que o Payback ocorre no ano 5,54, ou seja, em 5 anos e 6 meses.

Devido às interrupções que ocorrem, a Geração Anual da usina pode ser impactada e o Payback prolongado. Na Tabela 2 é possível observar quanto tempo a mais seria necessário para o investimento ser pago caso a usina tenha decaimentos nos Anos Seguintes diferentes do esperado na geração, que é 1%. Esses diferentes percentuais de decaimento na geração podem ocorrer pelos motivos citados das Interrupções, que são o aumento da sujidade das placas, sombreamento em horário de geração, desligamentos não

planejados. A alteração do decaimento de 1% para 5% já aumenta o Payback em cerca de um ano. Em casos mais extremos, em que o decaimento seja de 10% e 15% o Payback aumenta para sete anos e sete meses e onze anos e quatro meses, ou seja, um aumento de 37,18% e 105,23% respectivamente no tempo para o investimento se pagar.

Tabela 2. Impacto do Decaimento da Geração no Payback

Decaimento	Payback (anos)
1%	5.54
2%	5.69
3%	5.84
4%	6.01
5%	6.21
10%	7.60
15%	11.37

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS DE GERAÇÃO DA USINA

Dados diários de geração da usina em São Miguel do Anta são disponibilizados pelo site da phb Solar, a Fig. 2 mostra seu layout. Esses dados de geração também são disponibilizados em formato de planilha Excel, organizados em duas colunas com várias linhas. Na primeira coluna, estão registradas as informações de Data e Hora, enquanto na segunda coluna estão os valores da Potência Gerada. Cada linha no banco de dados representa a potência gerada em um instante específico de tempo, com intervalos de 5 minutos entre as leituras. Porém, vale destacar que o site apresenta as informações relacionadas à geração, não há nenhuma análise em relação aos momentos que a usina não gera, em especial em momentos que deveria estar gerando, ou seja, não apresenta informações quanto às Interrupções que ocorrem na usina. Com isso, o presente trabalho agregará às informações disponibilizadas pelo site, ofertando mais ferramentas de análise. A Tabela 3 mostra a estrutura do banco de dados.



Figura 2. Site phb Solar

Note que, apesar do site disponibilizar diversas informações sobre a usina fotovoltaica, como geração diária, tensão, corrente e frequência AC do inversor, não há informações sobre a quantidade e do tempo das interrupções de geração. Portanto, neste trabalho uma análise da quantidade de interrupções e suas durações foi realizada para o período de 01/01/2022 a 31/12/2022.

Tabela 3. Exemplo da Tabela de Dados

Hora	Potência (W)
01.01.2022 00:00:00	0
01.01.2022 00:05:00	0
...	...
01.01.2022 11:55:00	3261
01.01.2022 12:00:00	5035
01.01.2022 12:05:00	3782

4.1 Período diário de geração

A geração fotovoltaica é diretamente relacionada a presença de luz solar. Entretanto, o nascer e por sol varia diariamente. Neste trabalho, foram considerados horários específicos para o nascer e o pôr do sol de acordo com as estações do ano. Essa seleção de horários foi baseada nos horários mais comuns de início e fim da geração para cada estação. Ao utilizar os horários mais frequentes de nascer e pôr do sol, foi possível garantir que a análise não fosse interrompida nos momentos de início e término da geração, os quais têm pouca representatividade em termos de potência gerada devido ao baixo nível de radiação solar. Portanto, os horários para cada estação do ano foram adotados conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Horários do Nascer e Por do Sol

Estação	Nascer do Sol	Por do Sol
Outono	7:05	17:40
Inverno	7:00	17:30
Primavera	6:30	17:40
Verão	6:15	18:25

A Fig. 3 mostra uma curva de geração diária (dia 22/01/2022), onde ocorreram 4 interrupções, destacadas em vermelho.



Figura 3. Curva de Geração do dia 22/01/2022 com 4 interrupções.

Ao se considerar as estações do ano, foi utilizado o Hemisfério Sul pelo fato da análise ser feita em Minas Gerais. Dessa forma, de acordo com (Fiocruz, 2006) as estações do ano ficaram definidas da seguinte forma: Verão (Mês 1 ao Mês 3), Outono (Mês 4 ao Mês 6), Inverno (Mês 7 ao Mês 9) e Primavera (Mês 10 ao Mês 12).

4.2 Potência Média por Horário

Na Fig. 4, são exibidas as médias de potência por horário de acordo com cada estação. Essas médias são calculadas pela soma das potências geradas nos intervalos de tempo durante todos os dias do ano, com esses dias agrupados de acordo com as estações. Em seguida, essa soma será dividida pela quantidade de dias considerados, resultando

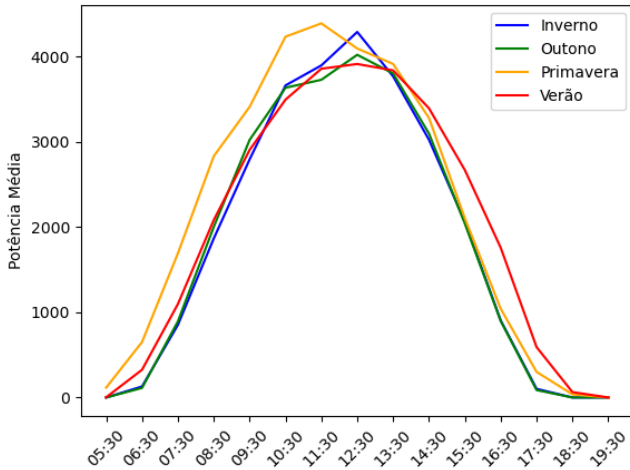


Figura 4. Curva média de geração de acordo com as estações do ano

na média da potência gerada para cada intervalo de tempo ao longo do ano.

Note através da Fig. 4, que a usina atinge seus picos de potência, ou seja, as maiores taxas de geração, nos horários próximos das 12 horas. Isso ocorre porque nesse intervalo de tempo o sol está em sua posição mais elevada no céu, proporcionando a maior quantidade de radiação incidente na superfície das placas fotovoltaicas. Além disso, é esperado que durante o verão ocorra os maiores picos de geração. Entretanto, isto não é observado. Algumas possibilidades são devido ao posicionamento e inclinação dos painéis. Em instalações, principalmente residências, devido a limitações estruturais, nem sempre o posicionamento e inclinações do painel são otimizadas. Ao observar a Fig. 1, por exemplo, se as placas solares forem instaladas no lado esquerdo da residência, haverá um melhor aproveitamento da insolação no Verão. No entanto, caso sejam instaladas do lado direito da residência, o Inverno será a estação com a melhor incidência de raios solares. Outras questões também podem ser levadas em consideração, como o aquecimento excessivo dos módulos no verão, o que acarreta em diminuição da eficiência, possíveis sombreamentos ocasionados apenas quando o sol está no trajeto do verão.

4.3 Interrupções na Geração

A Tabela 5 mostra, de acordo com cada mês, o número e a duração total de interrupções, além da duração máxima. Destaca-se que os meses de Agosto, Novembro e Dezembro não apresentaram nenhuma interrupção. O mês de Julho apresentou o pior desempenho em termos de duração total de interrupção, com 220 minutos (3 horas e 40 minutos), além de apresentar a maior interrupção no ano de 2022, com duração igual a 215 minutos (3 horas e 35 minutos), a qual ocorreu no dia 6 de Julho. A Fig. 5 mostra sua curva de geração.

Note, na Fig. 5, que a interrupção iniciou-se por volta das 14 horas e se estendeu até o por do sol, 17:30 horas.

Entretanto, a geração de energia é influenciada por uma interrupção não somente por sua duração, mas também de acordo com o horário de ocorrência. Por exemplo, uma interrupção com uma hora de duração das 8:00 às

Tabela 5. Interrupções Mensais e Duração

Mês	Nº de Interrupções	Duração Total (min)	Maior Duração (min)
Janeiro	4	35	20
Fevereiro	9	120	50
Março	15	100	10
Abril	4	45	20
Maio	4	100	55
Junho	1	5	5
Julho	2	220	215
Agosto	0	0	0
Setembro	2	85	60
Outubro	2	110	70
Novembro	0	0	0
Dezembro	0	0	0

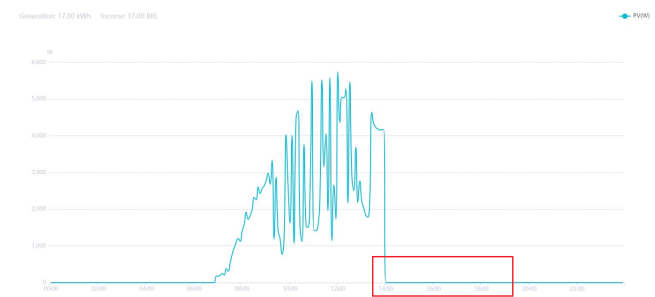


Figura 5. Curva de Geração 06/07

9:00, provavelmente terá um impacto menor do que uma interrupção das 12:00 às 13:00. Isso se deve ao fato de que a potência gerada varia ao longo do dia. Assim, interrupções que ocorrem próximo ao meio dia apresentam maior impacto que interrupções próximas ao nascer e por ao sol. Neste trabalho, para o cálculo da energia perdida, isto é, aquela deixada de gerar, levou-se em consideração a curva média de geração de acordo com as estações do ano, Fig. 4.

4.4 Perdas de Energia

Para analisar as perdas reais causadas pelas interrupções, é necessário transformar os dados de potência perdida em energia perdida e, em seguida, em perdas monetárias em reais (R\$). A energia perdida (E) é calculada conforme (7). Já as perdas monetárias podem ser calculadas conforme (8). A tarifa de energia elétrica, é o valor que os consumidores de energia elétrica pagam aos fornecedores de eletricidade pela energia consumida.

$$E(kWh) = Potencia_{perdida}(kW) \times Tempo(h) \quad (7)$$

$$PerdaMonetaria = E \times TarifaEletrica \quad (8)$$

A Tarifa Elétrica em São Miguel do Anta corresponde a cerca de R\$0,83. A Tabela 6 mostra as perdas de energia e monetária referente a cada mês monitorado.

Na análise das perdas mensais destaca-se Julho como o mês com o maior impacto negativo com 6,289870 kWh de energia perdida, resultando em uma perda financeira de R\$ 5,22. Apesar da ocorrência de apenas 2 interrupções ao longo de todo mês, uma das interrupções teve duração

Tabela 6. Perdas Energia e Reais

Mês	Energia Perdida (kWh)	Perda Financeira (R\$)
Janeiro	2,046211	1,70
Fevereiro	2,831001	2,34
Março	5,820402	4,83
Abril	3,725448	3,09
Mai	4,205009	3,49
Junho	0,032118	0,03
Julho	6,289870	5,22
Agosto	0,00	0,00
Setembro	3,556267	2,95
Outubro	1,909183	1,58
Novembro	0,00	0,00
Dezembro	0,00	0,00

Tabela 7. Perdas Financeiras por Estação

Estação	Perda Financeira (R\$)
Verão	R\$8,88
Outono	R\$6,61
Inverno	R\$8,17
Primavera	R\$1,58

significativa em um horário com boa média de geração, como mostra a Fig. 5.

Uma compilação das perdas monetárias também foi realizada levando em consideração as estações do ano, como mostra a Tabela 7. O Verão foi a estação com maiores perdas, resultando em uma perda financeira de R\$ 8,88. Já a Primavera obteve-se as menores perdas, com R\$1,58 de perdas financeiras

Ao analisarmos o ano completo de 2022 pelo site phb, temos a informação que a usina gerou uma média diária de 27,38 kWh e R\$22,73, mensal de 832,67 kWh e R\$ 691,28 e uma produção anual de 9.994,4 kWh e R\$ 8.295,35. A comparação entre a produção média diária e a pior interrupção de 2022 revela uma perda percentual de 22,97% na produção diária. Embora seja um percentual significativo, essa perda não se tornou um problema recorrente ao longo do ano. Ao examinarmos o mês com a pior interrupção (julho de 2022, com perda de 6,29kWh e R\$ 5,22), constatamos uma perda mensal percentual de apenas 0,76%. Ou seja, uma perda inferior a 1% ao mês, o que não representa um problema crítico de geração, pois não foi uma ocorrência frequente. Por fim, ao analisarmos a interrupção em relação à geração anual, com uma perda monetária anual de R\$ 25,24, obtemos uma perda percentual de 0,30%, que não terá impacto significativo no Payback da usina.

5. CONCLUSÃO

Ao analisar os dados apresentados, que são a Quantidade de Interrupções, Duração das Interrupções, Potência e Energia Perdida foi possível calcular as Perdas Monetárias. Porém, a usina foco deste estudo não apresentou perdas significativas, sendo a perda mensal do pior mês de 0,76% e anual de 0,30%.

Sendo assim, mesmo com Interrupções em nove dos doze meses do ano, a usina demonstrou ter uma geração adequada. Logo, para o ano de 2022 os dados indicam que não há necessidade de manutenção. Conclusão essa que pode complementar as informações já disponibilizadas para o proprietário da usina pelo site de monitoramento phb solar.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (2024). Sistema de informações de geração da aneel (siga). URL <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- Alves, M.d. (2019). *Trabalho de Conclusão de Curso. ENERGIA SOLAR: ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID*. Ph.D. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil.
- CRESESB-CEPEL (2008). Tutorial de energia solar fotovoltaica. http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301. Acesso em: 11 de jun. 2008.
- Empresa de Pesquisa Energética (2023). Balanço energético nacional 2023: Ano base 2022. URL <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- Fiocruz (2006). Estações do ano. <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/estacoes-ano.htm>. Acesso em: 5 de jun. 2024.
- Maristela Rodrigues (2020, 1 dez.). Trajetória da terra em torno do sol. URL https://www.instagram.com/p/CIQ3vw0BB93/?img_index=1. Postado na conta @arquitetapage. Acesso em: 6 jun. 2024.
- 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., and SOUZA, J.G. (2017). *Atlas brasileiro de energia solar*. INPE, São José dos Campos, 2 edition. URL <http://doi.org/10.34024/978851700089>.